
EDITORIAL

LA INNOVACIÓN EN LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A

Germán Anzola Montero
Rector

Las Universidades, históricamente, hemos cumplido con tres funciones sustantivas, que son la esencia del quehacer universitario de excelencia académica: la Docencia, la Investigación y la Proyección Social (nuestros vínculos con la sociedad).

Años atrás y, específicamente, en los tres últimos gobiernos, a las Universidades se les ha sumado o incorporado el concepto de INNOVACIÓN, como consecuencia del verdadero desarrollo científico y tecnológico del país. Esta realidad, nos lleva a pensar si todas estamos en condiciones de asumirla verdaderamente, como una responsabilidad adicional, a las ya indicadas: ¿Será que todas contamos con el perfil y los requisitos para conseguirla? Y, en particular, ¿una Institución con el nivel de desarrollo de la U.D.C.A?, ¿será ésta una nueva función o un factor adicional para diferenciar, aún más, a aquellas universidades que se dedican exclusivamente a la docencia o las se ocupan de la investigación y la extensión o las incluyen, además, la innovación? El rigor y la naturaleza de nuestros proyectos de investigación es lo que sí nos podrán comprometer con aplicaciones reales, que conduzcan a la respuesta y a la solución de problemas nacionales e, inclusive, globales.

Una primera reflexión que hacemos sobre el tema tiene que ver con cuestiones relativas, es decir, si los actuales proyectos de investigación –ciencia y tecnología– que venimos ejecutando apuntan a lograr un bienestar de la sociedad y a optimizar, sustancialmente, las condiciones económicas del país. Este es el verdadero sentido de lo que denominamos hoy “la economía del conocimiento”, que es un desafío de la universidad colombiana de traducir los resultados de su investigación en un mejor vivir de la población. En ningún momento de nuestro desarrollo educativo ha sido tan prioritario invertir en el sistema universitario colombiano, pues ello significa involucrarnos en la construcción de la sociedad del conocimiento, igualmente, ser partícipes del verdadero impulso a la “Locomotora de la Innovación”, que a puertas de finalizar el actual gobierno, se encuentra sin arrancar.

Una segunda reflexión hace referencia a que si la Innovación debe ser exclusiva responsabilidad de las universidades o si las demás Instituciones de Educación Superior están en capacidad de asumirla y ejecutarla, al igual que los sectores industriales, productivos e, incluso, las instancias del mismo sector público, que por su naturaleza así, lo determinen.

La tercera reflexión obedece a establecer a quién le corresponde financiar la innovación que se deriva del desarrollo científico y tecnológico. Incuestionablemente, el primer llamado a ello es COLCIENCIAS, máximo organismo responsable y promotor del desarrollo científico e investigativo de la Nación, que debe garantizar y propiciar el desarrollo armónico e integral para la generación del conocimiento, a partir de la definición de presupuestos reales y competitivos, frente a otras actividades del país. En consecuencia, es fundamental crear y fortalecer centros de excelencia, tanto del orden básico como aplicado, apoyar y consolidar las redes de reciente creación al igual que las ya existentes, estimular proyectos de investigación con componentes de cooperación interinstitucional, de carácter nacional e internacional, apoyar proyectos con componentes de significativo carácter regional e inter-regional y estimular y financiar proyectos, como Connect Bogotá-Región (actividades Universidad-Empresa-Estado).

El gran reto es el de transferir el conocimiento a la sociedad, integrarlo a la tecnología e innovación y colocarlo al servicio de la comunidad; es fusionarlo a la docencia y, en consecuencia, con la naturaleza del mismo, para aplicarlo para el “bien estar” de la sociedad.

En Colombia, se debe estimular la cooperación entre universidades privadas-públicas, privadas-privadas y públicas-públicas, con miras a favorecer el crecimiento armónico del sistema universitario del país y, con ello, el fortalecimiento de la tecnología y de la ciencia; debe existir un sano equilibrio, en cuanto a la financiación de la investigación, en todas sus categorías, incluyendo, la INNOVACIÓN.

Por otro lado, es necesario mantener una ecuanimidad entre la investigación básica y aplicada, debido a los altos niveles de inversión necesarios para la investigación básica y el desafío de vincular el conocimiento global a los problemas locales. Los sistemas de investigación actuales, se deben organizar con más flexibilidad, para promover la ciencia y la interdisciplinariedad, al servicio de la sociedad.

Todo lo anterior debe involucrar los resultados del estudio realizados por el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE, que propone seis estrategias para abordar el tema en consideración:

- Estimular la innovación en el sector productivo, apoyando a emprendedores e innovadores.
- Fortalecer el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, mediante la creación de un fondo especial.
- Aumentar la capacidad del país en materia de investigación o innovación.
- Favorecer la difusión del conocimiento en los medios de comunicación.
- Concretar las inversiones públicas en sectores estratégicos.
- Fortalecer las regiones en materia de Ciencia y Tecnología, para incrementar su capacidad científica y tecnológica.

El propósito es que con estas estrategias, la inversión en Ciencia, en Tecnología y en Innovación, que hoy es de 0,47% del Producto Interno Nacional, pueda crecer a un 2%, en el 2019.

Es deber de la U.D.C.A, entonces, analizar los resultados de su investigación, hasta hoy, valorándolos frente a una apuesta con la innovación, pues entrar en este ámbito es algo que se debe hacer, a partir de un diagnóstico riguroso de las necesidades sociales, económicas, políticas, ambientales, en los cuales, podemos participar. Reconocer nuestra capacidad para generar conocimiento (en qué áreas del saber), como tomar decisiones estratégicas para aproximarnos a diferentes sectores, es decir, definir con prudencia todo aquello que ha de incorporarse, responsablemente, a nuestro proyecto educativo.

La U.D.C.A no debe ser ajena a estas reflexiones, por el contrario, debemos revisar y, de ser necesario, adoptar políticas que nos reafirmen en lo que estamos haciendo en el sector agropecuario, en recursos naturales, en ambiente, en salud y demás líneas de trabajo. Es así como podremos ser más competitivos y la condición para incorporarnos en los planes estratégicos, orientando nuestra visión con el futuro desarrollo tecnológico, desde la perspectiva de nuestras fortalezas institucionales y competir por espacios pertinentes, tanto de la investigación como de la innovación, requerida por la actual humanidad.

EL CICLO MENSTRUAL Y EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO: UNA MIRADA AL PROBLEMA

MENSTRUAL CYCLE AND SPORT TRAINING: A LOOK AT THE PROBLEM

Elena Konovalova¹

¹ Ph.D., Academia Estatal Rusa de Cultura Física. Directora Grupo de Investigación en Deporte de Rendimiento. Docente Universidad del Valle. Calle 13 # 100-00, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali, Colombia, e-mail: elena.konovalova@correounivalle.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 293-302, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

El estudio de la relación entre el ciclo menstrual y el rendimiento deportivo está presente entre las últimas publicaciones sobre el deporte femenino, tratando de contribuir a un mejor proceso de preparación de las mujeres en las distintas modalidades deportivas y prevenir las posibles afecciones de la función menstrual. Las características del ciclo menstrual de las deportistas de alto nivel no poseen diferencias sustanciales con respecto a la función menstrual de las mujeres no deportistas; sin embargo, se presentan estadísticas de un mayor porcentaje de afecciones del aparato reproductor femenino en comparación con la población en general. Existen variaciones considerables de las características del ciclo al interior de los grupos estudiados, las cuales, se asocian por los autores con la ubicación en la "escala de feminidad". Las fases premenstrual y menstrual, junto con la ovulatoria, son las que más dificultad reflejan para las deportistas a la hora de enfrentar las cargas de entrenamiento y de competencia. En lo referente a la menarquía, la maduración tardía es propia de las modalidades de iniciación temprana y donde se requiere mantener el bajo peso corporal. Se muestran las últimas tendencias y resultados de las investigaciones, en el campo del entrenamiento femenino.

Palabras clave: Ciclo menstrual, deportistas, rendimiento, menarquía, afecciones.

SUMMARY

The study of the relationship between the menstrual cycle and athletic performance is present among the latest publications on women's sports, trying to contribute to an

improved process for preparing women in various sports, and prevention of disorders of menstrual function. Menstrual cycle characteristics of high-level athletes have no significant differences with respect to the menstrual function of non-athletic women; however, there are statistics of a higher percentage of female reproductive disorders compared to the general population. There is considerable variation in cycle characteristics within the groups studied, which authors have associated with the location in the "scale of femininity". Premenstrual and menstrual phases, along with the ovulatory phase, are the most difficult for athletes to have when facing training loads and competition. Concerning menarche, late maturity is typical of early initiation sports modalities and where it is required to maintain low body weight. We present the latest trends and research results in the field of women's training.

Key words: Menstrual cycle, athletes, performance, menarche, disorders.

INTRODUCCIÓN

La problemática del deporte femenino, actualmente, ocupa un lugar importante en distintos campos de la ciencia, lo cual, se refleja en un mayor interés por parte de los especialistas, a nivel mundial. Las investigaciones demuestran que ningún trabajo físico extenuante puede provocar, en el organismo del hombre, tantos cambios adaptativos, como los que se observan en las deportistas de alto rendimiento. Esto se explica, por el hecho de que la intensidad del trabajo de entrenamiento, se combina con las condiciones extremas de la competencia.

La característica más importante del deporte femenino contemporáneo es el intenso dominio de las modalidades deportivas que, hasta hace poco, se consideraban privilegio de hombres: fútbol, hockey, halterofilia, boxeo, judo, lucha libre, sambo, algunas modalidades de atletismo, entre otros. Ya a nadie le sorprenden los extraordinarios resultados que consiguen las mujeres en los escenarios deportivos; es más, admiramos sus éxitos en las modalidades tradicionalmente "masculinas". En el programa olímpico faltan unas pocas modalidades deportivas por ser conquistadas por las mujeres.

Las cargas actuales de entrenamiento y de competencia plantean exigencias elevadas frente al organismo de las deportistas. La ampliación del programa olímpico femenino propone no solamente la necesidad de un profundo estudio científico, sino también de la profilaxis de las patologías relacionadas con el ciclo menstrual, con el fin de conservar la función reproductiva de las mujeres deportistas.

Para poder entender la complejidad de la relación "ciclo menstrual –rendimiento deportivo", se requiere estudiarla desde varios enfoques. Muchos autores coinciden en la importancia de profundizar los estudios sobre las diversas particularidades de la función menstrual de las deportistas, para una mejor planificación del proceso de entrenamiento deportivo, con el fin de poder combinar, exitosamente, las victorias deportivas, con la felicidad de la maternidad.

Al elaborar el presente artículo, se hizo una revisión y análisis de literatura científica y algunas otras fuentes alrededor de los temas de la menarquia y el ciclo menstrual en las deportistas, afecciones de la función menstrual en las atletas y relación del rendimiento deportivo, con el ciclo menstrual.

Características del ciclo menstrual en las deportistas:

Según los resultados de las investigaciones con las deportistas, la duración del ciclo menstrual (CM) al parecer no se ve afectada en comparación con las jóvenes y mujeres que no practican deporte. La duración más común del CM en la población en general es de 28 días, con desviaciones hasta siete días (Saldarriaga & Artuz, 2010). En las deportistas, los ciclos con 28 días se observan en un 60% de los casos, los ciclos de 21 días, en 28% y los de 30-35 días, en apenas 10-12% (Volkov, 2002).

En la investigación de Kraus (1993), con 46 deportistas de 16 a 22 años de edad, se observa que la duración del ciclo menstrual oscila mayoritariamente entre los 24 y 30 días, donde varía de acuerdo al "nivel de feminidad", distribuyéndose de la siguiente manera: en el grupo A, con "alto nivel de feminidad", el ciclo de 24 días, se presenta en 28,6% de deportistas y el de 28 días, en 21,4%, los ciclos inestables, se presentan en 35,7%; en el grupo B, con el "nivel medio de

feminidad", el ciclo de 28 días, se encuentra en 30% de las deportistas y el de 30 días, en otro 30%, el ciclo irregular, se presenta en 16,7% y, en el grupo C, con un "bajo nivel de feminidad", el ciclo de 28 días, se encuentra en 30% y el de 30 días, en 45% de las deportistas, donde los ciclos irregulares, se observan en apenas 15%. Estos datos del último grupo difieren de los resultados de otros trabajos, donde se ha encontrado que, precisamente, en los grupos de mujeres con el "bajo nivel de feminidad", se observa el mayor porcentaje de inestabilidad del ciclo, en comparación con las demás (Soboleva, 2001; Vrublevskiy, 2005).

En una investigación con las jóvenes deportistas vallecana, el 54,4% de encuestadas respondió que su ciclo es estable; el 30,5% dijo que no, mientras que el 15,1%, no supo responder esta pregunta. El 38,5% del total de deportistas señaló que ha presentado los retrasos mayores a una semana, de las cuales, el 37,9% mencionó retrasos de más de 4 semanas. El 83% de estas jóvenes desconoce las causas de los retrasos (Konovalova & Rivera, 2009). Otros estudios señalan cifras similares con respecto a las afecciones del transcurrir normal del ciclo: una investigación realizada con 974 deportistas demuestra que el 32,9% de las practicante de modalidades cíclicas y el 35,9% de deportistas de modalidades acíclicas presentan alteraciones de la función menstrual, en lo referente a la estabilidad y el carácter del ciclo menstrual (Shajlina, 2001).

Según Vrublevskiy (2003), el entrenador necesita saber cuál es la duración del ciclo menstrual de sus deportistas, puesto que, de esta manera, se puede calcular el número de días "favorables" para la capacidad de trabajo durante el año y programar mejor el proceso de entrenamiento. Así, las deportistas con un ciclo de 21 días tienen en un año, en promedio, 17 ciclos menstruales; las deportistas con un ciclo de 28 días tienen 13 ciclos y las que menstrúan cada 35 días tienen 10 ciclos al año. De acuerdo a esto, el número de días que corresponde a una alta capacidad de trabajo en estas deportistas sería, respectivamente, 178, 222 y 255 días. Lógicamente, las deportistas con un ciclo de 35 días representan un "modelo biológico" más eficaz, desde este punto de vista para realizar el programa de entrenamiento, mientras que las deportistas con un ciclo de 21 días "pierden" en promedio 77 días, de una alta capacidad de trabajo. De esta manera, la planificación de la preparación de las mujeres, se debe diferenciar no solamente de la de los hombres, sino también entre las mismas mujeres, con una duración diferente del ciclo menstrual.

La capacidad de trabajo en las deportistas durante el ciclo menstrual: No hay duda, que los cambios periódicos relacionados con el ciclo menstrual dejan huella en el estado funcional de las deportistas y, particularmente, en la capacidad de trabajo. Varias investigaciones confirman el

hecho que el desempeño deportivo de las mujeres varía en las distintas fases del ciclo menstrual (Cockerill *et al.* 1994; Shajlina, 2001; Vrublevskiy, 2005; Casares, 2006; Gaion & Vieira, 2010; Zajarieva, 2010; Konovalova & Rivera, 2012 y muchos otros).

Una investigación de Sokolova (2003), realizada con 47 voleibolistas y basquetbolistas de 19 – 20 años de edad, encontró que el 85% de las deportistas sufre el descenso en la capacidad de trabajo y en su estado en general durante las fases premenstrual y menstrual, debido a los cambios hormonales, donde solamente el 4% de las deportistas no sufre cambios y el 11%, se encuentra con el aumento del estado funcional. Gujarro *et al.* (2009) han estudiado la percepción del esfuerzo físico durante el ciclo menstrual con las futbolistas españolas de élite y han encontrado que durante la fase menstrual se presenta una alta correlación negativa entre la magnitud del esfuerzo percibido y los resultados de las pruebas físicas.

Según Shamardina & Bachinskaia (2003), la misma carga de entrenamiento es enfrentada por las deportistas de manera distinta, de acuerdo al desarrollo de las diferentes fases del ciclo menstrual. Así, en las jóvenes acróbatas con realización de 85 – 95 elementos durante la sesión, se observa un fuerte descenso en la estabilidad vestibular durante la fase menstrual, registrado en todas las deportistas; en la fase ovulatoria, los índices descienden en 45% y en la premenstrual, en un 70%. Las mismas autoras, en un trabajo posterior, (2007), con las jóvenes acróbatas, encontraron que durante las fases premenstrual y menstrual varía el estado psíquico y funcional de las deportistas.

Gorulev & Rumiantseva (2005) realizaron un estudio con la selección femenina de Rusia, en halterofilia, donde han encontrado que la fase premenstrual es la más difícil para las mujeres. Para esta fase son característicos un brusco aumento de la masa corporal, debido a los cambios hormonales, baja economía respiratoria, alta frecuencia cardiaca, menor cantidad de hemoglobina en la sangre, entre otros. Las capacidades de fuerza de las pesistas, en esta fase, son menores que en las demás, excepto la fase menstrual; no obstante, se nota una mayor movilidad articular. La fase menstrual es la fase de tensión fisiológica, para la cual, es propia una baja velocidad de recuperación después de la carga y un alto costo energético del trabajo realizado. El 75% de las pesistas ha demostrado el empeoramiento del estado en general, irritabilidad y dolor en el abdomen y la parte lumbar de la espalda. Los autores recomiendan, durante esta fase, bajar el volumen de los ejercicios, que comprometen los músculos de la parte baja de la pelvis, porque, en caso contrario, se podría provocar un cambio de posición de los órganos ubicados en esta parte y perjudicar su funcionamiento.

Vrublevskiy (2005), al realizar un trabajo con 95 atletas, encuentra que la dinámica de las capacidades físicas a lo largo del ciclo menstrual depende de la ubicación de las deportistas en grupos, de acuerdo a la escala de identidad de género “feminidad - masculinidad”. Así, las deportistas con el tipo “femenino” poseen la mayor variabilidad de los índices de las cualidades físicas a lo largo del ciclo, presentando unos descensos significativos en las fases “críticas”, mientras que las deportistas del grupo con el tipo “masculino” presentan menores altibajos en la dinámica de las capacidades motoras, a lo largo del ciclo. El autor subraya, que en la mitad del ciclo, en la fase de ovulación, prácticamente todas las deportistas demostraban resultados relativamente bajos en los ejercicios competitivos, puesto que en esta fase se presenta el fenómeno de la dominante, que frena los diferentes centros nerviosos y donde cualquier tipo de actividad se convierte en secundario.

Eider & Boychenko (2004), en una investigación con 160 esgrimistas de alto nivel de Bielorrusia, de Polonia y de Rusia, con edades entre 19 y 23 años, detectaron que los índices más altos en las capacidades coordinativas específicas, se presentan en las fases postmenstrual y postovulatoria, mientras que las demás tres fases, se acompañan con el descenso de las capacidades coordinativas, al igual que las condicionales. En lo referente a la preparación técnico-táctica, los errores más altos y estadísticamente significativos, en lo que tiene que ver con la exactitud de la reproducción de los intervalos del tiempo, se presentaron en las fases premenstrual y menstrual. Las fases postmenstrual, ovulatoria y postovulatoria mostraron una relativa estabilización de los errores, lo que permite considerarlas como las más favorables para perfeccionar el sentido del ritmo y del tiempo.

Según los estudios de Shajlina (1999), la alta economía de los sistemas respiratorio y sanguíneo, la gran reserva respiratoria en las fases postmenstrual y postovulatoria del ciclo proveen una mejor capacidad de trabajo de las deportistas en estas fases en comparación con la ovulatoria, premenstrual y menstrual. Esta tendencia de los cambios cíclicos de la capacidad de trabajo, tanto general como especial, es propia de las deportistas de las diferentes especialidades (remo, natación, nado sincronizado, baloncesto, carreras atléticas). Resultados de las investigaciones posteriores, de la misma autora, muestran que durante las fases postmenstrual y postovulatoria, las deportistas poseen una mayor capacidad de trabajo general y especial, una mayor economía funcional junto con la velocidad más alta de recuperación postcarga (2012).

Una investigación realizada con waterpolistas de la selección de Ucrania (Rebitskaia, 2007), también permitió observar cambios notorios en la dinámica de la capacidad de trabajo a lo largo del CM. Se detectó un considerable descenso del

nivel de la eficacia de la actividad competitiva en las fases premenstrual y menstrual, lo cual, se traducía en un mayor número de errores en el paso del balón y aciertos a la portería, disminución del número de contraataques, acciones de las jugadoras conducentes a infracciones graves, ventajas despreciadas, penaltis y otros. Pero las mismas jugadoras demostraban su mejor maestría deportiva en las fases postmenstrual y postovulatoria.

Konovalova & Rivera (2012), trabajando con deportistas vallecaucanas, demostraron que las diferentes cualidades físicas tienen una dinámica variada a lo largo del ciclo: las fases postmenstrual y postovulatoria, se caracterizaron por el ascenso de la velocidad cíclica, la fuerza máxima, la fuerza explosiva y la resistencia, mientras que la flexibilidad tuvo los índices más altos en las fases menstrual y premenstrual.

Nudelman (2006) estudió la influencia del entrenamiento en hipoxia, con intervalos en 22 deportistas de atletismo, de voleibol y de pentatlón moderno, observando los siguientes resultados: con la realización de las cargas al límite, la respiración, la circulación y los regímenes oxidativos de las deportistas son más eficaces y económicos durante las fases postmenstrual y postovulatoria, en comparación con las otras tres fases del ciclo.

Con respecto al entrenamiento en la altura, Fiodorov & Landyshev (1998) recomiendan que el tiempo óptimo para llegar a la montaña es cuando la deportista se encuentra en alguna de las fases de actividad biológica elevada (ovulatoria, premenstrual y menstrual). En este caso, el descenso de las cargas de entrenamiento, para estas fases, coincide con los primeros días de la adaptación hacia las condiciones de hipoxia; este hecho, lo confirman los trabajos de Radzievskiy *et al.* (1990) y Shajlina (2004). Un especial cuidado hay que tener con las deportistas que al inicio de la estadia se encuentran en la fase de la ovulación. En esta fase, se refleja la menor economía en la circulación sanguínea y la utilización de los recursos energéticos.

Cambios psicológicos en las deportistas durante el ciclo menstrual: Varias investigaciones han confirmado también la presencia de los cambios psicológicos en las deportistas, a lo largo del ciclo menstrual. Así, Sivakov (2003) ha encontrado que en las diferentes fases del ciclo biológico de las esquiadoras, se presenta la tensión psíquica. Durante la fase premenstrual en las deportistas, se confirma el estrés, tanto psicológico como fisiológico; las esquiadoras, durante esta fase, son más irritables, inseguras, agresivas, inestables emocionalmente y tienen dificultades para resolver las tareas del entrenamiento.

Cockerill *et al.* (1994) han argumentado científicamente la influencia del ciclo menstrual sobre el estado de ánimo y la

efectividad de solución de los objetivos perceptivo-motores. Los resultados demuestran que en las fases premenstrual y menstrual, se observa el nivel disminuido de la energía y funcionamiento de los procesos cognitivos. Los trabajos de Oriol (2006) confirman que los cambios fuertes en el estado de ánimo, se presentan en la mayoría de las mujeres y que la influencia negativa de las variaciones del CM, alcanza su cúspide, en las fases premenstrual y el inicio de la menstrual.

El entrenamiento y las competencias durante la menstruación: Los resultados de las investigaciones sobre la influencia de la fase menstrual en el resultado deportivo han sido variados, pero la mayoría de ellos apunta a que las deportistas consiguen sus mejores marcas en el periodo fuera de la menstruación.

Según Shamardina & Bachinskaia (2007), de las 22 acróbatas encuestadas, todas sin excepción, entrenan durante la menstruación. Entre ellas, el 90% entrena sin limitaciones, aunque el 80% considera que el entrenamiento, durante este periodo, es poco eficaz. En lo referente a las competencias, igualmente todas las acróbatas compiten durante la fase de menstruación. El resultado deportivo, se interpreta como bajo, en 30% de las encuestadas, como medio, en 20% y como alto, en 50% de las deportistas. Pero hay que tener en cuenta, que el resultado de la competencia puede tener un carácter subjetivo, puesto que las acróbatas compiten por parejas. Sokolova (2003) ha detectado que durante la fase menstrual entrena el 100% de gimnastas, 98,3% de mujeres en deportes de conjunto y halterofilia, 91% de atletas y 78% de nadadoras.

El trabajo realizado con las deportistas vallecaucanas demostró que prácticamente la totalidad de ellas entrenan (97,8%) y compiten (94,7%), durante la menstruación (Konovalova & Rivera, 2009). Shajlina (2001) muestra cifras similares: en las modalidades cíclicas, entrena el 93,3% y compete, el 95,7%; en las modalidades acíclicas, entrena el 98,3% y compete, el 96,9%. Entre las modalidades que tienen el menor porcentaje de entrenamiento durante la menstruación figuran la natación y el nado sincronizado.

En lo referente a los resultados de las deportistas del Valle en las competencias, solamente el 8,4% dice que ha tenido mejores resultados con la menstruación; el 24,8%, afirma que los ha tenido sin la menstruación y el 64,2%, dice que ha conseguido sus mejores marcas independientemente de la fase del ciclo. No es la primera vez, cuando un porcentaje determinado de las deportistas tiene los mejores resultados en la fase menstrual; existen otros trabajos que constatan este hecho (Pojolenchuk & Svechnikova, 1987; Sologub, 1989; Iordanskaia, 1999).

Relación entre la menarquía y la práctica deportiva sistemática: En los estudios de la relación entre la edad de la menarquía y los años de entrenamiento, se mueven dos hipótesis: la primera tiene que ver con la opinión de que los años de la práctica deportiva intensa retrasan, proporcionalmente, la edad de la menarquía, mientras que la segunda plantea que el retraso se debe al proceso de selección deportiva, donde en algunas modalidades se requieren niñas con bajo peso corporal, extremidades largas y maduración retrasada (Jackson, 2003; Wilmore & Costill, 1994); no obstante, existen algunos trabajos que señalan la influencia de la hiperandrogenia en niñas, como causante del retraso de la menarquía y de la estabilización del ciclo menstrual (Soboleva, 1999; Kotsan, 2002).

Según Soboleva (1999), está comprobado el hecho que el tejido graso es un órgano hormonal activo, donde transcurre la síntesis de los estrógenos. Precisamente, los estrógenos son los que definen todas las cualidades femeninas. Así, para una normal función menstrual, se necesita no menos del 22% del tejido graso. Al mismo tiempo, en el tejido muscular transcurre el metabolismo de andrógenos. La disminución del tejido graso conduce a los cambios hormonales, incluyendo la alteración de la función menstrual. Una investigación realizada por la misma autora demuestra que la edad de la menarquía en las jóvenes rusas equivale a 12,5 años, mientras que en las deportistas es de 13,5 años. Las gimnastas presentan la menarquía a los 14,8 años, las atletas a los 14,1 años, las nadadoras a los 13,9 años y las basquetbolistas, a los 13,5 años de edad. También se ha encontrado que el 33% de las deportistas presenta, como el primer carácter de maduración sexual, no el aumento de las glándulas mamarias, sino la aparición del vello púbico y axilar. Esto último consta sobre el aumento de los andrógenos en las jóvenes deportistas.

Iordanskaia (1999) confirma que las cargas físicas intensas y la reducción del peso corporal con bajos índices del tejido graso conducen a la alteración de la función menstrual. Si en las jóvenes no deportistas el ciclo menstrual normal se presenta a los 12 – 13 años de edad, las niñas de gimnasia y de patinaje artístico tienen la menarquía a los 16 – 18 años, donde el periodo de formación del ciclo menstrual estable dura de 3 a 4 años, mientras que en las niñas no deportistas dura apenas 0,5 – 1 año. En las jóvenes voleibolistas de 14 – 15 años, el 25% aun no tenía la menarquía y en las niñas que ya la tenían, el 12,5%, presentaba aun la irregularidad del ciclo.

Un trabajo realizado con 22 parejas de acróbatas (Shamardina & Bachinskaia, 2007) demostró que todas ellas, con la edad promedio de 18,7 años y el inicio de la práctica deportiva a los 6,5 años de edad, tuvieron la menarquía entre los 13 y 16 años, con el promedio de 13,7 años; no obstante, en

sus parejas con la edad promedio de 14 años e inicio de la práctica deportiva también a los 6,1 años de edad, ninguna ha presentado la menarquía; solamente el 30% de las estudiadas manifiesta el inicio de la maduración de las glándulas mamarias y de la aparición del vello púbico.

En una investigación realizada por Almenares & Izquierdo (2006), donde participaron 62 deportistas de cinco modalidades, también se evidenció que la edad de la menarquía se registra de manera diferente, en función a la modalidad deportiva. Así, la edad de la menarquía de las deportistas de gimnasia rítmica fue de $14,4 \pm 0,9$ años y la de las atletas de velocidad, $14,2 \pm 1,6$ años, que es aproximadamente dos años mayor que en el resto de la muestra, que se ubica en los promedios entre 12,4 y 12,8 años (balonmano, hockey y judo).

La evaluación de 95 atletas (Vrubliovskiy, 2005), especializadas en las modalidades de velocidad y de fuerza, ha demostrado que la edad de la menarquía puede depender del “grado de feminidad” de las deportistas. Así, las mujeres con el “alto” nivel de feminidad tuvieron la menarquía a los 12,8 años; las mujeres con el nivel “medio” de feminidad (tipo andrógeno), la tuvieron a los 13 años (52,3%) y 14 años (45,2%), mientras que las mujeres con el “bajo” nivel de feminidad (tipo masculino) tuvieron la menarquía en las edades más tardías: 12,6%, a los 13 años; 31,2%, a los 14 años; 47,3%, a los 15 años y 8,9%, a los 16 años. Al revisar la menarquía por modalidades atléticas, se ha detectado que más tempranamente menstrúan las lanzadoras de martillo (11,7 años) y más tardíamente, las saltadoras de alto (14,3 años).

Mulik & Prudnikova (2006) confirmaron la influencia negativa de las grandes cargas físicas en edades que corresponden al periodo de aparición y de estabilización del ciclo menstrual. Al evaluar dos grupos de jóvenes ciclistas, con edades de 12 y 13 años, que entrenaron durante un año, según dos programas distintos (con y sin restricción de grandes cargas físicas), encontraron que en el grupo que realizaba las cargas moderadas, 14 de 20 niñas tuvieron la menarquía, mientras que en otro grupo, solamente 2 de 20.

Konovalova (2012), trabajando con las deportistas colombianas, a nivel nacional, encontró que la menarquía se presenta en las edades entre 8 y 17 años. Los mayores porcentajes corresponden a las edades de 12 y 13 años (23,9 y 24,3%, respectivamente). La edad promedio de la aparición de la primera menstruación fue de 12,9 años. Los valores promedio más bajos corresponden a las modalidades de baloncesto (11,9 años), tiro y tiro con arco (12,1 años); los valores más altos, se encuentran en las modalidades de gimnasia rítmica y clavados (13,4 años), patinaje artístico y ciclismo (13,5 años) y gimnasia artística (13,9 años). El 68,3% de las deportistas inició la práctica del deporte antes de la

menarquía. Para este grupo, el promedio de la edad de la menarquía se encuentra en 12,25 años, con una diferencia de 0,9 años, con respecto al promedio de las deportistas, quienes iniciaron los entrenamientos antes de la menstruación (13,14 años).

Las cargas físicas y la función reproductiva de las deportistas: Según Lubysheva & Shajlina (2004), hoy en día, se habla abiertamente sobre los perjuicios de la práctica deportiva no adecuada en el organismo femenino. Cada vez, se hace más difícil alcanzar un alto nivel de adaptación hacia las cargas, necesario para un exitoso desempeño. El "precio" de la adaptación del organismo de las mujeres hacia la actividad deportiva intensa crece cada año, lo cual, influye negativamente en el funcionamiento de varios sistemas del organismo de las deportistas, incluyendo el sistema reproductor. En algunos casos, basta con bajar las cargas de entrenamiento para restablecer gradualmente la función reproductiva, pero en otros, se requiere un tratamiento con medicamentos y otra serie de métodos.

La teoría contemporánea del entrenamiento deportivo no contiene suficientes conocimientos para una racional planificación del entrenamiento de las mujeres, teniendo en cuenta las particularidades del organismo femenino. En medicina existen resultados alarmantes de las investigaciones sobre alta frecuencia de alteraciones de dicha función en las deportistas (Kotsan, 2002; Futorniy, 2004).

La alteración de la regularidad del ciclo menstrual es la más común en las deportistas. Según Ababkova (2002), dependiendo de la presencia de los síntomas, las alteraciones se pueden dividir en tres grupos: amenorrea (ausencia de la menstruación) o su debilitamiento (síndrome hipomensual), sangrados de la matriz y dismenorrea (menstruaciones dolorosas).

Los resultados de las investigaciones con las deportistas de alto nivel demuestran que un mayor porcentaje de alteraciones de la función menstrual se encuentra en jóvenes y en mujeres que no reducen la carga de entrenamiento durante las fases de tensión fisiológica (Sokolova, 2003).

Algunos factores, como el estrés y una dieta pobre, además del entrenamiento, pueden alterar el ciclo menstrual y empeorar la situación de estos problemas preexistentes (León, 2000). El entrenamiento de alto volumen e intensidad puede aumentar la incidencia de amenorrea, donde las mujeres con historia previa de irregularidades menstruales son más propensas a presentar esta disfunción, en relación con el entrenamiento. La composición corporal puede influir en el ciclo menstrual; sin embargo, algunos estudios no han podido encontrar una relación entre la composición corporal y la falta de ciclos menstruales. Lo anterior, se confirma con los

resultados de Schtscherbyna *et al.* (2012), quienes realizaron un trabajo con 78 nadadoras de Río de Janeiro, entre los 11 y 19 años, encontrando que la edad de inicio de la práctica deportiva y no la composición corporal, está asociada con disfunciones menstruales de las atletas.

Litisevich (2006, 2007) afirma que entre las mujeres deportistas, más que en las que no practican deporte, se encuentran las siguientes alteraciones del sistema reproductor: retraso de la maduración sexual, disfunción de los ovarios, que se traduce en amenorrea y sangrados desordenados, infertilidad y problemas con el embarazo, hiperandrogenia (morfotipo masculino, hipoplasia de las glándulas mamarias y de la matriz e hirsutismo).

Iordanskaia & Yudintseva (1999) opinan que uno de los síntomas de desadaptación de las mujeres hacia las cargas del deporte contemporáneo es la disfunción de los ovarios, que se traduce en la afección del ciclo menstrual. Las alteraciones, se pueden presentar a través de la amenorrea, oligomenorrea, dismenorrea, flujo abundante o, por el contrario, muy escaso, variaciones en la duración de la fase menstrual. Según Speed (2007), hasta el 80% de las mujeres que hacen ejercicio intenso puede tener algún tipo de disfunción menstrual. Entre estas disfunciones, las más comunes son: anormalidad de la fase lútea, anovulación, oligomenorrea, amenorrea y retraso de la menarquía.

La dismenorrea, al parecer afecta menos a las deportistas que a la población en general, lo que se traduce en el efecto benéfico del ejercicio físico sobre la disminución de la dismenorrea (Dusek, 2001; Almenares & Izquierdo, 2006). Se conoce como dismenorrea al dolor de tipo cólico, localizado en bajo vientre, que se presenta antes o durante la menstruación y puede estar acompañado de otros síntomas, entre los que predominan las náuseas, el vómito, la diarrea, la sudoración y otros (Iglesias *et al.* 1987).

Almenares & Izquierdo (2006) realizaron un trabajo con 62 deportistas cubanas, integrantes de atletismo (velocidad), balonmano, hockey sobre hierba, judo y gimnasia rítmica. En la muestra de esta investigación, la dismenorrea es la afección más frecuente, presente en el 25,8% de las deportistas y predomina en el hockey sobre hierba, con un 46,2% de sus jugadoras y las deportistas de gimnasia rítmica, con el 33,3%. Las náuseas, se encuentran en 6 de las 62 deportistas, incluidas en el estudio (9,7%), coincidiendo con las que padecen de dismenorrea, como un síntoma asociado. Se hallaron afectados con mayor frecuencia el grupo de las gimnastas, con el 22,2% de las jóvenes y las jugadoras de hockey, con el 15,4%. La hipermenorrea, que afecta al 17,7% de la muestra, se observó en el 44,4 % de las gimnastas.

Según Kalinina (2004), al evaluar 598 deportistas, en 19 modalidades, existe un porcentaje importante de las mujeres afectadas, por una u otra patología ginecológica: síndrome de hiperandrogenia, síndrome de ovarios poliquísticos, síndrome premenstrual, colpitis no específica, candidiasis, pseudoerosión del cuello uterino, salpingooforitis, oligomenorrea y otras. La frecuencia de las enfermedades detectadas y la estructura de la patología son distintas en mujeres especializadas en modalidades tradicionales y no tradicionales. Así, el 29,8% de las deportistas estudiadas fueron mujeres que practican modalidades no tradicionales, como halterofilia y modalidades de combate. La principal patología detectada fue el síndrome de hiperandrogenia (representado por el síndrome adrenogenital y síndrome de los ovarios poliquísticos); su frecuencia en las deportistas supera varias veces aquella en mujeres no deportistas, lo cual, se relaciona con una rígida selección de las niñas que poseen un morfotipo atlético.

Los resultados de algunos estudios realizados en torno a la función reproductiva en las deportistas (Sologub, 1989; Soboleva, 1999), demuestra que en ella se presenta con gran frecuencia la misma patología que en mujeres con hiperandrogenia. Dicho argumento debilitó, sustancialmente, la opinión que existía durante un largo tiempo, que las deportistas dan a luz con mayor facilidad; no obstante, la función reproductiva no es la única afectada por las cargas de entrenamiento y exigencias del deporte moderno. La triada de la mujer atleta es otro problema que ocupa un lugar importante en los estudios de las últimas dos décadas (Lebrun, 2006; Izquierdo *et al.* 2006; Hoch *et al.* 2007; Márquez, 2008). La amenorrea, los desórdenes alimenticios y la osteoporosis, que componen la triada, son más presentes en las modalidades deportivas donde se pretende mantener un peso bajo irreal (gimnasia rítmica y artística, patinaje artístico, entre otros).

Según Dusek (2001), la prevalencia de la amenorrea en las practicantes de carreras de fondo, ballet o patinaje artístico oscila entre un 25 y 70%, frente al 5% de la población. La amenorrea secundaria, se asocia frecuentemente con la desaparición del efecto protector de los estrógenos sobre el hueso, lo que hace que las mujeres se vuelvan más vulnerables a las pérdidas de calcio; sin embargo, según Cabrera *et al.* (2010), el impacto que produce la amenorrea sobre la densidad mineral ósea no ha quedado claramente establecido y no existen evidencias de que las mujeres, en las cuales se recupere la función menstrual, desarrollen infertilidad crónica.

La prevalencia de la amenorrea varía entre las distintas modalidades deportivas (Ruud & Grandjean, 2003). Así, en un estudio con 226 atletas de élite, las gimnastas tenían la mayor incidencia de amenorrea (71%), seguidas

por las remadoras de peso liviano (46%) y las corredoras (45%). En una investigación de Möller-Nielsen & Hammar (1989), conducida con las futbolistas profesionales suecas, se destaca que si bien no hay un número significativo de casos de amenorrea en mujeres futbolistas, sí existe un claro aumento de lesiones y de sensaciones de malestar, en presencia de síntomas premenstruales y menstruales, así como un descenso de estas lesiones y síntomas con el uso de los anticonceptivos orales.

Según Platonov *et al.* (2012), el deporte olímpico contemporáneo plantea unas altas exigencias frente a sus participantes, en particular a las mujeres. Durante la preparación y la participación en las competencias, las deportistas soportan cargas extremadamente altas, que pueden influir negativamente en su salud, en especial, en la función reproductiva, sistema cardiovascular, estado del tejido óseo, propiciando el desarrollo de distintas patologías. Para resolver estos problemas, el Comité Olímpico Internacional y las Federaciones Deportivas Internacionales requieren tener en cuenta los avances de la ciencia en el tema del deporte femenino, con el fin de optimizar el proceso de preparación y prevenir posibles disfunciones.

CONCLUSIONES

Según el análisis realizado, el ciclo menstrual marca un comportamiento variado de las distintas funciones vitales de la mujer, lo cual, se debe tener en cuenta en la planificación y en la construcción del proceso de entrenamiento. Para ello, es indispensable que exista una comunicación directa sobre el tema entre el entrenador y la deportista, quien, además, permite detectar posibles afecciones de la función menstrual. El conocimiento de la duración del ciclo y su estabilidad permite organizar la estructura del proceso de entrenamiento, de tal manera que los mesociclos se programen acorde con los ciclos biológicos de la deportista, donde las fases más favorables (postmenstrual y postovulatoria) puedan asumir una carga mayor, alternándola con descensos en las fases de tensión fisiológica (ovulatoria, premenstrual y menstrual). Los ajustes en la magnitud de la carga en las distintas fases del ciclo, se deben hacer, en lo posible, acorde con las características del ciclo menstrual, de cada deportista concreta.

Se requiere hacer un seguimiento a la normalidad de la función menstrual de las deportistas, para detectar a tiempo posibles afecciones producidas por el entrenamiento o competencias y prevenir alteraciones y patologías a largo plazo.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por la autora, quien declara que no existe conflicto de intereses, que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABABKOVA, G.M. 2002. Alteración de la función menstrual en el periodo de la pubertad. Periódico médico "Salud de Ucrania". 1:9-14.
2. ALMENARES, E.; IZQUIERDO, S. 2006. Trastornos menstruales en deportistas de alto rendimiento. Disponible desde Internet en: <http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/137/1/Trastornos-Menstruales-En-Deportistas-De-Alto-Rendimiento.html> (con acceso 30/09/2010).
3. CABRERA, V.; HERNÁNDEZ, A.; PINO, J. 2010. Las hormonas en el deporte: una vieja herramienta con nuevas perspectivas. Rev. Cubana Med. Dep. 5(2):149-158.
4. CASARES, A. 2006. Rendimiento deportivo durante el ciclo menstrual. Rev. Sport Training. 7:48-53.
5. COCKERILL, L.M.; WORMINGTON, J.A.; NEVILL, A.M. 1994. Menstrual-cycle effects on mood and perceptual-motor performance. J. Psychosomatic Res. 38(7):763-771.
6. DUSEK, T. 2001. Influence of high intensity training on menstrual cycle disorders in athletes. Croat. Med. 42(1):79-82.
7. EIDER, E.; BOYCHENKO, S.D. 2004. Particularidades de la preparación especial de las mujeres en esgrima teniendo en cuenta las fases de la ciclicidad biológica. Teoría Práctica Cult. Fís. (Rusia). 5:7-11.
8. FIODOROV, L.P.; LANDYSHEV, V.V. 1998. Modelo del mesociclo de entrenamiento para mujeres corredoras de distancias medias en condiciones de montaña media. Teoría Práctica Cult. Fís. 2:18-20.
9. FUTORNIY, S.M. 2004. La reacción inmunológica de las deportistas como uno de los lineamientos de la medicina deportiva actual. Teoría y práctica Cult. Fís. 1:16-19.
10. GORÚLEV, P.S.; RUMIANTSEVA, E.R. 2005. Dirección del proceso de entrenamiento de las mujeres en halterofilia. Teoría Práctica Cult. Fís. 2:29-31.
11. GAION, P.; VIEIRA, L. 2010. Prevalence of premenstrual syndrome in athletes. Rev. Bras. Med. Esporte. 16(1):24-28.
12. GUIJARRO, E.; DE LA VEGA, R.; DEL VALLE, S. 2009. Ciclo menstrual, rendimiento y percepción del esfuerzo en jugadoras de fútbol de élite. Rev. Int. Med. Cienc. Act. Física Dep. 9(34):96-104.
13. HOCH, A.Z.; STAVRAKOS, J.E.; SCHIMKE, J.E. 2007. Prevalence of female athlete triad characteristics in a club triathlon team. Arch. Phys. Med. Rehabil. 88:681-682.
14. IGLESIAS, X.; CAMARASA, E.; CENTELLES, N. 1987. Trastornos de la menstruación. Martínez Roca (España). p.39-65.
15. IORDANSKAIA, F.A. 1999. Posibilidades morfofuncionales de las mujeres en el proceso de adaptación a largo plazo hacia las cargas del deporte contemporáneo. Teoría Práctica Cult. Fís. 6:43-50.
16. IORDANSKAIA, F.A.; YUDINTSEVA, M.S. 1999. Diagnóstico y corrección diferenciada de los síntomas de desadaptación a las cargas del deporte contemporáneo y sistema complejo de medidas para su profilaxis. Teoría Práctica Cult. Fís. 1:18-24.
17. IZQUIERDO, Z.; CABRERA, V.; ALMENARES, M.; GARCÍA, F. 2006. Actualización, pronóstico y medidas de intervención para la triada de la mujer deportista. Rev. Int. de Med. y Cienc. Act. Fis. y Dep. 6(24):188-199.
18. JACKSON, R. 2003. Sport Medicine Manual. Medical Commission, International Olympic Committee, 2000. Traducido y editado: Olimpiyskaia literatura (Ucrania). p.251-252.
19. KALININA, N.A. 2004. Diagnóstico y prevención de las alteraciones del sistema reproductor de las deportistas. Teoría Práctica Cult. Fís. 10:49-51.
20. KONOVALOVA, E.; RIVERA, M. 2009. Particularidades del ciclo menstrual de las jóvenes deportistas vallecaucanas y su relación con el rendimiento deportivo. Kinesis (Colombia). 49:12-22.
21. KONOVALOVA, E.A. 2012. Caracterización de la capacidad de trabajo de las deportistas colombianas durante el ciclo menstrual. Sportyvna Meditsina (Ucrania). 1:76-83.
22. KONOVALOVA, E.; RIVERA, M. 2012. Dinámica del rendimiento de las jóvenes deportistas durante el ciclo menstrual. Progr. Ed. Universidad del Valle. 120p.

23. KOTSAN, I.Y. 2002. Aspectos psicofisiológicos del dimorfismo de género en el deporte. Ed. Fís. Estudiantil. 2:27-35.
24. KRAUS, T.A. 1993. Algunos enfoques de individualización del proceso de entrenamiento de las mujeres. En: Dubnova I., Svechnikova N. (eds.) Trabajos de los científicos de GZOLIFK. Anuario (Rusia). p.213-217.
25. LEBRUN, C. 2006. The female athlete triad. *Women's Health Med.* 3(3):119-123.
26. LEÓN, C. 2000. Influencia del sexo en la práctica deportiva. *Biología de la mujer deportista.* Arbor CLXV (España). 650:249-263.
27. LITISEVICH, L.V. 2006. La salud reproductiva como el problema actual en el deporte contemporáneo de alto rendimiento. Ed. Fís. Estudiantil. 1:33- 38.
28. LITISEVICH, L.V. 2007. Influencia del entrenamiento en el desarrollo del sistema reproductor de las jóvenes deportistas. Ed. Fís. Estudiantil. 6:23-27.
29. LUBYSHEVA, L.I.; SHAJLINA, L.G. 2004. La mujer en el deporte contemporáneo de altos logros. Mesa redonda. Congreso internacional "Aprovisionamiento informático del deporte y conceptos básicos del sistema de preparación olímpica". Kiev, junio 2004. Teoría y práctica Cult. Fís. 10:58-63.
30. MÁRQUEZ, S. 2008. Trastornos alimentarios en el deporte: factores de riesgo, consecuencias sobre la salud, tratamiento y prevención. *Nutr. Hospitalaria*, 23(3):183-190.
31. MÖLLER-NIELSEN, J.; HAMMAR, M. 1989. Women´s soccer injuries in relation to the menstrual cycle and oral contraceptive use. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21(2):126-129.
32. MÜLIK, V.V.; PRUDNIKOVA, M.S. 2006. Estudio del estado funcional y de las cualidades motrices de las ciclistas de 12 – 13 años en el periodo de formación del ciclo menstrual. Ed. Fís. Estudiantil. 5:40-45.
33. NIDELMAN, L.M. 2006. Entrenamiento de intervalos en hipoxia en el deporte. Teoría y práctica Cult. Fís. 3:37-38.
34. ORIOL, P.A. 2006. La importancia de corrección de los estados psicológicos en el kickboxing femenino. Ed. Fís. Estudiantil. 6:43-51.
35. PLATONOV, V.N.; BULATOVA, M.M.; KOSMININA, E.S. 2012. Argumentos médico-biológicos para redireccionar el desarrollo de la parte femenina del programa de los Juegos Olímpicos. *Sportyvna Meditsina.* 1:3-9.
36. POJOLENCHUK, Y.T.; SVECHNIKOVA, N.V. 1987. Deporte femenino contemporáneo. *Zdorovia (Ucrania).* 192p.
37. RADZIEVSKIY, A.R.; SHAJLINA, L.G.; YATSENKO, Z.R.; STEPANOVA, T.P. 1990. Argumentación fisiológica de la dirección del entrenamiento deportivo de las mujeres teniendo en cuenta las fases del ciclo menstrual. Teoría y práctica Cult. Fís. 6:47-50.
38. REBITSKAIA, N.A. 2007. Determinación de la maestría técnico-táctica de las deportistas de elite en polo acuático en condiciones de la actividad competitiva. *Slobozhanskiy naukovy-sportyvnyy visnyk (Ucrania).* 11:78-80.
39. RÜUD, J.S.; GRANDJEAN, A.C. 2003. Consideraciones nutricionales en mujeres deportistas. *PublICE Standard.* 11/05/2003. Pid: 155.
40. SALDARRIAGA, W.; ARTUZ, M.A. 2010. Fundamentos de ginecología y obstetricia. Progr. Ed. Universidad del Valle (Colombia). p.69-129.
41. SHTSCHERBYNA, A.; BARRETO, T.H.; PALHA, F.; RAGGIO, R.; DE ABREU, E.; GONÇALVES, B. 2012. A idade do início do treinamento, e não a composição corporal, está associada com disfunções menstruais em nadadoras adolescentes competitivas. *Rev. Bras. Med. Esporte.* 18(3):161-163.
42. SHAJLINA, L.G. 1999. Problemas del dimorfismo de género en el deporte de alto rendimiento. Teoría y práctica Cult. Fís. 6:5155.
43. SHAJLINA, L.G. 2001. Bases médico-biológicas del entrenamiento deportivo de las mujeres. *Naukova dumka (Ucrania).* 326p.
44. SHAJLINA, L.G. 2004. Aspectos psicofisiológicos de la preparación deportiva de las mujeres. *Cienc. Dep. Olímpico (Ucrania).* 2:25-29.
45. SHAJLINA, L.G. 2012. Particularidades de la adaptación funcional del organismo de las deportistas de alto nivel hacia las grandes cargas físicas. *Sportyvna Meditsina.* 1:20-30.

46. SHAMARDINA, G.N.; BACHINSKAIA, N.V. 2003. Cambios en los índices de la estabilidad vestibular dependiendo de los parámetros de la carga de entrenamiento en acrobacia femenina por parejas. Ed. Fís. Estudiantil. 4:44-49.
47. SHAMARDINA, G.N.; BACHINSKAIA, N.V. 2007. Análisis de los resultados de encuesta de las acróbatas de alto nivel para determinar las particularidades del desarrollo de la función menstrual y la maduración sexual de las deportistas de distintos amplua. Ed. Fís. Estudiantil. 6:59-64.
48. SIVAKOV, V.I. 2003. Revelación de la tensión psíquica en las esquiadoras en diferentes fases del ciclo biológico. Teoría y práctica Cult. Fís. 2:32-33.
49. SOBOLEVA, T.S. 1999. Sobre los problemas del deporte femenino. Teoría y práctica Cult. Fís. 6:56-63.
50. SOBOLEVA, T.S. 2001. Gran aporte científico-práctico en la solución de los problemas del deporte femenino. Teoría y práctica Cult. Fís. 3:60-63.
51. SOKOLOVA, N.I. 2003. La salud de la mujer en el deporte contemporáneo. Ed. Fís. Estudiantil. 3:34-40.
52. SOLOGÚB, V.V. 1989. Bases fisiológicas del entrenamiento deportivo de las mujeres. GDOIFK (Rusia). 21p.
53. SPEED, C. 2007. Exercise and menstrual function. BMJ. 334:164-5.
54. VOLKOV, L.V. 2002. Teoría y metodología del deporte infantil y juvenil. Olimpiyskaia literatura (Ucrania). p.268-269.
55. VRUBLIOVSKIY, E.P. 2003. Dirección del proceso de entrenamiento de las mujeres en las modalidades atléticas de velocidad y fuerza. Teoría y práctica Cult. Fís. 6:2-5.
56. VRUBLIOVSKIY, E.P. 2005. Particularidades de preparación de las deportistas en modalidades atléticas de velocidad y fuerza. Teoría y práctica Cult. Fís. 7:60-63.
57. WILMORE, J.N.; COSTILL, D.L. 1994. Fisiología del deporte. Human Kinetics Publishers. Traducido y editado: Olimpiyskaia literatura. 2001. p.416-419.
58. ZAJARIEVA, N.N. 2010. Posibilidades funcionales de las deportistas de elite en las modalidades cíclicas durante las distintas fases del ciclo menstrual. Teoría y práctica Cult. Fís. 7:42-45.

Recibido: Noviembre 8 de 2012

Aceptado: Julio 24 de 2013

Como citar:

Konovalova, E. 2013. El ciclo menstrual y el entrenamiento deportivo: una mirada al problema. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 293-302.

SIMULACIONES DE CÉLULAS DE CUELLO UTERINO DESDE NORMALIDAD HASTA ATIPIAS ESCAMOSAS DE SIGNIFICADO INDETERMINADO (ASCUS) CON GEOMETRÍA FRACTAL

SIMULATIONS OF CERVICAL CELLS FROM NORMAL TO ATYPICAL SQUAMOUS CELLS OF UNDETERMINED SIGNIFICANCE (ASCUS) WITH FRACTAL GEOMETRY

Javier Rodríguez¹, Signed Prieto², Luis Tabares³, Astrid Rubiano⁴, Ingrid Prieto⁵, Darío Domínguez⁶,
Marcela Mejía⁷, Leonardo Ramírez⁸

¹ MD. Director del Grupo Insight. Director de la Línea de Profundización e Internado Especial: Física y Matemáticas Aplicadas a la Medicina, Universidad Militar Nueva Granada - Centro de Investigaciones de la Clínica del Country. Cra 79B No. 51-16sur. Int 5, Apt 102. Bogotá, Colombia. grupoinight2025@yahoo.es; ² Investigadora Grupo Insight. Universidad Militar Nueva Granada - Centro de Investigaciones de la Clínica del Country. Cra 79B No. 51-16sur. Int 5, Apt 102. Bogotá, Colombia. grupoinight2025@yahoo.es; ³ Ingeniero Electrónico. Especialización en telecomunicaciones. Docente Investigador Grupo TIGUM. Universidad Militar Nueva Granada Calle 109 No 5-64, Bogotá, Colombia. luis.tabares@unimilitar.edu.co; ⁴ Ingeniera Mecatrónica. Magister Sistemas Automáticos De Producción. Docente de Investigación Grupo TIGUM. Universidad Militar Nueva Granada. Cr. 60 N 79 b- 46 Apto 109, Bogotá-Colombia. astrid.rubiano@unimilitar.edu.co; ⁵ Licenciada en Biología. Investigadora Grupo Insight. Universidad Militar Nueva Granada. Cra 79B No. 51-16 sur. Int 5, Apt 102. Bogotá, Colombia. grupoinight2025@yahoo.es; ⁶ Matemático. Magister en Ciencias Económicas. Director Grupo de Investigación FRACUMNG. Universidad Militar Nueva Granada. Cra 53 A No 127-70, Apt 1219. dario.dominguez@unimilitar.edu.co; ⁷ Ingeniera Electrónica. Ph.D. Magister en telecomunicaciones. Doctora en Ingeniería y Doctora en Telemática. Investigadora Grupo TIGUM. Universidad Militar Nueva Granada. Calle 120 No 51-91. Bogotá, Colombia. angela.mejia@unimilitar.edu.co; ⁸ Ingeniero Electrónico. Ph.D. Magister en Ingeniería de sistemas y Doctorado en Ingeniería en Biomédica. Director Grupo TIGUM. Universidad Militar Nueva Granada. Crr 50 A No 174B-67 Apt 202 Torre 3. leonardo.ramirez@unimilitar.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 303-311, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Los sistemas convencionales de evaluación de la citología cervicouterina presentan problemas de reproducibilidad al basarse en observaciones cualitativas, por ello, se desarrolló una metodología diagnóstica de células cervicales desde geometría fractal. A partir de las dimensiones fractales de objetos definidos en la célula, se han encontrado diferencias entre normalidad y enfermedad; además, se ha mostrado que la clasificación ASCUS (Atipias Escamosas de Significado Indeterminado) podría ser aclarada, al evidenciar su comportamiento matemático similar o bien a normalidad o a enfermedad. También, se desarrolló una generalización de dicha metodología que mostró todos los posibles prototipos, desde normalidad hasta carcinoma. A partir de la generalización desarrollada y partiendo de tres células normales, en este trabajo se realiza una simulación de posibles alteraciones celulares, desde normalidad hasta el estado de ASCUS,

cuyos valores matemáticos pueden ser de normalidad o de LEIBG (Lesión Intraepitelial de Bajo Grado). Se simularon tres posibles variaciones geométricas para cada célula en el espacio de Box Counting, se calculó la dimensión fractal para núcleo, citoplasma y totalidad, manteniendo los valores de variabilidad y AMI (Armonía Matemática Intrínseca) celular. Se obtuvieron simulaciones de posibles trayectorias de normalidad a ASCUS, tanto con características de normalidad como con características de LEIBG, con medidas cuantitativas, objetivas y reproducibles. Se evidenció una organización fractal en la arquitectura de las células denominadas ASCUS, que permite el desarrollo de trayectorias acausales de alteración celular, de utilidad en la práctica clínica diaria.

Palabras clave: Dimensión fractal, Cáncer de cuello uterino, Citología, simulación, ASCUS.

SUMMARY

Conventional systems for evaluation of cervical cytology have reproducibility problems in relying on qualitative observations. Thus a methodology was developed to diagnose cervical cells from fractal geometry. From the fractal dimensions of objects defined in the cell, it was found differences between normality and disease. Also has been shown that the classification ASCUS (Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance) could be clarified by demonstrating its mathematical behavior similar to normal or disease. Besides, it was developed a generalization of such methodology showing all possible prototypes from normal cells to carcinoma. From the generalization developed and starting with three normal cells, in this work is made a simulation of possible cellular alterations from normality to ASCUS state whose mathematical values can be normal or LSIL (Low-grade Squamous Intraepithelial Lesion). For this, three possible geometric variations for each cell in the space of box counting was simulated, fractal dimension was calculated for nucleus, cytoplasm and whole, maintaining the values of variability and cellular AMI (Intrinsic Mathematical Harmony). Simulations of possible trajectories from normal to ASCUS were obtained, both with normal characteristics or L-SIL characteristics, with quantitative, objective and reproducible measures. It showed a fractal organization of the cell architecture called ASCUS, which allows the development of non-causal trajectories of cellular alteration useful in daily clinical practice.

Key words: Fractal dimension, Cervical Cancer, Cytology, simulation, ASCUS.

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición de la geometría fractal con el cuestionamiento de la capacidad de medida de objetos irregulares de la geometría euclidiana (Mandelbrot, 1967), se han planteado diferentes aplicaciones a diversas áreas, como el caso de la medicina. Se ha mostrado, la irregularidad de las estructuras anatómicas y cómo la geometría fractal ha sido de utilidad en la medida de dichas estructuras, que permite desarrollar metodologías apropiadas para caracterizar estados de normalidad o de enfermedad (Goldberger *et al.* 1990; Goldberger *et al.* 2002; Kiselev & Hahn, 2003; Cheng & Huang, 2003; Mauroy *et al.* 2004; Garte, 2004; Bassingthwaight *et al.* 1994).

Específicamente, en el área de oncología, la geometría fractal ha mostrado ser de gran utilidad en la descripción de estructuras cancerígenas (Baish & Jain, 2000; Luzi *et al.* 1999; Sankar & Thomas, 2010), se ha empleado en la medición de mamografías (Stępień & Stępień, 2010), así como en el estudio de la identificación de cáncer primario, en casos de

metástasis en huesos (Vasiljevic *et al.* 2012); sin embargo, se sigue investigando en la aplicabilidad clínica de algunas de estas metodologías (Stehlík *et al.* 2012; Welter & Rieger, 2010) y, también, se ha mostrado que la medida de dimensiones fractales aisladas puede ser insuficiente en la caracterización matemática para una aplicación clínica efectiva (Goldberger *et al.* 2002; Rodríguez *et al.* 2002, 2006, 2007, 2012).

En contraposición, el uso de geometría fractal junto con conceptos adecuados para su evaluación, ha permitido el desarrollo de metodologías de evaluación de arterias coronarias en modelos experimentales de restenosis en porcinos (Rodríguez *et al.* 2002), determinando la totalidad de posibles arterias normales y restenosadas (Rodríguez *et al.* 2010); también en morfología celular, permitió la determinación objetiva del estado eritrocítico (Correa *et al.* 2012), mediante la realización de medidas fractales y euclidianas simultáneas.

Por otro lado, estudios realizados muestran que el cáncer de cuello uterino ocupa el segundo puesto en incidencia en el mundo entre los tumores malignos de la mujer, después del cáncer de mama. En el continente americano, el cáncer cervical es el cuarto más frecuente en mujeres, siendo el segundo cáncer más frecuente en las mujeres entre 15 y 44 años (WHO/ICO, 2010). De acuerdo con reportes de la Organización Mundial de la Salud del 2008, esta patología es responsable de 275.000 muertes anuales a nivel mundial y más del 80% de los casos se presentan en países en desarrollo (WHO, 2008a), presentándose 2.000, de éstas, en Colombia, cifra que ubica al país como el cuarto lugar con mayor mortalidad por esta causa en las Américas (WHO, 2008b).

Dado que es una enfermedad con una larga historia natural y que el cérvix es fácilmente accesible, el cáncer de cuello uterino puede ser prevenido mediante el uso sistemático de la citología cérvico vaginal, que permite detectar anomalías previas a la instauración del carcinoma, logrando una tasa de supervivencia de las pacientes a 5 años por encima del 90%, lo que hace de este examen una herramienta fundamental, para la reducción de la mortalidad (Weiderpass & Labrèche, 2012). En la actualidad, la evaluación citológica se basa en parámetros de carácter principalmente cualitativo, lo que dificulta el establecimiento de un único sistema de clasificación de los grados de lesión de la enfermedad.

Actualmente, existen dos sistemas utilizados para reportar las CCV: uno, es de la Sociedad Británica para la Citología Clínica y, el otro, de Estados Unidos (Sistema de Bethesda). La clasificación de Bethesda tiene un uso más amplio, debido a que facilita la comunicación entre el médico y el técnico de laboratorio al proporcionar una terminología uniforme y

definida para el establecimiento de los diagnósticos (Dim, 2012). Análisis de la capacidad diagnóstica de estas clasificaciones evidencian que, por lo general, se cuenta con una especificidad entre el 86 y el 100%; sin embargo, la sensibilidad obtenida es altamente variable, oscilando entre el 30 y el 80%. Se ha demostrado, además, que se tiene una menor especificidad para lesiones intraepiteliales de alto grado que para lesiones de bajo grado (Stoler & Schiffman, 2001). Nanda *et al.* (2000) realizaron una revisión sistemática de este fenómeno encontrando una especificidad promedio del 98% y una sensibilidad promedio de solamente 51%. Además, estudios de las tasas de falsos negativos obtenidos en la citología indican que se presenta un promedio de 35,5% (Spence *et al.* 2007).

Dentro del estudio de la progresión tumoral existe gran interés por las lesiones pre-malignas del cérvix; se conoce que las lesiones precursoras que aparecen en el cérvix pueden, con el tiempo, transformarse en cáncer invasivo. Así, también es de gran interés la aparición de ASCUS, pues se pueden deber a un proceso benigno o a una lesión de riesgo, ya que el término ASCUS (Lacruz, 2003; Editorial Commitee of Acta Cytol, 1993) fue introducido, con el fin de señalar cambios que no pueden ser clasificados de manera inequívoca y que por sus características morfológicas, se pueden relacionar con procesos celulares benignos aunque intensos, o bien a lesiones de potencial gravedad.

Se ha mostrado que la clasificación cualitativa de ASCUS puede ser aclarada mediante medidas matemáticas objetivas y reproducibles, que permitan un diagnóstico objetivo, superando la dificultad originada por la observación cualitativa, en la distinción morfológica entre alteraciones benignas y lesiones potencialmente graves, como se mostró en el desarrollo de la metodología diagnóstica, que permitió diferenciar, matemáticamente, ASCUS asociadas a una reacción normal de las que están involucradas con lesión intraepitelial, evidenciando que este estadio no presenta características matemáticas diferenciales, sino que puede mostrar características ya sea de normalidad o de LEIBG (Rodríguez, 2011). En dicho trabajo, se establecieron medidas fractales del núcleo, del citoplasma y de la totalidad celular, evaluadas mediante el concepto de variabilidad y de Armonía Matemática Intrínseca (AMI) celular de dimensiones fractales (Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011), pues se evidenció que solamente con las dimensiones fractales de las células no se lograba una caracterización aplicable a la clínica (Rodríguez *et al.* 2006). Este concepto permitió diferenciar, matemáticamente, normalidad de LEIBG de manera objetiva y reproducible, proporcionando un diagnóstico específico para cada caso particular, independientemente de consideraciones estadísticas, al estar basado en una forma de pensamiento universalista, que busca características matemáticas presentes en cualquier célula posible del epitelio escamoso cervi-

cal. Gracias a este concepto físico-matemático fue posible desarrollar, posteriormente, una generalización, mostrando todos los prototipos celulares posibles, desde normalidad hasta cáncer (Rodríguez *et al.* 2010), los cuales, fueron contrastados con células reales, evidenciando que sus medidas estaban incluidas dentro de la generalización y que habían sido correctamente diagnosticadas.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue desarrollar trayectorias de posible alteración celular, desde normalidad hasta ASCUS, tanto con medidas análogas a normalidad como a LEIBG, con base en el concepto de Armonía Matemática Intrínseca (AMI) celular de dimensiones fractales (Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011), de tal forma que constituyan una herramienta de ayuda en el seguimiento temporal de pacientes que presenten ASCUS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron imágenes de tres células escamosas de cuello uterino diagnosticadas como normales por un patólogo experto, provenientes de un archivo personal del grupo Insight. Las células, se fotografiaron con cámara digital (Nikon), a través de microscopio (Nikon Eclipse e200), con aumento de 100X, obteniendo imágenes con dimensiones de 1200 x 1600 píxeles. Las fotografías, se importaron a un editor de imágenes, para su posterior análisis.

Se calculó la dimensión fractal del borde de la membrana celular, denominada C, de la membrana nuclear N y de la totalidad T de la célula, mediante la aplicación del método de box Counting (Rodríguez, 2011; Rodríguez *et al.* 2010). Para la aplicación de este método, superpusieron dos rejillas a las imágenes medidas, donde el lado de una es exactamente el doble del lado de la otra y se realizó un conteo del número de cuadros que son tocados por los bordes de cada uno de los objetos medidos. Estos valores son utilizados para el cálculo de la dimensión fractal, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{\text{Log}N_1(2^{-(K+1)}) - \text{Log}N_2(2^{-K})}{\text{Log}2^{k+1} - \text{Log}2^k} = \text{Log}_2 \frac{N_1(2^{-(k+1)})}{N_2(2^{-k})}$$

donde:

D: Dimensión fractal.

N: Número de cuadros que contiene el contorno del objeto.

K: Grado de partición de la cuadrícula.

Con base en estas medidas, se calculó la AMI celular y variabilidad, definida como la resta en la primera cifra posterior a la coma en la dimensión fractal de dos de los tres objetos evaluados; mediante esta medida es posible comparar cuantitativamente la relación entre las partes y la totalidad de la célula, diferenciando normalidad de anormalidad (Tabla 1).

Tabla 1. Conceptos básicos utilizados para el desarrollo de la metodología.

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Fractal	Del latín <i>fractus</i> , interrumpido. Objeto irregular. Término que indica como adjetivo: irregularidad y como sustantivo: objeto irregular.
Dimensión fractal	Medida numérica adimensional del grado de irregularidad de un fractal.
Armonía Matemática Intrínseca (AMI) celular y variabilidad de la dimensión fractal	Proporción entre las dimensiones fractales de los objetos evaluados (núcleo, citoplasma o totalidad), se obtiene calculando la resta de la primera cifra posterior a la coma en la dimensión fractal de dos de los objetos (Rodríguez, 2011).
Dimensión Fractal de Box-Counting	$D = \frac{\text{Log}N(2^{-(j+1)}) - \text{Log}N(2^{-j})}{\text{Log}2^{j+1} - \text{Log}2^j} = \text{Log}_2 \frac{N(2^{-(j+1)})}{N(2^{-j})}$ <p>Donde:</p> <p>D: Dimensión fractal.</p> <p>N: Número de espacios ocupados por el contorno del objeto.</p> <p>j: Grado de división de la rejilla.</p>

Teniendo en cuenta que la metodología previamente desarrollada (Rodríguez, 2011) evidencia que las células ASCUS no presentan características matemáticas que las diferencien de normalidad o de LEIBG, sino que pueden presentar valores matemáticos de AMI celular y variabilidad de la dimensión fractal correspondientes a uno u otro de estos estados, con base en las medidas fractales obtenidas de Núcleo, de Citoplasma y de la Totalidad para las células normales, se realizaron tres simulaciones de trayectorias de la posible alteración geométrica de cada una hacia células ASCUS, las cuales, pueden presentar medidas matemáticas de AMI celular y variabilidad, correspondientes a una célula de normalidad o bien a una LEIBG.

Para ello, se observaron cada una de las células normales en el espacio de Box Counting y se realizaron variaciones geométricas del borde de cada uno de los objetos medidos, de tal modo que, simultáneamente, se producía una variación en el número de espacios ocupados en cada una de las rejillas. Estas variaciones, se realizaron de tal modo que mantuvieran dimensiones fractales, cuyas medidas de AMI celular y variabilidad correspondieran con cada una de las condiciones buscadas, es decir, que tuvieran medidas matemáticas como las que se encontraron previamente en ASCUS, que podían ser análogas a normalidad o a LEIBG. De este modo, se obtuvieron nuevas células, que mantenían las relaciones estructurales de AMI celular y variabilidad y que, al

estar basadas en las células normales, medidas experimentalmente, constituyen posibles formas que puede tomar la célula en un proceso de alteración celular que desemboque en la aparición de células ASCUS, independientemente de repeticiones del experimento o de análisis estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo, en el que se establecen simulaciones de posibles trayectorias de alteración de una célula normal hacia una célula ASCUS, con base en el concepto de AMI celular y Variabilidad, se realizaron variaciones geométricas en el espacio de Box Counting de tres objetos: el núcleo, el citoplasma sin núcleo y la totalidad de las células normales, manteniendo las relaciones matemáticas de AMI celular y Variabilidad entre los objetos medidos, simulando trayectorias hacia ASCUS con medidas matemáticas análogas, tanto a normalidad como a L-SIL. Esta metodología evidencia la posibilidad de establecer rutas geométricas de alteración celular con implicaciones clínicas, permitiendo establecer la cercanía matemática de una ASCUS con una célula normal o con una L-SIL y, de este modo, hacer seguimientos en el tiempo, que sirvan como indicadores tempranos del progreso de pacientes que presenten ASCUS.

Las dimensiones fractales del contorno celular de las tres células normales medidas estuvieron entre 0,9368 y 1,7896;

para el contorno nuclear, se encontró que las dimensiones fractales estuvieron entre 0,4823 y 1,2201 y para la totalidad, se obtuvieron valores entre 0,9745 y 1,7723. Los valores de variabilidad y AMI de la comparación entre Citoplasma y Nú-

cleo, se hallaron entre 4 y 6, al igual que entre Núcleo y Totalidad, mientras que para la comparación entre Citoplasma y Totalidad, se obtuvieron valores de 0 en los tres casos (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de las tres células normales que se tomaron como punto de partida para las simulaciones. Dimensión fractal de los tres objetos medidos: C: Citoplasma, N: Núcleo y T: Totalidad, Variabilidad y AMI celular para las comparaciones entre estos objetos.

	DIMENSION FRACTAL			VARIABILIDAD FRACTAL Y AMI CELULAR		
	C	N	T	CYN	NYT	CYT
Normal	0,9368	0,4823	0,9745	5	5	0
Normal	1,7896	1,1674	1,7723	6	6	0
Normal	1,6538	1,2201	1,6344	5	5	0

Las simulaciones presentaron valores de dimensión fractal entre 0,4123 y 1,9524, para el citoplasma; entre 0,1678 y 1,5616, para el núcleo y entre 0,4392 y 1,8234, para la totalidad. Los valores de variabilidad y AMI de la comparación entre Citoplasma y Núcleo oscilaron entre 1 y 5, mientras que presentaron valores entre 1 y 4, entre Núcleo y Totalidad y entre Citoplasma y Totalidad, se obtuvieron valores entre 0 y 2 (Tabla 3).

En el caso de la primera célula, las simulaciones obtenidas de ASCUS presentaron valores análogos a una célula normal en todos los casos. En la segunda, la tercera de las simulaciones obtenidas de ASCUS presentó valores análogos a una célula L-SIL, mientras que las dos primeras mostraron valores similares a normalidad. En la tercera célula, la primera simulación reveló valores similares a normalidad, mientras que las dos restantes indicaron valores relacionados con L-

Tabla 3. Dimensión fractal, variabilidad y AMI celular de las tres células normales evaluadas y de las simulaciones obtenidas para cada una. Los valores en gris corresponden a las simulaciones de células ASCUS con medidas correspondientes a LEIBG, mientras que las simulaciones restantes presentan valores correspondientes a normalidad.

DIAGNÓSTICO	DIMENSION FRACTAL			VARIABILIDAD FRACTAL Y AMI		
	C	N	T	CYN	NYT	CYT
Normal	0,9368	0,4823	0,9745	5	5	0
ASCUS	1,8946	1,4671	1,8213	4	4	0
ASCUS	0,4123	0,1678	0,4392	3	3	0
ASCUS	0,9561	0,4213	0,8479	5	4	1
Normal	1,7896	1,1674	1,7723	6	6	0
ASCUS	1,9524	1,5616	1,8234	4	3	1
ASCUS	1,4432	1,1205	1,3248	3	2	1
ASCUS	0,4169	0,6824	0,6312	2	0	2
Normal	1,6538	1,2201	1,6344	4	4	0
ASCUS	1,7123	1,4325	1,7149	3	3	0
ASCUS	1,312	1,2991	1,5481	1	3	2
ASCUS	1,5852	1,4434	1,5537	1	1	0

SIL (Tabla 3). Cabe anotar que en este trabajo no se ejecutaron simulaciones respecto a ASC-H.

Si bien los resultados obtenidos evidencian que existe una relación entre la disminución de los valores de variabilidad y AMI celular y el aumento de la gravedad de las alteraciones preneoplásicas, confirmando los hallazgos previos (Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011), no se puede establecer una única trayectoria posible de la alteración geométrica de cada una de las células medidas, pues desde la perspectiva física y matemática, en este fenómeno, no se tienen relaciones de causa consecuencia secuenciales temporalmente, sino que el fenómeno puede ser descrito desde “ventanas temporales” que, en este caso, son cada una de las simulaciones realizadas para cada célula normal.

La idea de ventana temporal, acuñada por Prigogine (Fernández, 1990), implica que no se puede tener medidas continuas de este fenómeno; sin embargo, su estudio desde esta perspectiva acausal permite evidenciar armonías subyacentes a las alteraciones celulares independientemente de la edad, de los factores de riesgo o de cualquier análisis poblacional, siendo aplicables a cada caso particular. En la práctica clínica diaria esto sería muy útil, pues aunque se pueden presentar diferentes posibilidades de alteración celular hacia enfermedad o normalidad de pacientes que presenten ASCUS, el establecimiento de parámetros matemáticos que den cuenta de estas alteraciones, indicando cuantitativamente su cercanía a uno u otro estado, ayudaría a tener un criterio más preciso acerca de la pertinencia y la necesidad de la realización de seguimientos en el tiempo de pacientes que presenten ASCUS, en especial, si manifiestan valores cercanos a L-SIL.

Algunas medidas, como la toma seriada de CCV, han logrado mejorar la sensibilidad y disminuir el impacto de falsos negativos (Guilbert *et al.* 2007), pero también se han desarrollado nuevas técnicas automatizadas, para complementar el tamizaje manual; dos de ellas son el sistema de Pap-net y la citología en medio líquido (Thin Prep Pap Test). El primero es un lector de placas sistematizado, que utiliza redes neurales para realizar un segundo tamizaje a los frotis diagnosticados como negativos (Dybowski & Gant, 1995; Prismatic Project Management Team, 1999). El segundo es una alternativa de preparación en medio líquido, donde el dispositivo de recolección se enjuaga en un tubo con una solución conservante, antes de ser enviado al laboratorio; luego, la muestra se centrifuga, se extrae la sangre y el moco, se retira el sedimento celular y se suspende en un diluyente y, finalmente, se hace un frotis en la lámina (Alameda *et al.* 2007); no obstante, aunque estas nuevas técnicas muestran una mejor especificidad (Dybowski & Gant 1995; Prismatic Project Management Team, 1999; Alameda *et al.* 2007), también aumentan el costo del cribado.

Estos problemas son especialmente significativos en el caso de las células denominadas ASCUS, definidas como alteraciones celulares potencialmente graves, pero de las cuales no se puede realizar una afirmación concluyente (Lacruz, 2003). Esta categoría es la que constituye un mayor reto a nivel diagnóstico, pues es la que presenta menor reproducibilidad inter-observador (Smith *et al.* 2000; Stoler & Schiffman, 2001; Lachman & Cavallo-Calvanese, 1998). En estos casos, es necesario invertir mayores recursos para la determinación de un diagnóstico, utilizando exámenes adicionales, como colposcopia y biopsia, sin que garantice un diagnóstico certero, dado que los resultados pueden no correlacionarse adecuadamente, lo que dificulta, en gran medida, la posibilidad de hacer pronósticos útiles.

En este contexto, el estudio de las trayectorias posibles de normalidad hacia ASCUS constituye un tema de gran importancia y puede tener gran utilidad a nivel clínico a futuro, especialmente, teniendo en cuenta el bajo costo y la amplia cobertura de la citología en la actualidad. Es necesario realizar estudios posteriores con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, con el fin de desarrollar trayectorias de aplicación clínica, mediante una metodología objetiva, reproducible y de fácil aplicación, que pueda disminuir los costos, no solamente en la detección de lesiones cervicales sino en el seguimiento de casos de potencial gravedad y en la evaluación de medicamentos o terapias instauradas.

Este trabajo está basado en una perspectiva innovadora de investigación en medicina, donde se trabaja a partir de los principios y las formas de pensamiento de las teorías físicas y matemáticas para llegar a afirmaciones de validez universal y de aplicación clínica, a cada caso particular. La forma de razonamiento inductivo utilizado en la física y la matemática permite, a partir de unos pocos casos, establecer relaciones matemáticas de universales de utilidad para casos particulares. En medicina ha sido posible establecer leyes, a partir de las cuales es posible establecer la totalidad de posibilidades que se pueden dar en la práctica de fenómenos tan complejos, como la dinámica cardiaca (Rodríguez *et al.* 2013), células de cuello uterino (Rodríguez *et al.* 2010; Rodríguez, 2011) o la totalidad de posibles arterias en el proceso de restenosis, evidenciando cómo a partir de pocos casos y con relaciones matemáticas se puede mostrar cómo cambian las relaciones estructurales fractales finitas, acotadas en el intervalo numérico entre 0-2 en el espacio finito Box Counting, determinando objetiva y cuantitativamente cualquier estado posible (Rodríguez *et al.* 2010). Este tipo de investigaciones en las que se hace uso de teorías físicas y matemáticas para la dilucidación y solución de problemas en medicina ha proporcionado soluciones a diferentes problemas de la práctica médica actual, en áreas tan diversas, como la cardiología (Rodríguez *et al.* 2007; Rodríguez, 2010a; Rodríguez, 2012), la biología molecular (Rodríguez *et al.* 2010), la inmunología

(Rodríguez, 2008), la predicción de epidemias (Rodríguez, 2010b) y la infectología (Rodríguez *et al.* 2012), evidenciando la importancia de esta perspectiva, tanto a nivel experimental o predictivo como a nivel clínico, como es el caso del presente trabajo, donde se abre una nueva perspectiva para el seguimiento clínico de alteraciones preneoplásicas de potencial gravedad.

Agradecimientos: Al Doctor Héctor Posso, docente de la Universidad Militar Nueva Granada y a la Liga Contra el Cáncer, por su apoyo a nuestras investigaciones. A la Vicerrectoría de Investigaciones y al Fondo de Investigaciones, por el apoyo y financiación de este trabajo, especialmente, a las Doctoras Jacqueline Blanco, Vicerrectora de Investigaciones, Martha Bahamón, Vicerrectora Académica, Esperanza Fajardo, Directora del Centro de Investigaciones de la Facultad de Medicina y a los Doctores Juan Miguel Estrada, Decano de la Facultad de Medicina, Mario Alejandro Castro, Jefe de la División de Investigación Científica y a Henry Acuña, por su apoyo a nuestras investigaciones. Al Centro de investigaciones de la Clínica del Country, especialmente, al Doctor Tito Tulio Roa, Director de Educación Médica; al Doctor Alfonso Correa, Director del Centro de Investigaciones, al Doctor Jorge Ospina, Director Médico; a la Doctora Adriana Lizbeth Ortiz, Epidemióloga y a Silvia Ortiz, por su apoyo constante. **Conflicto de Intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este trabajo hace parte de los resultados del proyecto ING – 1070 financiado por el Fondo de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada.

BIBLIOGRAFÍA

- ALAMEDA, F.; FUSTÉ, P.; ALBERT, S.; ROMERO, E.; GIMFERER, E.; SOLER, I.; CONANGLA, M.; CARRERAS, R.; SERRANO, S. 2007. Citología en medio líquido (Thin Prep Pap Test). Un año de experiencia. Prog. Obstet. Ginecol. (España). 50:197-202.
- BAISH, J.; JAIN, R. 2000. Fractals and Cancer. Cancer Res. (Estados Unidos). 60:3683- 3688.
- BASSINGTHWAIGHTE, J.; LIEBOVITCH, L.; WEST, B. 1994. Fractal Physiology . Ed. American Physiological Society by Oxford University Press. (New York). p.210-228.
- CHENG, S.C.; HUANG, Y.M. 2003. A novel approach to diagnose diabetes based on the fractal characteristics of retinal images. IEEE Trans Inf. Technol. Biomed. (Estados Unidos). 7(3):163-70.
- CORREA, C.; RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; BERNAL, P.; OSPINO, B.; MUNÉVAR, A.; ÁLVAREZ, L.; MORA, J.; VITERY, S. 2012. Geometric diagnosis of erythrocyte morphophysiology. JMMS. (Nigeria). 3(11):715-720.
- DIM, C.C. 2012. Towards improving cervical cancer screening in Nigeria: A review of the basics of cervical neoplasm and cytology. Niger J. Clin. Pract. (India). 15:247-252.
- DYBOWSKI, R.; GANT, V. 1995. Artificial neural networks in pathology and medical laboratories. Lancet. (Estados Unidos). 346:1203-1207.
- EDITORIAL COMMITTEE OF ACTA CYTOL. 1993. The Bethesda System for Reporting Cervical/Vaginal Cytology Diagnoses. Acta Cytol. 37: 115.
- FERNÁNDEZ, A. 1990. Introducción. En: FERNÁNDEZ, A. Orden y Caos. Ed. Prensa Científica S.A. (España). p.4-8.
- GARTE, S. 2004. Fractal properties of the human genome. J. Theor. Biol. (Inglaterra). 230(2):251-60.
- GOLDBERGER, A.L.; RIGNEY, D.R.; WEST, B.J. 1990. Chaos and fractals in human physiology. Sci. Am. 262:42-49.
- GOLDBERGER, A.; AMARAL, L.; HAUSDORFF, J.; IVANOV, P.; PENG, CH.; STANLEY, H.E. 2002. Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. PNAS. (Estados Unidos). 99:2466-2472.
- GUILBERT, E.; BORODITSKY, R.; BLACK, A.; KIVES, S.; LEBOEUF, M.; MIROSH, M.; SENIKAS, V.; WAGNER, M.S.; WEIR, E.; YORK-LOWRY, J.; REID, R.; TRUSSELL, J.; SOCIETY OF OBSTETRICIANS AND GYNAECOLOGISTS OF CANADA. 2007. Canadian Consensus Guideline on Continuous and Extended Hormonal Contraception, 2007. J. Obstet. Gynecol. Can. (Canada). 29:S1-32.
- KISELEV, V.G.; HAHN, K.R. 2003. Is the brain cortex a fractal? Neuroimage. (United States). 20(3):1765-1774.
- LACHMAN, M.F.; CAVALLO-CALVANESE, C. 1998. Qualification of atypical squamous cells of undetermined significance in an independent laboratory: is it useful or significant? Am. J. Obstet. Gynecol. 179:421-429.

16. LACRUZ, C. 2003. Nomenclatura de las lesiones cervicales (de Papanicolau a Bethesda 2001). *Rev. Esp. Patol*: 36(1):5-10.
17. LUZI, P.; BIANCIARDI, G.; MIRACCO, C.; DESANTI, M.M.; DEL VECCHIO, M.T.; ALIA, L.; TOSI, P. 1999. Fractal analysis in human pathology. *Ann. NY Acad. Sci. (Estados Unidos)*. 879:255-257.
18. MANDELBROT, B. 1967. How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science, New Series. (Estados Unidos)*. 156 (3775):636-638.
19. MAUROY, B.; FILOCHE, M.; WEIBEL, E.R.; SAPOVAL, B. 2004. An optimal bronchial tree may be dangerous. *Nature*. 427:633-636.
20. NANDA, K.; MCCRORY, D.C.; MYERS, E.R.; BASTIAN, L.A.; HASSELBLAD, V.; HICKCY, J.D.; MALCHAR, D.B. 2000. Accuracy of the Papanicolaou test in screening for and follow-up of cervical cytologic abnormalities: a systematic review. *Ann. Intern. Med. (Estados Unidos)*. 132:810-819.
21. PRISMATIC PROJECT MANAGEMENT TEAM. 1999. Assessment of automated primary screening on PAPANET of cervical smears in the PRISMATIC trial. *Lancet*. 353(9162):1381-1385.
22. RODRÍGUEZ, J.; MARIÑO, M.; AVILÁN, N.; ECHEVERRI, D. 2002. Medidas fractales de arterias coronarias en un modelo experimental de reestenosis: Armonía matemática intrínseca de la estructura arterial. *Rev. Col. Cardiol.* 10 (2):65-72.
23. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; ORTIZ, L.; WIESNER, C.; DÍAZ, M.; CORREA, C. 2006. Descripción matemática con dimensiones fractales de células normales y con anomalías citológicas de cuello uterino. *Rev. Cienc. Salud. (Colombia)*. 4 (2):58-63.
24. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; ORTIZ, L.; CORREA, C.; ÁLVAREZ, L.; BERNAL, P.; CASADIEGO, E. 2007. Variabilidad de la dimensión fractal de la ramificación coronaria izquierda en ausencia y presencia de enfermedad arterial oclusiva moderada y severa. *Rev. Col. Cardiol.* 14(3):173-179.
25. RODRÍGUEZ, J. 2008. Teoría de unión al HLA clase II: teoría de probabilidad, combinatoria y entropía aplicadas a secuencias peptídicas. *Inmunología. (España)*. 27(4):151-166.
26. RODRÍGUEZ, J. 2010a. Entropía Proporcional de los Sistemas Dinámicos Cardíacos: Predicciones físicas y matemáticas de la dinámica cardíaca de aplicación clínica. *Rev. Col. Cardiol.* 17:115-129.
27. RODRÍGUEZ, J. 2010b. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. *Rev. Panam Salud Pública. (Colombia)*. 27(3):211-218.
28. RODRÍGUEZ, J.; BERNAL, P.; PRIETO, S.; CORREA, C. 2010. Teoría de péptidos de alta unión de malaria al glóbulo rojo. Predicciones teóricas de nuevos péptidos de unión y mutaciones teóricas predictivas de aminoácidos críticos. *Inmunología (España)*. 29(1):7-19.
29. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; CORREA, C.; BERNAL, P.; PUERTA, G.; VITERY, S.; SORACIPA, Y.; MUÑOZ, D. 2010. Theoretical generalization of normal and sick coronary arteries with fractal dimensions and the arterial intrinsic mathematical harmony. *BMC Med. Phys. (Inglaterra)*. 10:1-6.
30. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; CORREA, C.; POSSO, H.; BERNAL, P.; PUERTA, G.; VITERY, S.; ROJAS, I. 2010. Generalización fractal de células preneoplásicas y cancerígenas del epitelio escamoso cervical. Una nueva metodología de aplicación clínica. *Rev. Fac. Med. (Colombia)*. 18 (2):173-181.
31. RODRÍGUEZ, J. 2011. Nuevo método fractal de ayuda diagnóstica para células preneoplásicas del epitelio escamoso cervical. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 14(1):15-22.
32. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; BERNAL, P.; PÉREZ, C.; CORREA, C.; ÁLVAREZ, L.; BRAVO, J.; PERDOMO, N.; FACCINI, A. 2012. Predicción de Linfocitos T CD4 con base en la teoría de probabilidad. Aplicación clínica a poblaciones de leucocitos, linfocitos y CD4 de pacientes con VIH. *Infectio. (Colombia)*. 16(1):15-22.
33. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; CORREA, C.; BERNAL, P.; ÁLVAREZ, L.; FORERO, G.; VITERY, S.; PUERTA, G.; ROJAS, I. 2012. Diagnóstico fractal del ventriculograma cardíaco izquierdo. Geometría fractal del ventriculograma durante la dinámica cardíaca. *Rev. Col. Cardiol.* 19(1):18-24.
34. RODRÍGUEZ, J.; CORREA, C.; MELO, M.; DOMÍNGUEZ, D.; PRIETO, S.; CARDONA, D.M.; SORACIPA, Y.; MORA, J. 2013. Chaotic cardiac law: Developing

- predictions of clinical application. *J. Med. Sci.* 4(2):79-84.
35. SANKAR, D.; THOMAS, T. 2010. A New Fast Fractal Modeling Approach for the Detection of Microcalcifications in Mammograms. *J. Digit. Imaging.* (United States). 23(5):538-546.
36. SMITH, A.E.; SHERMAN, M.E.; SCOTT, D.R.; TABBARA, S.O.; DWORKIN, L.; OLSON, J.; THOMPSON, J.; FASER, C.; SNELL, J.; SCHIFFMAN, M. 2000. Review of the Bethesda System atlas does not improve reproducibility or accuracy in the classification of atypical squamous cells of undetermined significance smears. *Cancer.* (Estados Unidos). 90:201-206.
37. SPENCE, A.R.; GOGGIN, P.; FRANCO, E.L. 2007. Process of care failures in invasive cervical cancer: systematic review and metaanalysis. *Prev. Med.* 45:93-106.
38. STEHLÍK, M.; MRKVIČKA, T.; FILUŠ, J.; FILUŠ, L. 2012. Recent developments on testing in cancer risk: a fractal and stochastic geometry. *J. Reliab. Statist. Stud.* (India). 5(Issue Special):83-95.
39. STĘPIEŃ, R.; STĘPIEŃ, P. 2010. Analysis of Contours of Tumor Masses in Mammograms by Higuchi's Fractal Dimension. *Biocybern. Biomed. Eng.* (Polonia). 30(4):49-56.
40. STOLER, M.H.; SCHIFFMAN, M. 2001. Atypical Squamous Cells of Undetermined Significance–Low-grade Squamous Intraepithelial Lesion Triage Study (ALTS) Group. Interobserver reproducibility of cervical cytologic and histologic interpretations: realistic estimates for the ASCUS-LSIL Triage Study. *JAMA.* 285:1500-1505.
41. VASILJEVIC, J.; RELJIN, B.; SOPTA, J.; MIJUCIC, V.; TULLIC, G.; RELJIN, I. 2012. Application of multifractal analysis on microscopic images in the classification of metastatic bone disease. *Biomed Microdevices.* (Estados Unidos). 14:541-548.
42. WELTER, M.; RIEGER, H. 2010. Physical determinants of vascular network remodeling during tumor growth. *Eur. Phys. J. E.* (Francia). 33:149-163.
43. WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Agency for Research Center. Globocan. 2008a. Fact Sheets: Cervix uteri, Worldwide. Disponible desde internet <http://globocan.iarc.fr/factsheet.asp> (con acceso 14/01/2013).
44. WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Agency for Research Center. Globocan. 2008b. Online Analysis, Incidence/Mortality, Chart by populations, Cervix uteri, all ages, 20 highest in Americas. Disponible desde internet <http://globocan.iarc.fr/> (con acceso 10/01/2013).
45. WEIDERPASS, E.; LABRÈCHE, F. 2012. Malignant Tumors of the Female Reproductive System. *Saf. Health Work.* (Corea del Sur). 3:166-180.
46. WHO/ICO. Information Centre on HPV and Cervical Cancer (HPV Information Centre). 2010. Human Papilloma virus and Related Cancers in Americas. Summary Report 2010. Disponible desde internet <http://www.who.int/hpvcentre> (con acceso el 01/11/2012).

Recibido: Diciembre 13 de 2012

Aceptado: Julio 9 de 2013

Como citar:

Rodríguez, J.; Prieto, S.; Tabares, L.; Rubiano, A.; Prieto, I.; Domínguez, D.; Mejía, M.; Ramírez, L. 2013. Simulaciones de células de cuello uterino desde normalidad hasta atípicas escamosas de significado indeterminado (ASCUS) con geometría fractal. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 303-311.

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL MOVIMIENTO DE ESPERMATOZOIDES HUMANOS APLICANDO UN PROGRAMA DE USO LIBRE, ESTUDIO-PILOTO

QUANTITATIVE ANALYSIS OF HUMAN SPERM MOTILITY USING OPEN SOURCE SOFTWARE, A PILOT-STUDY

Walter Cardona Maya¹

¹ Bacteriólogo y Laboratorista Clínico, Ph.D. Grupo Reproducción, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Calle 52 # 61-30, Laboratorio 534. Teléfono: 57 4 2196476, e-mail: wdcmaya@medicina.udea.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 313-317, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la movilidad espermática humana, mediante el programa Image J, usando el complemento Manual Tracking. Se realizó un estudio piloto, con el fin de determinar el desplazamiento espermática en seis muestras de semen, a través del sistema propuesto y el análisis convencional manual, ejecutado por un técnico experto. El análisis, mediante el software libre, cuantifica el desplazamiento de los espermatozoides, con resultados similares a los obtenidos por el análisis convencional. Adicionalmente, permite cuantificar la velocidad espermática promedio, la velocidad espermática lineal hacia delante y la linealidad media que, por medio del análisis cualitativo, no es posible. Esta es una primera aproximación para la evaluación cuantitativa de la movilidad espermática, aplicando un programa de uso libre, el cual, permitirá, en el futuro, desarrollar un sistema de análisis cuantitativo para la movilidad espermática, generando mayor información para un mejor análisis clínico.

Palabras clave: Análisis seminal, espermatozoides, fertilidad, movilidad.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate human sperm motility using the Image J program and the Manual Tracking plugin. A pilot study in order to assess motility in six semen samples by the proposed system and conventional analysis was performed. The results using the Image J software to quantify the movement of sperm are similar to the results obtained by conventional analysis by an expert technician. Furthermore, using the software it was possible to calculate curvilinear velocity, straight-line velocity and linearity. This is a first approach to the quantitative assessment of sperm motility with an open source software which will allow in the future

to develop a quantitative analysis system for sperm motility, generating more information for better clinical analysis.

Key words: Fertility, motility, semen analysis, sperm.

INTRODUCCIÓN

Los espermatozoides fueron observadas por primera vez hace casi 350 años y son células altamente especializadas, que cumplen funciones celulares, como morfogénesis, migración e interacción celular. Cada día, más artículos son publicados acerca de estas células (Cardona Maya, 2011), intentando determinar, entre otros parámetros, la calidad y el tipo de desplazamiento.

El análisis seminal es, hasta la fecha, la única prueba de laboratorio que permite valorar la capacidad fértil de un hombre (De los Ríos *et al.* 2004) y, para ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publica, periódicamente, el Manual para el Análisis Seminal Humano (Cardona Maya, 2010; WHO, 1999; 2010), para poder estandarizar esta evaluación; sin embargo, la evaluación de los parámetros seminales y, en especial la movilidad espermática, sigue siendo un procedimiento realizado manualmente por parte de un experto, a pesar de la inclusión de los sistemas automáticos para el análisis seminal, asistido por computador CASA, en 1985 (Lu *et al.* 2013), los cuales, ofrecen alta precisión en el análisis de los parámetros espermáticos, repetitividad en las determinación de las variables y mayor rapidez en los análisis, pero con alto costo (Pascual-Gaspar *et al.* 2008; Soler *et al.* 2003).

Los sistemas computarizados surgieron, como una propuesta, para realizar una evaluación cuantitativa de los parámetros seminales (Roa Guerrero *et al.* 2012). A pesar de

la importancia y las ventajas de la medición de los parámetros seminales cuantitativos (Munuce *et al.* 2006), continúa siendo realizada de forma manual. En el caso particular de la movilidad espermática, según los criterios establecidos por la OMS (WHO, 1999; 2010), el técnico experto lleva a cabo una inspección visual de al menos 200 espermatozoides en diferentes campos visuales, de la imagen microscópica (WHO, 1999; 2010).

Si bien, el grupo del profesor Ozcan (Su *et al.* 2012; Cardona-Maya, 2013), recientemente publicó un impresionante estudio, en el cual, se evaluó la movilidad espermática en tres dimensiones, realizar el análisis de la movilidad espermática de manera cuantitativa, usando un programa informático de uso libre y, por lo tanto, muy económica, debido a que se obtendrán resultados más precisos sobre el desplazamiento de los espermatozoides.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la movilidad espermática humana, mediante el programa Image J, usando el complemento Manual Tracking.

MATERIALES Y MÉTODOS

Image J y plugin Manual Tacking: El programa Image J (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) es de descarga libre. El complemento usado fue desarrollado por el profesor Fabrice P. Cordelières (<http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/track/track.html>) el cual es usado para determinar el desplazamiento celular aunque es la primera vez que se aplica para valorar la movilidad espermática.

Muestras de semen: Se evaluaron seis muestras seminales de cuatro voluntarios sanos. Dos de las muestras fueron recuperadas, mediante un gradiente de centrifugación, con el fin de obtener los espermatozoides con mayor movilidad, siguiendo los protocolos previamente estandarizados en el grupo (Cardona-Maya *et al.* 2009; 2011). Las movilidades para cada muestra fueron evaluadas, usando el procedimiento propuesto por la OMS, por un técnico entrenado (WHO, 1999; 2010).

Adquisición de imágenes: Para la captura del video, se dispuso de un microscopio de luz (Eclipse-Nikon), con objetivo de 40x y un ocular de 10x, para un aumento final de 400 veces; la cámara digital Nikon digital sight DS-Fi1 fue empleada para la adquisición de seis videos, de dos segundos, para cada muestra. Para llevar a cabo la validación de la distancia, se utilizaron las dimensiones de una cámara de Makler y las cuadrículas estandarizadas, evaluando la distancia entre dos vértices, la cual, es igual a 100µm (Cardona-Maya *et al.* 2008).

Procesamiento de los videos: Los videos fueron cargados en el software libre Image J (File/Open); posteriormente, se crearon las cuadrículas (Plugin/Analyze/Grid) y, en área por punto, se cambia por -6000-, para que queden los 12 cuadros.

Aleatorización: Con el fin de realizar un análisis aleatorio de los campos que se pretenden analizar, 6 de los 12 campos fueron seleccionados, usando la función de aleatorizar en Excell, Office® (= ALEATORIO.ENTRE (1,12)), en el que se seleccionaron 9 campos, por si alguno de los primeros se repetía. En este caso en particular, el orden de los campos fue 1, 5, 10, 11, 2, 8 y los opcionales fueron 6, 4 y 9.

Después de realizar el análisis, anteriormente descrito para cada célula, se determinó: la velocidad espermática promedio (VCL, mm/seg), velocidad espermática lineal hacia delante (VSL, mm/seg) y la linealidad media (LIN: VSL/VCL), usando los cálculos respectivos en Excel, basados en los datos que arroja el programa Image J, con el complemento Manual Tracking, que permite calcular la distancia recorrida de cada espermatozoide, basados en las coordenadas (X y Y) iniciales (i) y finales (f) obtenidas, de la siguiente manera:

$$\sqrt{(Xf - Xi)^2 + (Yf - Yi)^2}$$

Análisis estadístico: Se realizó análisis descriptivo de cada una de las variables de movilidad. Con el fin de comparar ambas metodologías, se practicó una prueba de t de Student y una correlación de Pearson, aplicando el software GraphPad Prism 5.0®. Finalmente, la diferencia entre el método manual y el método propuesto, en este estudio, permitió valorar la variabilidad entre los métodos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo, se muestran resultados similares en la valoración de la movilidad espermática, mediante el sistema propuesto y el método de análisis seminal manual, por parte de un técnico experto, siguiendo los lineamientos establecidos por OMS, en su manual de 2010 (WHO, 2010). Se efectuaron comparaciones para cada una de las movilidades en porcentaje (Figura 1), evaluaciones de los tipos de velocidad y linealidades (Figura 2), además de la correlación y el análisis de la razón de los dos métodos usados, para evaluar la movilidad espermática (Figura 3), con resultados similares.

Adicionalmente, como se observa en la figura 2, las muestras de semen recuperada 1 y 2, incrementan los valores de VCL y VSL respecto a la muestra inicial 1 y 2, respectivamente.

En este trabajo, se logró demostrar que es posible evaluar la trayectoria de un espermatozoide humano, utilizando un

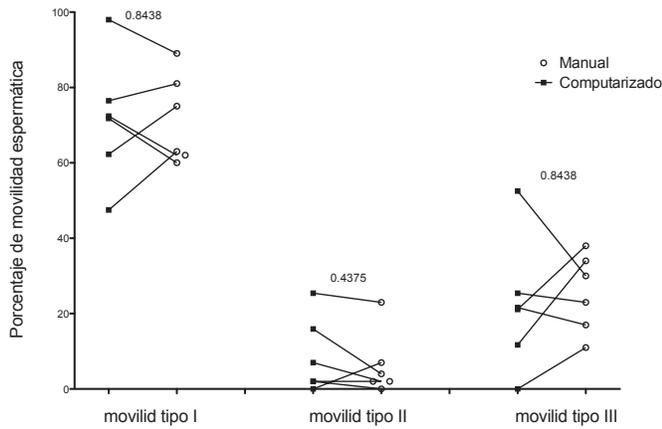


Figura 1. Movilidad espermática en porcentaje, mediante el sistema computarizado (cuadro oscuro) y la metodología manual (círculo abierto), realizada por un técnico experto. No se observaron diferencias estadísticas entre los grupos. Resultados en porcentaje para cada tipo de movilidad espermática: espermatozoides móviles (movilidad tipo I), espermatozoides móviles no progresivos (movilidad tipo II) y espermatozoides inmóviles (movilidad tipo III), para las 6 muestras de semen analizadas.

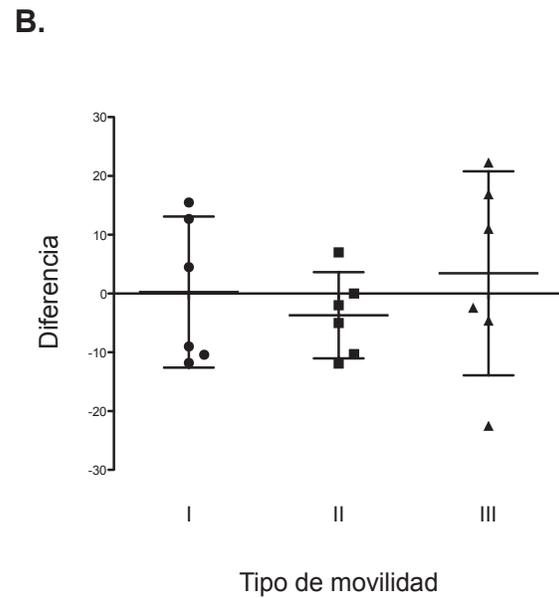
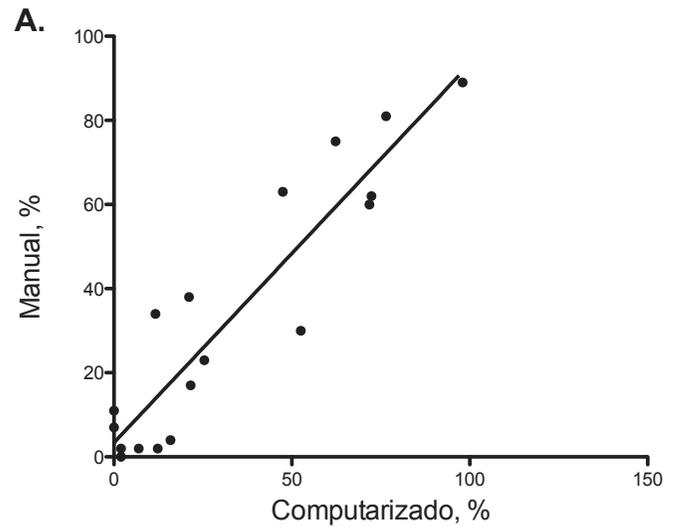


Figura 3. Correlación y análisis de la diferencia de los dos métodos usados para evaluar la movilidad espermática. **A.** Correlación (Pearson 0.924, $p < 0.0001$), entre la evaluación de la movilidad tipo I, II y III, mediante el sistema propuesto y un técnico experto (método manual). **B.** La diferencia entre los métodos manual y computarizado para cada tipo de movilidad: tipo I (círculo oscuro), tipo II (cuadro oscuro) y tipo III (triángulo oscuro), una media e intervalo de confianza, al 95% de 0,99 (0,8-1,2), 2,93 (-0,1-5,97), y 0,84 (0,16-1,52), respectivamente.

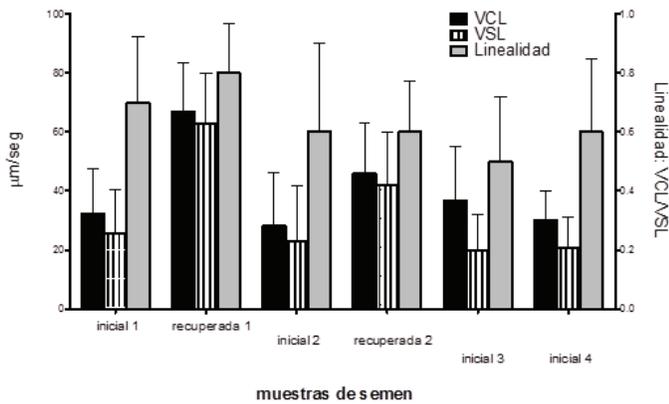


Figura 2. Velocidad movilidad tipo I. Velocidad espermática promedio (VCL), velocidad espermática lineal hacia delante (VSL) y linealidad media (LIN) de los espermatozoides en la muestra inicial, de las 4 muestras y en la seleccionada –espermatozoides móviles– de las dos primeras. La desviación evidencia la variabilidad en la muestra.

microscópico de luz y un programa informático de uso libre. Adicionalmente, el incremento de VCL y VSL en las muestras recuperadas era de esperar, debido a que los procedimientos de selección espermática permiten mejorar la calidad seminal (Figura 2).

Desde comienzos de 1940, algunos académicos han reportado la necesidad de datos objetivos, con pocos sesgos de la movilidad de los espermatozoides (Amann & Katz, 2004). Los sistemas CASA ofrecen múltiples ventajas a la hora de realizar la evaluación de la movilidad, la viabilidad y la morfología espermática (Lu *et al.* 2013); sin embargo, su distribución en países en vía de desarrollo, como Colombia, son pocos los centros que pueden tener el equipo y el personal entrenado para manejarlo, por lo tanto, utilizar aproximaciones metodológicas, como la planteada en este artículo, toman gran importancia a la hora de cuantificar la movilidad espermática.

De manera similar a lo que ocurre usando el sistema CASA (Lu *et al.* 2013), aplicando la metodología propuesta en este artículo, se puede evaluar el efecto de sustancias tóxicas sobre los espermatozoides, la relación de los parámetros con los procesos de fertilización *in vitro*, el efecto de algunas moléculas sobre la capacitación espermática y el efecto de la congelación sobre la movilidad espermática.

En conclusión, esta es la primera aproximación, en Colombia, que permite evaluar la posibilidad para realizar un análisis de la movilidad espermática, sin necesidad de adquirir un sistema CASA. En el futuro cercano, se desea poder aplicar esta misma aproximación, pero usando una captura de cada espermatozoide automatizada.

Agradecimientos: A la Estrategia de Sostenibilidad 2013/2014 de la Universidad de Antioquia. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMANN, R.P.; KATZ, D.F. 2004. Andrology Lab Corner: Reflections on CASA after 25 Years. *J. Andrology*. 25(3):317-325.
2. CARDONA MAYA, W. 2010. Manual de procesamiento de semen humano de la Organización Mundial de la Salud-2010. *Actas Urol. Esp.* 34(7):577-578.
3. CARDONA MAYA, W. 2011. Letter to Editor: Publications about Sperm during the Years 1897 to 2010. *J. Reprod. Infert.* 12(1):43-43.
4. CARDONA-MAYA, W. 2013. Words of wisdom: re: high-throughput lensfree 3D tracking of human sperms reveals rare statistics of helical trajectories. *Eur. Urol.* 63(4):768-769.
5. CARDONA-MAYA, W.; BERDUGO, J.; CADAVID, A. 2008. Comparación de la concentración espermática usando la cámara de Makler y la cámara de Neubauer. *Actas Urol. Esp.* 32(4):443-445.
6. CARDONA-MAYA, W.; VELILLA, P.; MONTOYA, C.J.; CADAVID, A.; RUGELES, M.T. 2009. Presence of HIV-1 DNA in spermatozoa from HIV-positive patients: changes in the semen parameters. *Curr. HIV Res.* 7:418-424.
7. CARDONA-MAYA, W.; VELILLA, P.A.; MONTOYA, C.J.; CADAVID, A.; RUGELES, M.T. 2011. In vitro human immunodeficiency virus and sperm cell interaction mediated by the mannose receptor. *J. Reprod. Immunol.* 92(1-2):1-7.
8. DE LOS RÍOS, J.; CARDONA, W.D.; BERDUGO, J.A.; CORREA, C.; ARENAS, A.; OLIVERA-ANGEL, M.; PENA, R.B.; CADAVID, A.P. 2004. Los valores espermáticos de 113 individuos con fertilidad reciente no mostraron correlación con los parámetros establecidos por la OMS. *Arch. Esp. Urol.* 57(2):147-152.
9. LI, J.C.; HUANG, Y.F.; LI, N.Q. 2013. Computer-aided sperm analysis: past, present and future. *Andrología* (en impresión).
10. MUNICE, M.J.; CARDONA-MAYA, W.; BERTA, C.L. 2006. ¿Existe asociación entre la morfología normal del espermatozoide y su cinética de desplazamiento? *Actas Urol. Esp.* 30(6):591-597.
11. PASCUAL-GASPAR, J.; OLMEDO, H.; EXPOSITO, A.; EXPOSITO, A.; FINAT, J. 2008. A simple and effective system for Computer-Assisted Semen Analysis. *IET*, p.1-4.
12. ROA GUERRERO, E.; CORTES MANCERA, F.; GUERRERO GONZÁLEZ, N.; CARDONA MAYA, W.; MORANTES GUZMÁN, L. 2012. Evaluación asistida por computador de la viabilidad espermática en humanos. *Rev. Ing. Bioméd.* 6(12):17-28.
13. SOLER, C.; DE MONSERRAT, J.; GUTIÉRREZ, R.; NÚÑEZ, J.; NÚÑEZ, M.; SANCHO, M.; PÉREZ SÁNCHEZ, F.; COOPER, T. 2003. Use of the Sperm Class Analyser® for objective assessment of human sperm morphology. *Int. J. Androl.* 26(5):262-270.

14. SU, T.W.; XUE, L.; OZCAN, A. 2012. High-throughput lensfree 3D tracking of human sperms reveals rare statistics of helical trajectories. Proc. Natl Acad. Sci. United States of America. 109(40):16018-16022.
15. WHO. 1999. Laboratory Manual for the Examination of Human Semen and Sperm-Cervical Mucus Interaction. 4th ed. Cambridge: University Press Cambridge. 271p.
16. WHO. 2010. Laboratory manual for the examination and processing of human semen, World Health Organization. 5th ed. Geneva. 128p.

Recibido: Mayo 28 de 2013

Aceptado: Septiembre 18 de 2013

Como citar:

Cardona Maya, W. 2013. Análisis cuantitativo del movimiento de espermatozoides humanos aplicando un programa de uso libre, estudio-piloto. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 313-317.

EFECTO DE LA AVENA Y/O LOVASTATINA SOBRE EL PERFIL LIPÍDICO EN PACIENTES DISLIPIDÉMICOS DEL HOSPITAL DE TUNJUELITO, BOGOTÁ 2008-2009

EFFECT OF OATS AND/OR LOVASTATIN ON LIPID PROFILE IN DYSLIPIDEMIC PATIENTS OF THE TUNJUELITO HOSPITAL, BOGOTA 2008-2009

Aura Mónica Alarcón Galeano¹, Diego Felipe Buitrago Hernández², Laura Angélica Romero Fierro³, Ana María Sánchez Leyva⁴, William Onatra H.⁵, María Teresa Ríos⁶

¹ Médico Cirujano, Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia. Residente de Oftalmología Hospital de La Habana, Cuba; ² MD. U.D.C.A.; ³ MD. U.D.C.A, ange_344@hotmail.com; ⁴ MD. U.D.C.A. Médica. Colsanitas, pitituta@hotmail.com; ⁵ Profesor Titular, Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, wonatra@gmail.com; ⁶ Estadística, Docente Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-30, Bogotá, Colombia. materito@gmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 319-326, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Se ha postulado que dietas ricas en fibras son útiles para disminuir el riesgo cardiovascular. Entre los medicamentos hipolipemiantes más usados, se encuentran las estatinas, los fibratos y, en 1997, la FDA aprobó la avena. La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de avena y de lovastatina en el perfil lipídico, de pacientes dislipidémicos. La muestra de pacientes estuvo constituida por un total de 84 con dislipidemia, del hospital de Tunjuelito, en Bogotá. Se distribuyeron al azar y la administración de los medicamentos, se realizó en forma aleatorizada. Al Grupo 1, se le administró Avena (A), 29 casos (34,5%). Grupo 2, Avena más Lovastatina (A+L), 22 casos (26,2%) y, el Grupo 3, Lovastatina (L), 33 casos (39,3%). Se hizo seguimiento durante doce semanas. Los datos, se procesaron en el programa estadístico SPSS. El IMC no mostró diferencias en el grupo 1, siendo más significativa en el grupo 2 que el en grupo 3. El perímetro abdominal evidencia diferencias significativas en los tres grupos. El colesterol mostró diferencias significativas entre el grupo 1 y 3. Los triglicéridos manifestaron significancia en los grupos 2 y 3. El presente estudio evidencia cómo los pacientes dislipidémicos se benefician al agregar un producto natural, como la avena, en los parámetros de perímetro abdominal y colesterol.

Palabras clave: Hipolipemiente, fibratos, perímetro abdominal, colesterol.

SUMMARY

It has been postulated that diets rich in fiber are useful to reduce cardiovascular risk. Among the most commonly used lipid-lowering drugs are statins, fibrates, and in 1997 the FDA approved oats. This research aimed to determine the effect of oats and lovastatin on lipid profile of dyslipidemic patients. The patient sample consisted of a total of 84 with dyslipidemia Tunjuelito hospital in Bogota. Were randomized and drug administration was conducted in randomly. Group 1 was administered Oats (A), 29 cases (34.5%). Lovastatin+Avena Group 2 (A + L), 22 cases (26.2%) and Group 3 Lovastatin (L), 33 cases (39.3%). They were followed for 12 weeks. The data were processed using SPSS. BMI showed no differences in group 1, being more significant in group 2 than in group 3. Waist circumference evidenced significant differences in the three groups. Cholesterol showed significant differences between group 1 and 3. Triglycerides showed significance in groups 2 and 3. This study provides evidence that dyslipidemic patients benefit by adding a natural product like oatmeal on abdominal circumference parameters and cholesterol.

Key words: Lipid lowering, fibrates, abdominal circumference, cholesterol.

INTRODUCCIÓN

Se ha postulado que las dietas ricas en fibras han sido útiles en disminuir el riesgo cardiovascular, independiente de la in-

gesta calórica, contenido de grasa u otros factores dietarios (Davy *et al.* 2002). La prevalencia de hipertensión y obesidad en un estudio longitudinal de una Investigación Nutricional de Salud en Estados Unidos muestra que el Índice de Masa Corporal (IMC) ha aumentado en hombres y en mujeres, de 25,3 a 26,3kg/m², entre 1960 y 1991, con una ganancia promedio de 3,6kg. Paralelamente, se ha incrementado la ingesta de dietas para bajar de peso, comprendiendo vegetales, frutas, fibras y algunos fármacos, incluyendo, las estatinas (Saltzman *et al.* 2001a). La enfermedad cardiovascular (ECV) es la primera causa de morbilidad, tanto en hombres (43%) como en mujeres (55%), después de los 60 años, en países industrializados. En 1992, estas enfermedades produjeron el 40% de todas las defunciones, a nivel de Europa, ocupando, el primer lugar, las de origen cerebrovascular, con el 31,7%, seguido de los infartos al miocardio, con el 26,6% (Prieto *et al.* 1998). En nuestro medio, la tasa estimada por 100.000 habitantes, para 2004, fue para enfermedad isquémica cardíaca, de 76,6, en hombres y 67,1 en mujeres (Onatra *et al.* 2006). La etiología del daño es multifactorial, pero que, en general, es debida a formación de placa arterioesclerótica (Vaidya *et al.* 2011; Rullán Bonillas, 2002; Castaño Valencia, 2001).

Estatinas: Los medicamentos hipolipemiantes, se encuentran en la actualidad dentro del más usado, sobre todo las estatinas, seguido de los fibratos. Estos fármacos reducen los niveles de colesterol, lipoproteínas de baja densidad y pueden prevenir la formación de lesiones ateroscleróticas, lentificar su proceso y producir su regresión, mejorar la vasodilatación coronaria y reducir la mortalidad por cardiopatía coronaria. Las nuevas estrategias en la prevención de la enfermedad aterotrombótica, se centran en la evidencia aportada por el tratamiento hipolipemiante, tanto para prevención primaria como secundaria (Zhou & Liao, 2010; Longyore *et al.* 2009).

Avena: En 1999, el FDA aprobó, de manera relativa a la salud, afirmando que las dietas ricas en alimentos de granos integrales, también conocidos como granos enteros, podrían ayudar a reducir el riesgo de las enfermedades cardiovasculares. Recientes estudios indican que el consumir, por lo menos tres porciones por día de granos integrales, está asociado con un 20 a 30% de disminución en el riesgo de enfermedades cardiovasculares y eventos cerebro vasculares (Swain *et al.* 1990). El grano o caropside está compuesto por dos estructuras principales, que son: el pericarpio, que contiene proteínas, lípidos y almidón (Shinnick *et al.* 1990) y la semilla, donde se encuentra la reserva de carbohidratos, en forma de almidón, cantidades mínimas de vitaminas, enzimas y ácidos grasos. La fibra es el principal contenido en la avena, que ayuda previniendo la absorción de lípidos, a nivel intestinal. La avena posee una de las fuentes más ricas de la fibra dietética soluble beta-glucano: de 5,0 (avena) a 7,2 (sal-

vado de avena) gramos por cada ración de 100 g y ambas son fuentes importantes de fibra dietética total. Incluye más lípidos (5 – 9%) que cualquier otro cereal y es rica en grasas poli-insaturadas, incluyendo, el ácido graso esencial linoleico (Poppit, 2007).

Se han realizado estudios en humanos, en varios países, para evaluar los efectos que tiene el cereal frente a los lípidos, en donde se muestra una evidencia demostrando que ayuda a disminuir, en un 10–20%, el colesterol total y LDL, en un 2–23%. Estos resultados, se demostraron si la persona consume de 35 a 120g de avena diario, en forma de salvado de avena, avena o goma de avena; a hombres y mujeres, el colesterol total disminuye un 10-20% y las LDL, en un 2-23% (Poppit, 2007). Existe evidencia que el efecto de la avena es mayor en pacientes hipercolesterolemicos que en pacientes normocolesterolemicos, mejorando el perfil lipídico, aumentando significativamente las concentraciones de HDL (Karl & Saltzman, 2012).

Fue interés de los autores evaluar el efecto de la avena, lovastatina y avena+lovastatina sobre el perfil lipídico en pacientes que ingresaron a la consulta externa con dislipidemia, al hospital de Tunjuelito, en Bogotá D.C.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trata de un estudio de casos y controles aleatorizado, no enmascarado. La muestra incluyó 97 pacientes de ambos sexos, diagnosticados con dislipidemia, entre los 40 y 70 años de edad, quienes ingresaron a consulta externa de medicina interna, del Hospital de Tunjuelito II nivel, en el periodo del primero julio de 2008 al 31 julio del 2009 y que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión; 14 pacientes se retiraron voluntariamente. **Criterios de Inclusión:** 1) Paciente con dislipidemia; 2) Con edades entre 40 y 70 años de edad; 3) Que sean diagnosticados con dislipidemia por primera vez y, 4) Que no tomen la avena diariamente. **Criterios de exclusión:** 1) Menores de 40 años; 2) mayores de 70 años; 3) Pacientes con neoplasias; 4) Pacientes con enfermedad hepática crónica; 5) Pacientes con enfermedad renal y, 6) No autorización del consentimiento informado. **Aspectos éticos:** El estudio cumplió con la Resolución 8430/93 Ministerio de salud de Colombia (Normas científico-administrativas). Se presentó al Comité de Ética de la Universidad y al Comité de Investigaciones del Hospital. Riesgo mayor al mínimo (Experimental). **Consentimiento informado:** Fue firmado por todos los pacientes quienes ingresaron al estudio, con la posibilidad que pudieran renunciar cuando lo desee.

Las hipótesis alterna, postula variaciones de niveles de colesterol/ triglicéridos, en pacientes que padecen dislipidemia y que estén en tratamiento combinado (lovastatina+avena); hipótesis nula, que se mantienen igual las concentraciones

de colesterol/triglicéridos, en pacientes que están con un sólo tratamiento (lovastatina o avena).

Para la recolección de la información, se tuvo en cuenta la elaboración del modelo de Historia clínica y perfil lipídico. En la identificación incluía: edad, estado civil, escolaridad, ocupación, nivel socio-económico, antecedentes familiares, antecedentes personales, como factores de riesgo cardiovascular, metabólico, estilo de vida, consumo de tabaco, consumo de medicamentos, frecuencia de ejercicio, dieta, examen físico y química sanguínea.

De los 84 pacientes para evaluar el efecto de la avena (3g/día) y/o Lovastatina (20mg/día), durante doce semanas, se realizó la toma de perfil lipídico al inicio y al final del estudio. Se aleatorizaron tres grupos: Grupo 1 (Avena), 29 casos; Grupo 2 (Avena+Lovastatina), 22 casos y Grupo 3 (Lovastatina), 33 casos. Se formalizó historia clínica diseñada para el estudio, examen físico, el cual, incluyó peso, tensión arterial, perímetro abdominal, índice de masa corporal (IMC) (Peso/Talla²), toma de laboratorios, como perfil lipídico, que contenía niveles de colesterol total y triglicéridos. Se citaron los pacientes a tres consultas, cada una separada por cuatro semanas, para comparar anamnesis, examen físico y perfil lipídico. Luego, se procedió a tabular los resultados correspondientes a cada una de las variables del estudio, en el programa estadístico SPSS, donde se analizaron los resultados, determinando porcentajes, frecuencias representadas en tablas para cada variable y la prueba estadística ANOVA, para la evaluación intragrupos (Ruiz & Morillo, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Liga Colombiana contra la Enfermedad Coronaria y la Hipertensión Arterial, desde aproximadamente seis años, inició un estudio prospectivo, en las diferentes capitales de Colombia, incluyeron 53.245 pacientes, de los cuales, el 52% eran hombres y el 47%, mujeres; en cuanto a la distribución por raza, el 52% fue determinado como raza blanca y una franja de 48%, como mestiza (Villarreal *et al.* 2008); un 8% de la población refiere antecedentes de enfermedad cerebrovascular y enfermedad coronaria; el 23% de la población colombiana, según este estudio, presenta cifras de colesterol anormales, por encima de los 200mg/dl y, el 12% cifras de triglicéridos, por encima de los 180mg/dl. La población, en un 47%, no realiza ningún tipo de ejercicio; el 25% presentan sobrepeso y obesidad, postulándose un daño progresivo endotelial, acompañado de hipertensión y daño coronario (Villarreal *et al.* 2008).

En el presente estudio, el Grupo 1 (Avena sola), incluyó 29 casos, (34,5%); Grupo 2 (Avena+Lovastatina), 22 casos (26,2%) y, Grupo 3 (Lovastatina sola), 33 casos (39,3%); la edad promedio fue de 53,51 años; el nivel socio-económico

en este grupo es bajo, con predominio del estrato 2 (89,3%); los antecedentes familiares evidencian que la enfermedad coronaria se presenta en el 65,5%, hipertensión arterial 57,1%, diabetes mellitus 39,3% y dislipidemia 66,6%, cifras muy superiores al estudio de la Liga Colombiana contra la Enfermedad Coronaria e Hipertensión. En estilos de vida, fuman el 33,4%, consume bebidas alcohólicas, el 67,8% y no hace ejercicio, el 89,3%, cifra muy superior a los datos del estudio sobre enfermedad coronaria, de 43%. En relación con la dieta consumen en exceso harinas, 100% y fritos, 85,7%; llama la atención que mantienen un consumo alto de verduras, carnes y lácteos (95%). El uso de medicamentos en este grupo, como era de esperarse, maneja hipolipemiantes, 22,6%, antihipertensivos, 15,5% e, hipoglucemiantes, 9,5%.

En relación a la variable peso y tratamiento, se realizó una prueba ANOVA, evidenciando que el grupo de Avena solamente aumentó 1,2% de peso, pero esta variación no es significativa ($p < 0.910$); en el grupo de Avena (A)+Lovastatina (L), se presenta un aumento leve de peso, de 1,1%, sin ser significativo ($p < 0.201$). El grupo de Lovastatina únicamente disminuyó el peso en 1,8%, con diferencia ($p < 0.007$) (Tabla 1).

En la evaluación del IMC, en el grupo que consumió (A sola), se presenta una disminución del 3%, sin diferencia significativa entre el inicio y al final de tratamiento ($p < 0.843$); en el grupo de (A+L), la disminución fue del 4%, con diferencia significativa al final del manejo ($p < 0.003$) y el grupo de (L sola), evidencia una disminución del 5,1%, con una significancia moderada ($p < 0.081$) (Tabla 2). El promedio de sobrepeso (IMC > 31), se observó en el grupo 3 (L sola). En relación con el perímetro abdominal como medida indirecta del aumento de los lípidos, se reflejó una disminución del perímetro en los que consumieron (A), del 1%, con diferencia significativa ($p < 0.001$); (L sola), una disminución del 2,1%, con diferencia significativa ($p < 0.001$) y, el grupo de (A+L), una disminución del 2%, con una moderada diferencia significativa ($P < 0.016$) (Tabla 3).

El aumento de colesterol, de las HDL, triglicéridos y disminución de la HDL tienden a aumentar en las mujeres después de la menopausia, atribuido, en parte, al efecto protector de los estrógenos en la modulación de la génesis de la arterioesclerosis. Este desnivel, se ve reflejado con el aumento de las patologías cardio o cerebro vasculares. En Estados Unidos cada año mujeres menores de 45 años empiezan ya a padecer de cardiopatías isquémicas; las mujeres sobrepasan a los hombres en eventos cardiovasculares, después de los 60 años; la mujer después de los 45 años tiene dos veces más de probabilidad de desarrollar diabetes mellitus, en comparación con el hombre. También, se puede hablar que las hiperlipidemias son principal causa de enfermedad y muerte en pacientes diabéticos (Berglund *et al.* 2012).

Tabla 1. Variable de Peso inicial (I) y al final (F) del estudio.

Grupo	1 Toma (I) (DE)*	%	2 Toma (F) (DE)*	%	Variación %	P<0.001
1 (A)	34,5+/-10,54	34,5	34,9+/-10,35	34,5	+1.2	0,910
2 (A+L)	26,2+/-8,87	26,2	26,5+/-9,03	26,2	+1.1	0,201
3 (L)	39,3+/-11,8	39,3	38,6+/-11,76	38,3	-1.8	**0,007

*Desviación estándar

Tabla 2. Índice de Masa Corporal al inicio (I) y al final (F) del estudio.

Grupo	1 Toma (I) (DE)*	%	2 Toma (F) (DE)*	%	Variación %	P<0.001
1 (A)	27,9+/-3,96	34,5	27,1+/-3,84	34,5	3	0,843
2 (A+L)	27,3+/-2,97	26,2	26,6+/-3,05	26,2	4	0,003
3 (L)	31,04+/-4,37	39,3	29,4+/-6,85	39,3	5.1	0,081

*Desviación estándar

Tabla 3. Perímetro abdominal inicial (I) y al final (F) del estudio.

Grupo	1 Toma (DE)*	%	2 Toma (DE)*	%	Variación %	P<0.001
1 (A)	97+/-11	34,5	96,11+/-10	34,5	1	0,001
2 (A+L)	96+/-10	26,2	94,10+/-9	26,2	2	0,016
3 (L)	96+/-10	39,3	94+10+/-9	39,3	2.1	0,001

*Desviación estándar

El Instituto Nacional de Salud (INS), entre 1977 y 1980, realizó la última medición de colesterol total en la población colombiana, donde se encontró que el 10,4% de los hombres y el 16% de las mujeres presentaban elevados niveles de colesterol total, aproximadamente, en 240mg/dl. En la segunda encuesta realizada, se reflejan los factores de riesgo para enfermedades crónicas –ENFREC II-, donde se interrogó a la población estudiada sobre el antecedente de la toma de exámenes de colesterol y el tiempo (en años) transcurrido desde la última toma practicada y el resultado fue que uno de cada tres personas se tomó muestras de perfil lipídico (para la medición de HDL, LDL, VLDL y Triglicéridos), se habla de 1.353 personas, en un 76,9% de la población estudiada (Rosano *et al.* 2007). Los valores de colesterol total se mantuvieron en unos rangos de 178mg/dl, en pacientes entre la edad de 18–39 años de edad; en personas de 40–69 años aumenta el rango, a un promedio de 192mg/dl. Esta elevación es mucho más notoria si se observa el grupo de las mujeres, por razones ya mencionadas anteriormente, cuyo

promedio se basa en 171mg/dl, en mujeres de 18–39 años, aumentando el rango a 199mg/dl, en mujeres mayores de 40–69 años. Algunas mujeres estaban en los valores de colesterol, en 240mg/dl (Rosano *et al.* 2007).

En el presente estudio, los niveles de colesterol total (CT), se encuentran por encima de los 200 mg/dl: al inicio y al final el grupo de Avena sola evidenció una disminución del 15%, con diferencia significativa ($p < 0.003$); Lovastatina sola, una disminución 6,4% ($p < 0.004$). El grupo (A+L) presentó una disminución del 17%, sin diferencia significativa ($p < 0.105$) (Tabla 4), datos concordantes con otro estudios (Longyhore *et al.* 2009).

En el estudio del INS, se muestra la prevalencia de hipercolesterolemia en la población colombiana, sea mujer u hombre, encontrándose que estas cifras se empiezan a elevar a medida que aumenta la edad. En estas condiciones, se deben mejorar los estilos de vida saludable, una dieta equi-

Tabla 4. Toma de Colesterol Inicial (I) y al final (F).

Grupo	1 Toma (I) (DE)*	%	2 toma (F) (DE)*	%	Variación %	P<0.001
1 (A)	213+/-50	34,5	181+/-58	34,5	15	0,003
2 (A+L)	243+/-57	26,2	201+/-65	26,2	17	0,105
3 (L)	235+/-31	39,3	220+/-29	39,3	6.4	0,004

*Desviación estándar

librada entre proteína, hidratos de carbono y verduras, una disminución en la ingesta de alcohol y tabaquismo, lo que colabora a que se presente mayor alteración a nivel del endotelio, favoreciendo a la placa ateromatosa, como ya se ha mencionado. El aumento de estos factores de riesgo favorecen la aparición de eventos cerebro vasculares y enfermedad coronaria (Rullán Bonillas, 2002).

Rosano *et al.* (2007) hallaron un promedio de colesterol de LDL de 112mg/dl, hablando de la población en total, en el grupo de 18–39 años fue de 108mg/dl y en el grupo de 40–69 años, aumentó a 121mg/dl. Esta diferencia de grupo es estadísticamente significativo ($p < 0.001$). Asimismo, como en el colesterol total se presenta un aumento evidente en el grupo de las mujeres, donde se observa un promedio elevado en comparación del grupo de los hombres, en las personas de 18–39 años, se manejan valores de 125mg/dl y, en las mujeres, de 40–69 años, de 125mg/dl, lo que indica que, estadísticamente, también es significativo con ($p < 0.001$) (Longyhore *et al.* 2009).

Teniendo en cuenta el aumento de la incidencia y la prevalencia de algún tipo de dislipidemia que indirectamente lleva a un daño progresivo endotelial, se podría realizar medidas de prevención, de detección y de tratamiento oportuno de los factores de riesgo, que pueden ser modificables. Evaluando los casos de dislipidemia, se puede promover, con mayor intensidad, el tratamiento no farmacológico, antes de iniciar un tratamiento, a través de programas poblacionales e individuales, haciéndole conocer, con mayor claridad, la información a las personas con factores de riesgo o personas que ya presenten alteraciones a nivel del perfil lipídico o clínicamente; sin embargo, es necesario aumentar el plan de conducta para lograr un diagnóstico precoz en la población colombiana, aun en sujetos al parecer sanos (Villarreal *et al.* 2008).

La dislipidemia es una de las entidades más frecuentes en la consulta regular en la población mayor de 40 años, en una alteración en la concentración de los lípidos, que puede ser de dos tipos: la hipercolesterolemia y la hipertrigliceridemia. La hipercolesterolemia es una alteración del transporte lipí-

dico, que se produce por aumento en la síntesis o retraso en la degradación de las lipoproteínas, que transportan el colesterol y los triglicéridos del plasma (Kerchhoffs *et al.* 2003). Dado que la mayor parte del colesterol es transportado por las LDL, su alteración en la hipercolesterolemia se debe a un aumento de esta lipoproteína, donde la evidencia indica que las LDL modificadas, especialmente oxidadas, son atrapadas en la capa íntima de la arteria, siendo captadas por células, como los monocitos-macrófagos, a través de receptores que no tienen un sistema de autorregulación para el colesterol intracelular, transformándose en células espumosas, llenas de colesterol. Lo que conlleva a una inflamación de la pared arterial, asociada a disfunción del endotelio y este proceso de la placa de aterosclerosis, lleva a la oclusión del lumen arterial. El efecto de la avena sola+lovastatina modifica, moderadamente, la disminución de lo triglicéridos, porque la lovastatina es conocido que lo disminuye.

Respecto a la hipertrigliceridemia, se atribuye a una mayor morbimortalidad coronaria, por su asociación con la disminución del colesterol HDL y por una modificación cualitativa de las LDL, que se transforman en partículas más pequeñas y más densas, que son más susceptibles a la oxidación y, por consiguiente, más aterogénicas (Ait-Oufella *et al.* 2011).

En la presenta investigación, se encuentra que los niveles de triglicéridos en el grupo de Avena sola presenta una variación del 27,4%, sin diferencia significativa ($p < 0.176$); en el grupo de A+L, la variación fue del 31,1%, con diferencia levemente significativa ($p < 0.051$) y, en la que consumieron L sola, la variación fue del 5%, con diferencia significativa ($p < 0.001$) (Tabla 5), confirmando lo expresado en otras investigaciones, donde la Lovastatina disminuye los niveles de TG (Tobert, 2003).

Es claro que el manejo, de acuerdo a la clasificación de dislipidemia, las estatinas son los medicamentos de primera elección. Las estatinas, que son inhibidores competitivos de la 3-hidroxi-3-metilglutaril coenzima A (HMG-CoA) reductasa, enzima clave que regula la velocidad de biosíntesis del colesterol, aumentando el número de receptores de LDL y el catabolismo de estas lipoproteínas. Son las drogas más

efectivas en reducir el nivel de Colesterol-LDL y, en altas dosis, disminuyen los triglicéridos. La principal acción de este grupo farmacológico es reducir los niveles de colesterol LDL, principal objetivo del tratamiento, en la mayoría de estos pacientes. Además de su efecto hipolipemiante, se han descrito otros efectos beneficiosos de las estatinas, tales como la es-

tabilización de las placas de ateromas, capacidad antioxidante y mejoría de la función endotelial, previniendo el desarrollo de eventos cardiovasculares agudos. En este grupo, se encuentra la atorvastatina, la simvastatina y la lovastatina, que es la estatina más antigua y de menor potencia, para reducir los niveles de colesterol (Tobert, 2003).

Tabla 5. Toma de Triglicéridos Inicial (I) y al final (F).

Grupo	1 Toma (I) (DE)*	%	2 toma (F) (DE)*	%	Variación %	P<0.001
1 (A)	260+/-113	34,5	188+/-89	34,5	27.4	0,176
2 (A+L)	273+/-106	26,2	185+/-83	26,2	31.1	0,051
3 (L)	264+/-138	39,3	251+/-138	39,3	5	0,001

*Desviación estándar

La dieta-terapia con productos ricos en fibra soluble e insoluble, como la avena, ha disminuido las concentraciones plasmáticas del colesterol total y las LDL; estas dietas están diseñadas para reducir, en forma progresiva, la ingesta de ácidos grasos saturados, colesterol y también promover una baja de peso en aquellos pacientes con sobrepeso, a través de la eliminación de un exceso de calorías totales. Para alcanzar una ingesta diaria de fibra, dentro de los rangos recomendados, se debe consumir 5-6 porciones de frutas o verduras más alimentos del grupo de los cereales, papas y leguminosas, ricos en fibra. En la hipertrigliceridemia, las medidas no farmacológicas son similares a las descritas para la hipercolesterolemia; sin embargo, el énfasis debe estar en la reducción de peso, la disminución del consumo de azúcares refinados y fructosa, la disminución del consumo de alcohol y suprimir el tabaquismo. En relación con la dieta de avena en hojuelas existen dos tipos: la roja y la blanca. Estas dos clases pueden disminuir las LDL plasmáticas, ya que poseen un excelente componente de fibra soluble e insoluble y no permiten la absorción del colesterol a nivel intestinal, pero sí su eliminación, a través de las heces (Behall *et al.* 2004).

Es conocido que la hipertensión, la dislipidemia y el sobrepeso son entidades que aumentan el riesgo cardiovascular (RCV). En el presente estudio, se destaca la alta prevalencia dentro de los antecedentes de: dislipidemia, 66,6%; enfermedad coronaria, 65,5%; hipertensión, 57,1% y diabetes, 39,3%. Para mejorar el riesgo, se han propuesto diferentes medidas farmacológicas-ahipertensivos, hipolipemiantes, vasodilatadores y/o beta/bloqueadores, diuréticos y no farmacológicas, como el ejercicio, la dieta hipocalórica, demostrándose como una dieta rica en fibra y avena, que disminuye la presión arterial, mejora el perfil lipídico y disminuye el peso (Saltzman *et al.* 2001b). Los datos demuestran que existe una disminución de peso de 1 a 2kg, con dife-

rencia significativa $p < 0.007$, especialmente, con la asociación L+A. La evaluación del perímetro abdominal presenta una disminución entre 1 y 2%, evidenciando una disminución significativa $p < 0.001$, especialmente, con la A sola y la L sola, estudios a largo plazo muestran disminución (Saltzman *et al.* 2001b).

En un estudio parecido (Jones *et al.* 2005), compararon el efecto de las Lovastatina (20mg) y un portafolio de dieta a base de esteroides (1g/1000Lcal), proteínas de soya (21,4g/1000Lcal), almidones (14g/1000 Kcal), fibra, avena, vegetales (10g/1000kg), sobre los niveles de colesterol. Manejaron una muestra de 34 pacientes, 20 hombres y 14 mujeres, con criterios de inclusión, como: elevación del colesterol y triglicéridos a nivel sanguíneo, edad en hombres >55 y mujeres >62 años de edad, con perímetro abdominal >77 cm y un peso en hombres de 82kg en promedio y en mujeres de 67. Se tuvo en cuenta, como criterios de exclusión, que no presentaran ningún tipo de enfermedad a nivel renal, cardiovascular, diabetes e hipertensión. Además, no estuviesen en el momento en ningún tipo de tratamiento, que disminuyera los niveles, tanto de colesterol como de triglicéridos y que las mujeres no se encontraran en manejo de reemplazo hormonal. Posterior a esto, los pacientes con los criterios de inclusión fueron sometidos a un examen físico, donde se tuvo en cuenta las siguientes variables: peso, perímetro abdominal y tensión arterial de manera rutinaria en sus tres periodos, exámenes de laboratorio, midiendo colesterol total, HDL, LDL y triglicéridos, de manera secuencial. Se evidenció que el colesterol LDL disminuyó 8,5% (Estatinas) y 33%, con fibras y vegetales ($p < 0.013$), sin cambios significativos, entre las estatinas y la fibra/avena/vegetales. En el presente estudio, la avena disminuyó el colesterol total 15% y la lovastatina sola, el 6,4%, con resultado parecidos a los de Jones *et al.* (2005).

De igual manera, en este trabajo, se manejaron criterios de inclusión parecidos, en cuanto a la edad y la evaluación de los niveles de colesterol y triglicéridos a nivel sanguíneo. Como criterios de exclusión, en este estudio, se quería pacientes que no tuvieran antecedentes de enfermedad hepática y renal y no estuviesen actualmente tomando ningún tipo de tratamiento hipolipemiante. Al hacer el estudio comparativo, se demuestra cómo existe una disminución en los niveles de colesterol más evidentes en el régimen (A+L) y (A) $p < 0.013$. Los triglicéridos, si bien no hubo diferencias significativas en el primer control, al inicial de las cuatro semanas, se evidencia una disminución significativa $p < 0.32$, especialmente, con el régimen (L+A). En conclusión, se demuestra una eficacia mayor en el tratamiento conjunto de dieta rica en fibra, de manera coadyuvante con las estatinas, que con las estatinas sola, como lo mencionan Jula *et al.* (2002), Katz *et al.* (2004) y Maki *et al.* (2007).

En comparación con otro estudio realizado por Jenkins *et al.* (2005), en el 2000, quienes evaluaron los efectos de la avena (60g/día), antioxidantes (Vitamina E 400 mg + Vitamina C 500mg) vs. placebo y la función endotelial, midiendo la vasodilatación mediada por flujo FMD), con escáner la reactividad de la arteria braquial (BARS), en adultos con sobrepeso y dislipidemia. Incluyeron pacientes entre los 35-70 años de edad, 16 hombres >35 años, 14 mujeres postmenopáusicas sin uso de tratamiento de remplazo hormonal, no fumadores, pacientes sin antecedente conocido de enfermedad coronaria o vascular, sin manejo vaso activo y con colesterol >200 y triglicéridos >150, en forma aleatorizada y durante seis semanas. Los autores sugieren, pero no confirman, el escaso beneficio sobre la dislipidemia, sobrepeso y función endotelial de la avena, sugiriendo un aumento de la muestra para futuros estudios.

En conclusión, se puede afirmar que el presente estudio demuestra cómo pacientes dislipidémicos se benefician al agregar un producto natural, como la avena, a su programa terapéutico de lovastatina. Se sugiere aumentar el número de casos y su seguimiento a largo plazo. A pesar de un tiempo tan corto, se evidencia una disminución en los valores de perímetro abdominal en los tres grupos y un efecto moderadamente significativo sobre los niveles de colesterol y triglicéridos, en asocio con lovastatina, que cuando se consume avena sola.

Agradecimientos: Los autores agradecen a las directivas de la Universidad y de la Facultad de Medicina, por el apoyo recibido en el desarrollo de esta investigación. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AIT-OUFELLA, H.; TALEB, S.; MALLAT, Z.; TEDGUI, A. 2011. Recent advances on the role of cytokines in atherosclerosis. *Arterioscl. Thromb. Vas. Biol.* 31(5):969-979.
2. BEHALL, K.M.; SCHOLFIELD, D.J.; HALLFRISCH, J. 2004. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 80(5):1185-1193.
3. BERGLUND, L.; BRUNZELL, J.D.; GOLDBERG, A.C.; GOLDBERG, I.J.; SACKS, F.; MURAD, M.H.; STALLENHOEF, A.F. 2012. Evaluation and treatment of hypertriglyceridemia: an endocrine society clinical practice guideline. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 97(9):2969-2989.
4. CASTAÑO VALENCIA, O. 2001. Factores de riesgo en la ciudad de Manizales. *Archivos de Medicina. Universidad de Manizales.* 1(3):17-22.
5. DAVY, B.M.; DAVY, K.P.; HO, R.C.; BESKE, S.D.; DAVRATH, L.R.; MELBY, C.L. 2002. High-fiber oat cereal compared with wheat cereal consumption favorably alters LDL-cholesterol subclass and particle numbers in middle-aged and older men. *Am. J. Clin. Nutr.* 76(2):351-358.
6. JENKINS, D.J.A.; KENDALL, C.W.C.; MARCHIE, A.; FAULKNER, D.A.; WONG, J.M.W.; DE SOUZA, R.; EMAM, A.; PARKER, T.L.; VIDGEN, E.; TRAUTWEIN, E.A.; LAPSLEY, K.G.; JOSSE, R.G.; LEITER, L.A.; SINGER, W.; CONNELLY, P.W. 2005. Direct comparison of a dietary portfolio of cholesterol-lowering foods with a statin in hypercholesterolemic participants. *Am. J. Clin. Nutr.* 81(2):380-387.
7. JONES, P.J.; RAEINI-SARJAZ, M.; JENKINS, D.J.; KENDALL, C.W.; VIDGEN, E.; TRAUTWEIN, E.A.; LAPSLEY, K.G.; MARCHIE, A.; CUNNANE, S.C.; CONNELLY, P.W. 2005. Effects of a diet high in plant sterols, vegetable proteins, and viscous fibers (dietary portfolio) on circulating sterol levels and red cell fragility in hypercholesterolemic subjects. *Lipids.* 40(2):169-174.
8. JÜLA, A.; MARNIEMI, J.A.; HUUPPONEN, R.; VIRTANEN, A.; RASTAS, M.; RÖNNEMAA, T. 2002. Effects of diet and simvastatin on serum lipids, insulin and antioxidants in hypercholesterolemic men: a randomized controlled trial. *JAMA.* 287(5):598-605.

9. KARL, J.P.; SALTZMAN, E. 2012. The role of whole grains in body weight regulation. *Adv. Nutr.* 3(5):697-707.
 10. KATZ, D.L.; EVANS, M.A.; CHAN, W.; NAWAZ, H.; COMERFORD, B.P.; HOXLEY, M.L.; NJIKE, V.Y.; SARRREL, P.M. 2004. Oats, antioxidants and endothelial function in overweight, dyslipidemic adults. *J. Am. Coll. Nutr.* 23(5):397-403.
 11. KERCHHOFFS, D.; HORNSTRA, G.; MENSINK, R.P. 2003. Cholesterol-lowering effect of glucan from oat bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when glucan is incorporated into bread and cookies. *Am. J. Clin. Nutr.* 78:221-227.
 12. LONGYHORE, D.S.; STOCKTON, C.M.; THOMAS, M.R. 2009. Profile changes associated with changing available formulary statins: removing higher potency agent. *Am. J. Manag. Care.* 15(7):409-414.
 13. MAKI, K.C.; DAVIDSON, M.H.; WITCHGER, M.S.; DICHLIN, M.R.; SUBBIAH, P.V. 2007. Effects of high-fiber oat and wheat cereals on postprandial glucose and lipid responses in healthy men. *Int. J. Vitam Nutr. Res.* 77(5):347-356.
 14. ONATRA, W.; GARCÍA, C.; GAMBOA, C.; SÁNCHEZ, J.; CASTRO, J. 2006. Prevalencia del síndrome metabólico en mujeres posmenopausicas en dos centros clínicos de Bogotá. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 9:43-53.
 15. POPPIT, S.D. 2007. Soluble fibre oat and barley β -glucan enriched products: can we predict cholesterol-lowering effects? *Br. J. Nutr.* 97(6):1049-1050.
 16. PRIETO ALBINO, L.; ARROYO DÍEZ, J.; VADILLO MACHOTA, J.M.; MATEOS MONETERO, C.; GALAN REBOLLO, A. 1998. Prevalencia de hiperlipidemia en niños y adolescentes de la provincia de Cáceres. *Rev. Española Salud Publ.* 72:343-355.
 17. ROSANO, M.; VITALE, C.; TULLI, A. 2007. Manejo del riesgo cardiovascular en mujeres postmenopausicas. *Rev. Col. Menopausia* 13(1):25-28.
 18. RUIZ, R.M.; MORILLO, L.E. 2004. *Epidemiología Clínica: Investigación clínica aplicada*. Ed. Panam. Bogotá-Madrid-Sao Paulo. p.181-194.
 19. RULLÁN BONILLAS, A. 2002. La avena y sus efectos hipocolesterolemicos. *Nutr. Clin.* 5(3):139-146.
 20. SALTZMAN, E.; MORIGUTI, J.C.; DAS, S.K.; CORRALES, A.; FUSS, P.; GREENBERG, A.S.; ROBERTS, S.B. 2001a. Effects of a cereal rich in soluble fiber on body composition and dietary compliance during consumption of a hypocaloric diet. *J. Am. Coll. Nutr.* 20:50-57.
 21. SALTZMAN, E.; DAS, S.K.; LICHTENSTEIN, A.H.; DALLAL, G.E.; CORRALES, A.; SCHAEFER, E.J.; GREENBERG, A.S.; ROBERTS, S.B. 2001b. An oat-containing hypocaloric diet reduces systolic blood pressure and improves lipid profile beyond effects of weight loss in men and women. *J. Nutr.* 131(5):1465-1470.
 22. SHINNICK, F.L.; INK, S.L.; MARLETT, J.A. 1990. Dose response to a dietary oat bran fraction in cholesterol fed rats. *J. Nutri.* 120(6):561-568.
 23. SWAIN, J.F.; ROUSE, I.L.; CURLEY, C.B.; SACKS, F.M. 1990. Comparison of the effects of oat bran and low-fiber wheat on serum lipoprotein levels and blood pressure. *New Engl. J. Med.* 322(3):147-152.
 24. TOBERT, J.A. 2003. Lovastatin and beyond: the history of the HMG-CoA reductase inhibitors. *Nat. Rev. Drug Discov.* 2(7):517-526.
 25. VAIDYA, D.; SZKLO, M.; CUSHMAN, M.; HOLVOET, P.; POLAK, J.; BAHRAMI, H.; JENNY, N.S.; OUYANG, P. 2011. Association of endothelial and oxidative stress with metabolic syndrome and subclinical atherosclerosis: multi-ethnic study of atherosclerosis. *Eur. J. Clin. Nutr.* 65(7):818-825.
 26. VILLARREAL, E.; FORERO, Y.; POVEDA, E.; BARACALDO, C.; LÓPEZ E. 2008. Marcadores de riesgo cardiovascular en escolares de cinco departamentos de la región oriental en Colombia. *Biomedica.* 28(1):38-49.
 27. ZHOU, Q.; LIAO, J.K. 2010. Pleiotropic effects of statins: Basic research and clinical perspectives. *Circ. J.* 74(5):818-826.
- Recibido: Julio 3 de 2013
Aceptado: Octubre 9 de 2013

Como citar:

Alarcón Galeano, A.M.; Buitrago Hernández, D.F.; Romero Fierro, L.A.; Sánchez Leyva, A.M.; Onatra H., W.; Rios, M.T. 2013. Efecto de la avena y/o lovastatina sobre el perfil lipídico en pacientes dislipidémicos del Hospital de Tunjuelito, Bogotá 2008-2009. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 319-326.

EXTRACTOS METANÓLICOS DE CORTEZA DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) Y MANGO (*Mangifera indica* L.): EFECTO CITOTÓXICO, ANTIHEMOLÍTICO Y EN LA MORFOLOGÍA DE MEMBRANA DE ERITROCITOS

METHANOLIC EXTRACTS OF GUAVA (*Psidium guajava* L.) AND MANGO CRUSTS (*Mangifera indica* L.): CITOTOXIC, ANTIHEMOLITIC EFFECT AND IN THE MORPHOLOGY OF ERYTHROCYTES MEMBRANE

Marlene Durán¹, Piedad Montero², Yesid Marrugo³

¹ Bacterióloga, Candidata a Doctor en Ciencias, Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena. Piedra de Bolívar – Av. del Consulado, Calle 30 No. 48-152, Cartagena-Bolívar, Colombia, mduranl@unicartagena.edu.co; marlene_duran@hotmail.es; ² Ingeniero de Alimentos, M.Sc., Grupo de Investigación (NUSCA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Colombia, pmonteroc@unicartagena.edu.co; pmargaritamontero@hotmail.com; ³ Ingeniero de Alimentos, M. Sc., Grupo de Investigación (NUSCA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, Colombia, ymarrugol@unicartagena.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 327-334, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

En la costa caribe, los frutos verdes se consumen con alta frecuencia y, en este proceso, los comerciantes de estos productos eliminan las cortezas como productos de desechos, las cuales, podrían ser aprovechadas en la industria alimentaria y en la mejora del medio ambiente. El objetivo de este estudio fue determinar alteraciones en las membranas biológicas utilizando, como modelo, el eritrocito, la actividad antihemolítica inducida por peróxido de hidrógeno y deformabilidad de la membrana, causada por diferentes concentraciones (200, 100, 50 y 20 µg/mL) de los extractos metanólicos total, de cada una de las cortezas de las frutas evaluadas. La citotoxicidad fue realizada utilizando la exclusión de azul de tripano en mononucleares de sangre periférica. La actividad antihemolítica, se determinó por espectrofotometría, a una longitud de onda de 520nm, la deformabilidad fue realizada por conteo de eritrocitos morfológicamente alterados, específicamente, las formas equinocíticas. Los extractos de cortezas de mango y guayaba no fueron citotóxicos a las concentraciones evaluadas, mostraron viabilidad celular superior a 80%. Inhibieron la hemólisis en presencia de H₂O₂, el extracto de guayaba a 100 µg/mL registró la mayor inhibición de hemólisis inducida. Los mayores porcentajes de alteración morfológica, se observaron cuando los eritrocitos se expusieron a concentraciones de 100 y 200 µg/mL; en el extracto de corteza de guayaba, la concentración de 200 µg/

mL mostró 47% de equinocitos, mientras que el extracto de mango, a 200 µg/mL, mostró 90% de equinocitos.

Palabras clave: Membrana eritrocitaria, extractos, estrés oxidativo, citotoxicidad.

SUMMARY

In the Caribbean coast green fruits are consumed at high frequency and in this process the traders of these products remove the crusts as waste products, which could be exploited in the food industry and in environmental improvement. The objective of this study was to determine alterations in biological membranes using as a model the erythrocyte, the antihemolytic activity induced by hydrogen peroxide, and the membrane deformability caused by different concentrations (200, 100, 50 and 20 µg/mL) of the total methanol extracts of crusts of the tested fruits. The cytotoxicity was performed using the trypan blue exclusion in mononuclear of peripheral blood. Antihemolytic activity was determined by spectrophotometry at a wavelength of 520nm, the deformability was made by counting erythrocytes morphologically altered specifically equinocyte forms. Extracts of mango and guava crusts were not cytotoxic at the tested concentrations; they showed cell viability higher than 80%. They inhibited the hemolysis in the presence of H₂O₂, the guava extract at 100 µg/mL recorded the greatest inhibition of induced hemolysis. Higher percentages

of morphological changes were observed when erythrocytes were exposed to concentrations of 100 and 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$. In extract of guava crust the concentration was 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$, it showed 47% of echinocyte, whereas mango extract 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ showed 90% of echinocyte.

Key words: Erythrocyte membrane, extracts, oxidative stress, cytotoxicity.

INTRODUCCIÓN

Los radicales libres son moléculas que, en su estructura, presentan un electrón desapareado o impar, dándole una configuración que genera alta inestabilidad, altamente reactivos, de corta vida y capacidad de combinarse con biomoléculas integrantes de la estructura celular (Rodríguez *et al.* 2001).

Los radicales libres son producto del metabolismo celular y son inactivados por mecanismos enzimáticos y de atrapamiento; la exposición de la materia viva sometida a un desequilibrio entre sustancia pro-oxidantes y mecanismos antioxidantes, se conoce como estrés o daño oxidativo (Venero, 2002). La generación de radicales libres están relacionados con muchas enfermedades, de las que no escapan las hematológicas, como la anemia de células falciforme y otras hemoglobinopatías (Grinberg *et al.* 1997). Las plantas, entre ellas las productoras de frutas, tienen gran importancia, debido al contenido de polifenoles, flavonoides taninos y catequinas, con propiedad antioxidante, gracias a su capacidad de atrapar radicales libres; varios estudios de extractos y pulpas de frutas han reportado actividad antioxidante (Guo *et al.* 2003; Almeida *et al.* 2011; Okonogi *et al.* 2007); sin embargo, existe poca información del potencial antioxidante presente en cortezas de frutas, a menudo consideradas productos de desecho, debido a su falta de aplicación comercial (Soong & Barlow, 2004).

Colombia es uno de los países con la más grande variedad de frutas, a nivel mundial. Esto es debido a la diversidad geográfica, diferentes clases de suelos y climas, cuenta al menos con 51.220 especies de plantas y flores, al menos 150 tipos de frutas son originarias de Colombia y más de 50 son aclimatadas, procedentes de África, Asia, Eurasia y Australia (Contreras-Calderón *et al.* 2011).

Las frutas contienen una gran cantidad de nutrientes, como son vitaminas, minerales, fibra dietaria, compuestos fitofenólicos Flavonas, ácido fenólico, cuyos compuestos ayudan a la protección contra las enfermedades degenerativas, como cáncer, enfermedades cardiovasculares, propiedades atribuidas a su alto contenido de diversos antioxidantes (Kaur & Kapoor, 2001).

Además de nutrientes, las frutas poseen pigmentos y sus-

tancias reguladoras del crecimiento y protectores naturales frente a fitopatógenos (Koike *et al.* 2003). El material de desecho de las frutas está constituido, principalmente, por cáscaras, por semillas y por membranas capilares, a partir de los cuales, se pueden elaborar harinas, pectina cítrica, aceites esenciales, pigmentos y productos especiales, así como también la extracción de compuestos bioactivos, que tienen efectos benéficos sobre la salud, tales como la fibra y los polifenoles, en especial, los flavonoides (Rincón *et al.* 2005).

En condiciones normales, cuando los eritrocitos son sometidos a estrés oxidativo, el hierro puede ser liberado de la hemoglobina y unirse a metabolitos intracelulares y componentes de la membrana; estos compuestos de hierro pueden reaccionar con oxígeno y generar radicales hidroxilos (OH) y, en consecuencia, oxidar lípidos de las membranas (peroxidación lipídica) (Suwalsky *et al.* 2008).

Los eritrocitos (RBC) son un modelo celular utilizado en la investigación de daño oxidativo en las biomembranas (Ugarrondo *et al.* 2006). Fosfolípidos, proteínas transmembrana y colesterol, en combinación con una red de proteínas del citoesqueleto, son responsables de la integridad de la membrana del eritrocito (Smith, 1987). Entre las proteínas que hacen parte del citoesqueleto, se encuentra la espectrina y sus funciones están la regulación, la deformabilidad y la estabilidad de la membrana eritrocitaria (Mohandas *et al.* 1983). El eritrocito normal tiene forma bicóncava, ausencia de núcleo y un reducido metabolismo; la alteración de la forma básica, se traduce en disminución de sus funciones primordiales, lo que puede significar trastornos graves en el organismo humano. La principal alteración corresponde al equinocito, los cuales, son eritrocitos esféricos con espículas, que son vesículas lipídicas que protruyen desde la membrana (Carrillo-Esper *et al.* 2012).

La protección que las frutas y los vegetales pueden brindar contra las enfermedades degenerativas, como cáncer y enfermedades cardiovascular, ha sido atribuida a su alto contenido de compuestos antioxidantes (Gardner *et al.* 2000; Sun *et al.* 2002). Los compuestos antioxidantes de origen natural, entre ellos compuestos polifenólicos, incrementan la resistencia de los eritrocitos al estrés oxidativo (Ajila & Prasada, 2008). Los extractos de mango han mostrado protección contra cáncer de próstata en modelos *in vivo* e *in vitro* (Prasad *et al.* 2007). Los extracto de corteza de mango también inhibieron el ciclo celular en fase G0/G1 de células HL-60 (Percival *et al.* 2006). De otra parte, un estudio *in vitro* realizado en fibroblastos de Hámster línea B14 muestran correlación con daño y reparación del DNA (Labieniec & Gabryelak, 2005), por lo tanto, se hace necesario realizar estudios de genotoxicidad en estos subproductos, para demostrar propiedades benéficas, que se pudieran utilizar para el consumo humano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del extracto. Los frutos verdes, se obtuvieron de plantaciones locales del municipio de Turbaco (Bolívar); las frutas recolectadas se guardaron en bolsas plásticas para su traslado al laboratorio, las cuales, se guardaron en refrigeración a 4°C, hasta su procesamiento. Posteriormente, fueron lavados con agua destilada estéril y secados con papel absorbente; luego, se procedió a quitar las cortezas de manera manual. Estas fueron desecadas a 60°C, por 72 horas; luego de este tratamiento fueron molidas; de este material, se tomó 100g y se adicionó 200mL de metanol, se dejó en reposo 24 horas, a temperatura ambiente. Después de este tiempo fue filtrada y concentrada a presión reducida, obteniéndose una suspensión acuosa de color pardo, que constituyó el extracto metanólico total EMT (Gaitán *et al.* 2006).

Obtención de Mononucleares de sangre periférica. La sangre fue obtenida de voluntarios sanos no fumadores y recogida en tubos con heparina, previo consentimiento informado, procedimiento avalado por el comité de ética de la Universidad de Cartagena; los linfocitos, se aislaron con método estándar por centrifugación en gradiente de densidad sobre ficoll histopaque (Histopaque-1077 sigma); luego de separados fueron lavados dos veces, con PBS y resuspendidos en el mismo buffer con glucosa 5mM y llevados a una suspensión de 10⁶/mL (Martínez *et al.* 2007). Estas se dispensaron en placas de 96 pocillos por triplicado, a razón de 100μL por pocillo.

Actividad citotóxica *in vitro*: Fue evaluado por el método de exclusión de azul de tripano; las células anteriormente dispensadas fueron adicionada de 100μL de los extractos a las concentraciones de 20, 40, 100μg/mL, que se incubaron por 24 horas, a 37°C; después de este tiempo fueron tratadas con colorante azul de tripano 0,4%; luego, se realizó el conteo del número de células teñidas en función del total de 500 células, observadas con objetivo de 40X, esto permitió calcular el porcentaje de supervivencia (Strober, 2001; Sla-meñová *et al.* 2009). El porcentaje de viabilidad, se evaluó según (Martínez *et al.* 2007):

% Viabilidad = (# de células teñidas/Total de células contadas) x 100

Preparación de la suspensión de eritrocitos: Lo eritrocitos humanos de sangre periférica humana heparinizada, se obtuvieron de individuos sanos, previo consentimiento informado, mediante gradiente de densidades con Ficoll-Hipaque (Hystopaque-1077 SIGMA), por centrifugación a 1500rpm, por 5 min, a temperatura ambiente; se recogieron con sumo cuidado, para evitar riesgo de hemólisis, los cuales, se resuspendieron en PBS glucosado y centrifugados a 1600 rpm, por 10 minutos (Pinell *et al.* 2009).

Actividad hemolítica: La inhibición de la hemólisis inducida por H₂O₂ fue evaluado, según el método de Grinberg *et al.* (1997). Una suspensión de 10μL conteniendo 1 x 10⁵ eritrocitos/mL se incubaron en presencia de los extractos de mango y de guayaba, a la concentración de 100μg/mL e incubados 37°C, en agitación constante, por 30 minutos, en presencia de H₂O₂ 5% (v/v); después de este tratamiento, se centrifugó a 10.000 rpm por 10 minutos y el sobrenadante fue usado para medir la hemoglobina liberada. Un blanco de 100% de hemólisis fue usado (1x10⁵ eritrocitos tratado con H₂O₂). El porcentaje de liberación de hemoglobina fue determinado a una longitud de onda 540nm (Goyal *et al.* 2012).

Morfología eritrocitaria: La determinación de la alteración morfológica fue llevada a cabo por microscopia óptica: los eritrocitos fueron separados del plasma y lavados cuatro veces, con buffer fosfato salino (PBS), a pH 7,3 y suspendidos en la misma solución, a un hematocrito del 2%, pero conteniendo de 10 - 200μg/mL de los extractos de corteza de mango y de guayaba; estos se mantuvieron 1 hora, a 37°C; después de este tratamiento, los eritrocitos fueron fijados con una solución de glutaraldehído al 0,2% y observadas en microscopio óptico, marca Leyca. Se realizó un recuento de las formas básicas equinocitos y estomatocitos en una población de 500 células. Las observaciones se realizaron microscópicamente, con objetivo 100 X (Bonarska-Kujawa *et al.* 2010).

Diseño estadístico: El diseño experimental utilizado en esta investigación fue un diseño factorial 2 x 4 (8 tratamientos), con tres repeticiones. Los factores fueron el tipo de fruta o extracto con dos niveles (guayaba y mango) y la concentración en μg/mL, con cuatro niveles (20, 50, 100 y 200μg/mL). Las variables respuesta fueron la citotoxicidad, deformabilidad y actividad antihemolítica; cada muestra se analizó por triplicado. Los resultados son mostrados como la media ± desviación estándar (EE). Las diferencias entre las concentraciones de los extractos analizados fueron evaluadas mediante el test de ANOVA y se usó la prueba t-student, para el análisis post-varianza. Para todos los análisis el criterio de significancia fue establecido a p < 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se observa que la viabilidad, mostrada por los extractos de corteza de guayaba y de mango mostró porcentaje de viabilidad superior al 80% a las concentraciones de 50 y 20μg/mL. Las cortezas de mango mostraron un porcentaje de inhibición de viabilidad en mononucleares de 75, 85, 90 y 95, a las concentraciones de 200, 100, 50 y 20μg/mL. La viabilidad en mononucleares mostrada por los extractos de cortezas de guayaba verde fue de 85, 90 y 95%, a las concentraciones de 200, 100, 50 y 20μg/mL.

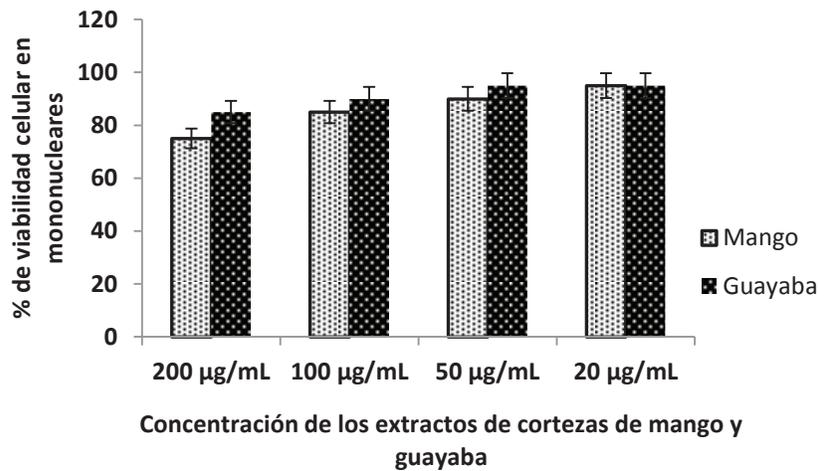


Figura 1. Citotoxicidad de los extractos de corteza de mango y de guayaba a las 24 horas de exposición. Los resultados son presentados como la media más o menos la desviación estándar de tres experimentos independientes. p 0,34 no hubo significancia estadística entre los extractos evaluados.

En la figura 2, los extractos mostraron inhibición de hemólisis en los eritrocitos inducida por H₂O₂, observándose que los extractos de corteza de guayaba inhibieron la inducción de hemólisis en una proporción de 54,6; 55; 62; 37,7% a las concentraciones de 20, 50, 100, y 200µg/mL, respectivamente, mientras que los extractos de corteza de mango verde mostraron porcentajes de inhibición hemólisis 52, 35, 36 y 20%, a las concentraciones de 20, 50, 100 y 200µg/mL, respectivamente.

Las concentraciones de extractos de cortezas mango y guayaba verdes inhibieron la hemólisis inducida por H₂O₂, a concentraciones comprendidas entre 20-200µg/mL, expuestas durante 30 minutos; la menor hemólisis fue de 48% mostrada por la corteza de mango, a concentración de 20µg/mL, mientras que el extracto de la corteza de guayaba mostró el mismo porcentaje de inhibición de la hemólisis, inducida a las concentraciones de 20 y 40µg/mL, la cual, fue del 45%. La menor inhibición de la hemólisis fue mostrada por el ex-

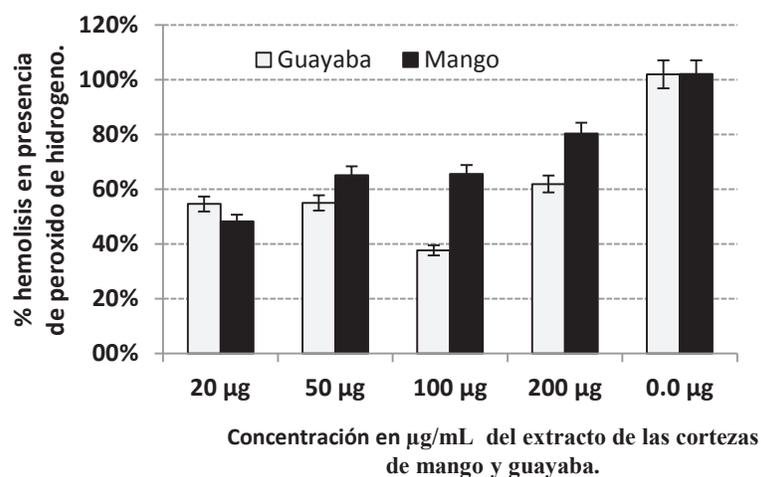


Figura 2. Inhibición de hemólisis en presencia de peróxido de hidrógeno a las diferentes concentraciones de los extractos de las cortezas evaluadas. Los resultados son presentados como la media más o menos la desviación estándar de tres experimentos independientes. p 0,41 no hubo significancia estadística entre los extractos evaluados.

tracto de la corteza de guayaba a la concentración de $100\mu\text{g}/\text{mL}$, correspondiente a una inhibición del 63%; sin embargo, el extracto de corteza de guayaba a $100\mu\text{g}/\text{mL}$ mostró el menor porcentaje; la comparación de estas concentraciones mostró una p de 0,49, lo cual, indica que no hubo diferencias estadística significativas.

Un estudio realizado en guayabas mostró un porcentaje de polifenoles, comprendido entre 2 - 8% (Jiménez-Escrig *et al.* 2001). Ajila & Prasada (2008) encontraron polifenoles, antocianinas y carotenoides en los extractos de corteza, compuestos que han mostrado actividad antioxidante. La propiedad antioxidante, se relaciona con la protección de membranas celulares, ya que inhibirían la interacción de los componentes estructurales tipo fosfolípidos inhibiendo su oxidación y protegiendo la misma de daños causados por compuestos oxidantes (García Bacallao *et al.* 2001).

Se ha establecido que compuestos fenólico abundante en los extractos vegetales es un antioxidante efectivo; a una concentración de $1,2 \times 10^{-5} \text{ M}$ e inhibió cerca del 80% de la formación de peróxido, en un sistema de prueba con ácido linoleico (Chávez *et al.* 2013). Soong & Barlow (2004) demostraron que las cáscaras verdes de mango eran ricas en polifenoles (Chen & Yen, 2007; Wang *et al.* 2012).

La deformabilidad eritrocitaria, evidenciada por la formación de equinocitos en presencia de los extractos de las cortezas de mango y de guayaba verdes, a concentración de $200\mu\text{g}/\text{mL}$, la menor deformabilidad fue observada a concentración de $50\mu\text{g}/\text{mL}$ en ambos extractos (Figura 3).

Los extractos de guayaba mostraron 15, 15, 32 y 47% de equinocitos, a las concentraciones de 20, 50, 100 y $200\mu\text{g}/\text{mL}$, respectivamente. Mientras que el extracto de mango mostró porcentajes 25 - 95, a las concentraciones evaluadas (Figura 3).

Con respecto a los cambios observados, a nivel de la membrana del eritrocito, la forma predominante mostrada en este estudio fue el equinocito presentado en ambos extractos (Figura 3). Se sugiere que esta alteración es debida a cambios en el pH. En estudios previos fue demostrado que pH altos conducen a un cambio de forma discoide normal a equinocitos, mientras que pH bajos inducen cambios hacia estomatocitos (Gedde *et al.* 1997). Los resultados obtenidos en esta investigación están de acuerdo con el estudio realizado por Gedde *et al.* (1997). El porcentaje de equinocitos observados para el extracto de guayaba fue menor del 15%, a las concentraciones de 20 y $50\mu\text{g}/\text{mL}$, mientras que para las concentraciones mayores, el porcentaje de equinocitos no superó el 50%.

La alteración morfológica observada con el extracto de mango fue similar a la presentada por el extracto de guayaba; el porcentaje de equinocitos fue inferior a las concentraciones de 20 y $50\mu\text{g}/\text{mL}$, mientras que las concentraciones de 100 y $200\mu\text{g}/\text{mL}$ mostraron porcentajes de equinocitos, superiores al 50%, pero no alcanzan el 70%. La mayor alteración fue observada a concentración de $200\mu\text{g}/\text{mL}$, mientras que el menor porcentaje de alteración fue mostrado a concentración de $50\mu\text{g}/\text{mL}$, en ambos extractos. Algunas sustancias exógenas, tipo detergentes anionicos, benceno, dodecilsulfato

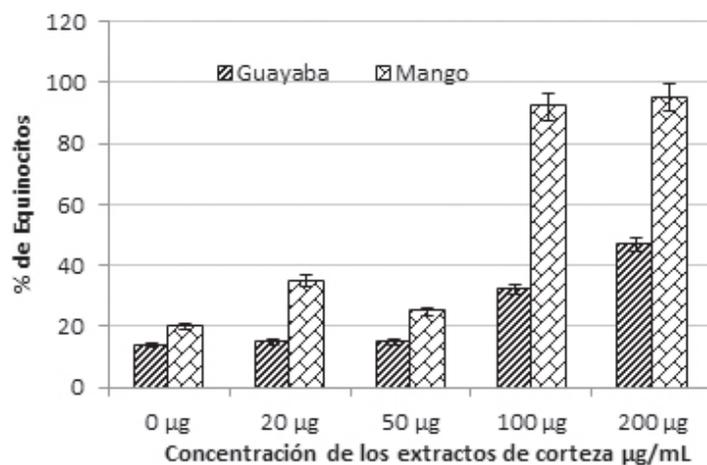


Figura 3. Porcentaje de equinocitos presentada en eritrocitos tratados con los extractos de corteza de mango y de guayaba. Los resultados son presentados como la media más o menos la desviación estándar de tres experimentos independientes. $p > 0,17$ no hubo significancia estadística entre los extractos evaluados.

de sodio, inducen alteraciones morfológicas (equinocitos) *in vivo* en eritrocitos maduros de peces, a concentraciones de 1,5-3pmm en bagres (Zeni *et al.* 2002).

Los eritrocitos pueden cambiar su forma normal a la forma de equinocitos o estomatocitos, lo cual, depende de factores citoplasmáticos, entre ellos el pH (Gedde *et al.* 1997). Las altas concentraciones de flavonoides hallados en frutas mango (García Bacallao *et al.* 2001), hojas de guayaba (Rodríguez *et al.* 2013), granada (Castro *et al.* 1996). Flavonoides obtenidos de maqui (*Aristotelia chilensis*) con propiedades antioxidantes son inductores de equinocitos (Suwalsky *et al.* 2008).

El mayor número de equinocitos se presentó a las mayores concentraciones de 100 y 200µg/mL, de los extractos metanólico total de la corteza de mango y guayaba (Figura 3). Guayaba y mango son frutas tropicales populares en el mundo y el mango se encuentra clasificado en la lista de súper-fruta (Gross, 2009). Ajila & Prasada (2008) comprobaron que la cáscara de mango contiene compuestos polifenólicos, carotenoides con propiedades antioxidante y efecto protector de membrana. Productos naturales obtenidos de plantas, se han reportado con efecto citotóxico, los cuales, se han utilizado en el tratamiento del cáncer; entre estos compuestos, se han aislado alcaloides, como vincristina y vinblastina aisladas de la *Madagascar periwinkle*; otros agentes citotóxicos derivados de la naturaleza son los taxanos y las comptothecinas (Laza *et al.* 2003), por lo tanto, estudiar la toxicidad de los subproductos es necesario, a su vez, que ayuda a conocer el perfil de toxicidad de los extractos y de los productos naturales (Omena *et al.* 2012).

Los extractos metanólicos total de cortezas de mango y de guayabas verdes no fueron citotóxicos; el porcentaje de muerte celular fue inferior al 20%. Los extractos de cáscaras de mango y de guayaba verde inhibieron la hemólisis de eritrocitos, en presencia de peróxido de hidrógeno.

La inhibición de hemólisis mostrada por estos extractos puede ser debida a la interacción de los componentes bioactivos, tipo flavonoides, compuestos fenólicos aislados de corteza de mango y vitamina C, presentes en los extractos de guayaba. Los extractos de corteza de ambas frutas inhibieron la hemólisis en presencia de H₂O₂; la mayor inhibición de la hemólisis inducida fue de 63%, con el extracto de corteza de guayaba, a la concentración de 100µg/mL, seguida por inhibición de 52% mostrada por el extracto de corteza de mango, a concentración 20 µg/mL.

Los datos obtenidos en este estudio mostraron que los extractos poseen baja toxicidad a las concentraciones evaluadas; en general, presentaron un porcentaje de viabilidad entre 75 – 90%. La hemólisis inducida fue inhibida por am-

bos extractos; sin embargo, la concentración de 100µg/mL, mostró la mayor inhibición de la hemólisis. La mayor alteración, a nivel de la membrana eritrocitaria representada por la formación de equinocitos, se observó a las mayores concentraciones evaluadas (100-200 µg/ml), para ambos extractos.

Agradecimientos: A la Universidad de Cartagena, por la financiación del presente trabajo. **Conflicto de intereses:** El artículo fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJILA, C.; PRASADA RAO, U. 2008. Protection against hydrogen peroxide induced oxidative damage in rat erythrocytes by *Mangifera indica* L. peel extract. Food Chem. Toxicol. (Estados Unidos). 46(1):303-309.
2. ALMEIDA, M.; DE SOUSA, P.; ARRIAGA, Â.; DO PRADO, G.; MAGALHÃES, C.; MAIA, G.; DE LEMOS, T. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. Food Res. Int. 44(7):2155-2159.
3. BONARSKA-KUJAWA, D.; PRUCHNIK, H.; OSZMIANSKI, J.; SARAPUK, J.; KLESZCZYNSKA, H. 2010. Changes Caused by Fruit Extracts in the Lipid Phase of Biological and Model Membranes. Food Biophys. 6(1):58-67.
4. CARRILLO-ESPER, R.; CARRILLO-CÓRDOVA, C.; CARRILLO-CÓRDOVA, J.; CARRILLO-CÓRDOVA, L. 2012. Storage- induced morphological changes in erythrocytes. Rev. Invest. Med. Sur Mex. 19(1):10-14.
5. CASTRO, O.; BARRIOS, M.; CHINCHILLA, M.; GUERRERO, O. 1996. Evaluación química y biológica del efecto de extractos de plantas contra. Rev. Biol. Trop. 44(2):361-367.
6. CONTRERAS-CALDERÓN, J.; CALDERÓN-JAIMES, L.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E.; GARCÍA-VILLANOVA, B. 2011. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. Food Res. Int. 44(7):2047-2053.
7. CHÁVEZ, R.; PLAZA, A.; L. DE ÚGAZ, O. 2013. Antioxidantes de origen vegetal. Rev. Quím. 10(1):71-101.
8. CHEN, H.; YEN, G. 2007. Antioxidant activity and free radical- scavenging capacity of extracts from

- guava (*Psidium guajava* L.) leaves. Food Chem. 101(2):686-694.
9. GAITÁN, R.; DURÁN, M.; FRANCO, L. 2006. Acción Antiinflamatoria preliminar de los Extractos de las Esponjas Marinas *Xestospongiarios ariensis* y *X. próxima* utilizando los Modelos Edema Plantar Inducido por Carragenina y Polimorfonuclear Neutrofilo. Act. Biol. 27(1):11-15.
 10. GARCÍA BACALLAO, L.; GARCÍA GÓMEZ, L.V.; ROJO DOMÍNGUEZ, D.M.; SÁNCHEZ GARCÍA, E. 2001. Plantas con propiedades antioxidantes. Rev. Cub. Invest. Biomédicas. 20(3):231-235.
 11. GARDNER, P.; WHITE, T.; MCPHAIL, D.; DUTHIE, G. 2000. The relative contributions of vitamin C, carotenoids and phenolics to the antioxidant potential of fruit juices. Food Chem. 68(4):471-474.
 12. GEDDE, M.; DAVIS, D.; HUESTIS, W. 1997. Cytoplasmic pH and human erythrocyte shape. Biophys. J. 72(3):1234-1246.
 13. GOYAL, M.; SINGH, P.; ALAM, A.; DAS, S.K.; IGBAL, M.S.; DEY, S.; BINDU, S.; PAL, C.; DAS, S.K.; PANDA, G.; BANDYOPADHYAY, U. 2012. Aryl aryl methyl thio arenes prevent multidrug-resistant malaria in mouse by promoting oxidative stress in parasite. Free Radical Biol. Med. 53(1):129-142.
 14. GRINBERG, L.; NEWMARK, H.; KITROSSKY, N.; RAHAMIM, E.; CHEVION, M.; RACHMILEWITZ, E. 1997. Protective effects of tea polyphenols against oxidative damage to red blood cells. Biochem. Pharmacol. (Estados Unidos). 54(9):973-978.
 15. GROSS, P. 2009. Superfruits: (Top 20 Fruits Packed with Nutrients and Phytochemicals, Best Ways to Eat Fruits for Maximum Nutrition, and 75 Simple and Delicious Recipes for Overall Wellness). The McGraw-Hill Companies, Inc. Estados Unidos. 221p.
 16. GUO, C.; YANG, J.; WEI, J.; LI, Y.; XU, J.; JIANG, Y. 2003. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. Nutr. Res. 23(12):1719-1726.
 17. JIMÉNEZ-ESCRIG, A.; RINCÓN, M.; PULIDOR, R.; SACURA-CALIXTO, F. 2001. Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. J. Agr. Food Chem. 49(11):5489-5493.
 18. KAUR, C.; KAPOOR, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. Int. J. Food Sci. Technol. 36(7):703-725.
 19. KOIKE, S.; SUBBARAO, K.; DAVIS, R.M.; TURINI, T. 2003. Vegetable diseases caused by soilborne pathogens: UCANR Publications. Disponible desde Internet en: <http://ucanr.org/freepubs/docs/8099.pdf> (con acceso 27/04/13).
 20. LABIENIEC, M.; GABRYELAK, T. 2005. Measurement of DNA damage and protein oxidation after the incubation of B14 Chinese hamster cells with chosen polyphenols. Toxicol. letters 155(1):15-25.
 21. LAZA, D.; RODRÍGUEZ, L.; SARDIÑA, G. 2003. Descubrimiento y desarrollo de agentes anticancerígenos derivados de plantas medicinales. Rev. Cub. Plantas Medicinales. 8(3):e12.
 22. MARTÍNEZ, A.; REYES, I.; REYES, N. 2007. Citotoxicidad del glifosato en células mononucleares de sangre periférica humana. Biomédica. 27(4):594-604.
 23. MOHANDAS, N.; CHASIS, J.; SHOHET, S. 1983. The influence of membrane skeleton on red cell deformability, membrane material properties, and shape. Semin. Hematol. 20(3):225-242.
 24. OKONOGI, S.; DUANGRAT, C.; ANUCHPREEDA, S.; TACHAKITTIRUNGROD, S.; CHOWWANAPHOONPHON, S. 2007. Comparison of antioxidant capacities and cytotoxicities of certain fruit peels. Food Chem. 103(3):839-846.
 25. OMENA, C.; VALENTIM, I.; GUEDES, G.; RABELO, L.; MANO, C.; BECHARA, E. 2012. Antioxidant, anti-acetyl cholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits: Antioxidant, anti-acetyl cholinesterase and cytotoxic activities in fruits. Food Res. Int. 49(1):334-344.
 26. PERCIVAL, S.; TALCOTT, S.; CHIN, S.; MALLAK, A.; LOUNDS-SINGLETON, A.; PETTIT-MOORE, J. 2006. Neoplastic transformation of BALB/3T3 cells and cell cycle of HL-60 cells are inhibited by mango (*Mangifera indica* L.) juice and mango juice extracts. J. Nutr. 136(5):1300-1304.
 27. PINELL, G.; TERÁN, C.; GUARACHI, E.; ILLANES, J. 2009. Actividad citotóxica in vitro en líneas celulares y células de sangre periférica humana de los alcaloides totales de corteza de *Galipea longiflora* (Evan-ta). Rev. Bol. Quim. 26(2):96-100.

28. PRASAD, S.; KALRA, N.; SHUKLA, Y. 2007. Induction of apoptosis by lupeol and mango extract in mouse prostate and LNCaP cells. *Nutr. Cancer.* 60(1):120-130.
29. RINCÓN, A.; VÁSQUEZ, A.; PADILLA, F. 2005. Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Arch. Latinoam. Nutr.* 55(3):305-310. Disponible desde Internet en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300013&lng=es&nrm=iso (con acceso 27/04/13).
30. RODRÍGUEZ, R.; LAFOURCADE, A.; PÉREZ, L. 2013. Hojas de *Psidium guajava* L. *Rev. Cub. Farm.* 47(1):127-135.
31. RODRÍGUEZ, J.; MENÉNDEZ, J.; TRUJILLO, Y. 2001. Radicales libres en la biomedicina y estrés oxidativo. *Rev. Cub. Med. Militar.* 30(1):15-20.
32. SLAMEŇOVÁ, D.; HORVOTOVÁ, E.; WSÓLOVÁ, L.; SRAMKOVÁ, M.; NAVAROVÁ, J. 2009. Investigation of anti-oxidative, cytotoxic, DNA-damaging and DNA-protective effects of plant volatiles eugenol and borneol in human-derived HepG2, Caco-2 and VH10 cell lines. *Mutation Research/Genetic Toxicol. Environ. Mutagen.* 677(1-2):46-52.
33. SMITH, J.E. 1987. Erythrocyte membrane: structure, function, and pathophysiology. *Vet. Path.* 24(6):471-476.
34. SOONG, Y.Y.; BARLOW, P.J. 2004. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. *Food Chem.* 88(3):411-417.
35. STROBER, W. 2001. Trypan blue exclusion test of cell viability. *Curr. Protocols Immunol. A.* 3B. 1-A. 3B. 2.
36. SUN, J.; CHU, Y.F.; WU, X.; LIU, R. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agr. Food Chem.* 50(25):7449-7454.
37. SUWALSKY, M.; VARGAS, P.; AVELLO, M.; VILLENA, F.; SOTOMAYOR, C.P. 2008. Human erythrocytes are affected in vitro by flavonoids of *Aristolelia chilensis* (Maqui) leaves. *Int. J. Pharmaceut.* 363(1-2):85-90.
38. UGARTONDO, V.; MITJANS, M.; LOZANO, C.; TORRES, J.L.; VINARDELL, M.P. 2006. Comparative study of the cytotoxicity induced by antioxidant epicatechin conjugates obtained from grape. *J. Agr. Food Chem.* 54(18):6945-6950.
39. VENEREO, J.R. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Rev. Cub. Med. Militar.* 31(2):126-133.
40. WANG, Y.; HUANG, S.; SHAO, S.; QIAN, L.; XU, P. 2012. Studies on bioactivities of tea (*Camellia sinensis* L.) fruit peel extracts: Antioxidant activity and inhibitory potential against α -glucosidase and α -amylase in vitro. *Industr. Crops Prod.* 37(1):520-526.
41. ZENI, C.; BOVOLENTA, M.R.; STAGNI, A. 2002. Occurrence of echinocytosis in circulating RBC of black bullhead, *Ictalurus melas* (Rafinesque), following exposure to an anionic detergent at sublethal concentrations. *Aquat. Toxicol.* 57(4):217-224.

Recibido: Mayo 5 de 2013

Aceptado: Octubre 8 de 2013

Como citar:

Durán, M.; Montero, P.; Marrugo, Y. 2013. Extractos metanólicos de corteza de guayaba (*Psidium guajava* L.) y mango (*Mangifera indica* L.): efecto citotóxico, antihemolítico y en la morfología de membrana de eritrocitos. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 327-334.

BIOPELÍCULA: UN MECANISMO DE SUPERVIVENCIA DE *Helicobacter pylori*

BIOFILM: A SURVIVAL MECHANISM OF *Helicobacter pylori*

Martín Alonso Bayona-Rojas^{1*}, Andrés Julián Gutiérrez-Escobar^{2*}

¹ Bacteriólogo, Esp., M.Sc.; ² Lic. Biología, M.Sc. Docentes Facultad de Medicina, Grupo de Investigaciones Biomédicas y de Genética Aplicada (GIBGA), Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., Colombia. Correo electrónico respectivo: mabayona@udca.edu.co; andresgutierrez@colombia.com, *ambos autores realizaron la misma contribución.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 335-342, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Helicobacter pylori es un patógeno que coloniza el estómago humano, el cual, se ha asociado a múltiples enfermedades gastroduodenales. Dentro de su metabolismo produce una biopelícula, que es un complejo exopolisacárido, que le permite a la bacteria sobrevivir en ambientes desfavorables y ser resistente a la acción de los antibióticos, debido a que previene la penetración completa de estos compuestos. La presente revisión estuvo orientada a realizar una actualización sobre la importancia del biopolímero para la supervivencia de la bacteria y mostrar su trascendencia para la salud pública.

Palabras clave: Microbiología, bacteria, úlcera péptica, resistencia microbiana, cultivo microbiano.

SUMMARY

Helicobacter pylori is a pathogen which colonizes the human stomach and is associated with multiple gastrointestinal diseases. Metabolism occurs within a biofilm which is a complex exopolysaccharide that allows the bacterium to survive in hostile environments and be resistant to the action of antibiotics, since it prevents complete penetration of these compounds. The present review was designed to perform an update on the importance of the biopolymer regarding the survival of the bacteria and show its public health significance.

Key words: Microbiology, bacterium, peptic ulcer, microbial resistance, microbial culture.

INTRODUCCIÓN

Helicobacter pylori infecta entre el 50 y el 75% de la pobla-

ción mundial. La infección, se asocia al desarrollo de úlcera péptica y participa en la cadena etiológica multicausal, para el desarrollo de cáncer gástrico. En Colombia, uno de los principales motivos de consulta en los servicios médicos y hospitalarios corresponden a sintomatología de enfermedad ácido péptica (Bessa *et al.* 2012; Gisbert, 2011; Romo & Coria, 2010; Vale & Vitor, 2010; Torres & Backert, 2008; Fuccio *et al.* 2007; Parkin, 2006; Sierra, 2002).

Los reservorios del microorganismo son el hombre y los animales domésticos, como el perro y el gato y presenta diversos mecanismos de transmisión, por mencionar el agua y los alimentos contaminados, transmisión oro-fecal e insectos, como la mosca doméstica (Ford & Axon, 2010). La infección no es exclusiva para un rango de edad específico y afecta tanto población infantil (principalmente, en países con condiciones sanitarias pobres) como adulta. Los patrones de infección varían de acuerdo a la zona geográfica y se ha identificado que se asocia con hábitos y con costumbres alimentarias, que influyen en la aparición de sintomatología (Vale & Vitor, 2010; Flatland, 2002; Gómez & Orozco, 2006; Kivi & Tindberg, 2006).

Desde el punto de vista microbiológico, *H. pylori* es pleomórfico, Gram negativo y habita tanto en el epitelio del estómago como del intestino de humanos y de los animales. Una vez coloniza la mucosa gástrica es difícil erradicarla, a menos que se emplee tratamiento antibiótico. *Helicobacter* presenta las siguientes características: es microaerófilo, posee una membrana externa y, en promedio, seis flagelos polares están protegidos por una estructura lipídica; asimismo, es ureasa, catalasa y citocromo-oxidasa positivo, no produce hidrólisis del hipurato ni ácido sulfhídrico. Entre los factores de virulencia, se encuentra la ureasa, que transforma la urea en amoníaco y agua, alcalinizando así el medio ácido cir-

cundante; también se encuentran lipasas, adhesinas, factor activador plaquetario, la proteína Cag A, Pic B (que induce a citocinas) y la proteína vacuolizante Vac A. (Naranjo *et al.* 2012a; 2012b; Blanchard & Nedrud, 2012; Terebiznik *et al.* 2006; Marshall, 2002).

El cultivo se realiza, principalmente, a partir de biopsias de mucosa gástrica; sin embargo, se logra también empleando muestras extra-gástricas, como placa dental, heces fecales, saliva y muestras obtenidas, a partir de esófago. Los crecimientos típicos, se obtienen entre 4 a 7 días, en condiciones de: 5-10%, O₂; 5-10%, CO₂; 80-90%, N₂; humedad de 95% y temperatura de 35 a 37°C. Para su pleno crecimiento, se emplean medios de cultivo complejos, suplementado con sangre, con vitaminas y con antibióticos (Blanchard & Nedrud, 2012; Siavoshi *et al.* 2012; Abrante *et al.* 2012; Joo *et al.* 2010; Stevenson *et al.* 2003; Cellini *et al.* 2010; Bayona, 2013).

Genéticamente, *H. pylori* es muy diverso, con una tasa de intercambio de material genético alta y con ventajas evolutivas diferenciales entre cepas de la misma especie, tanto para marcadores de virulencia como para adhesinas (Baltrus *et al.* 2008). En nuestra experiencia, esta diversidad se puede apreciar en el crecimiento diferencial de las cepas en medios de cultivo diferentes (agar *Brucella*, *Campylobacter* y *Tripticasa* de soya); inclusive, cepas aisladas, a partir de biopsias de un mismo paciente, presentan cinéticas de crecimiento diferenciales. Además, análisis evolutivos realizados por nuestro grupo ponen de manifiesto procesos de diferenciación genética entre adhesinas pertenecientes a cepas del este y el oeste, que presentan selección positiva operante (Gutiérrez-Escobar, 2013). Finalmente, mencionar que hasta las características macroscópicas e, inclusive, la coloración de Gram, son diferenciales (Bayona, 2013).

Andersen & Rasmussen (2009), mediante estudios de microscopía electrónica, observaron formas espirales, formas cocoides y formas degenerativas. Las formas espirales son viables, cultivables, virulentas y pueden colonizar los animales de experimentación. Las formas cocoides también pueden ser viables, pero no cultivables, son menos virulentas y menos propensas a colonizar e inducir inflamación en animales de experimentación. Finalmente, las formas degenerativas no pueden ser cultivadas y la membrana celular se ha desintegrado, pero el material genético puede ser demostrado por la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), especialmente, en los suministros de agua.

Otro aspecto importante es el enfoque del tratamiento actual que busca eliminar la bacteria, acompañado de una terapia complementaria, que mejora el efecto de los antibióticos, por diferentes mecanismos. A nivel mundial, la terapia estándar ha perdido eficacia, todo debido a la resistencia que ha veni-

do desarrollando este microorganismo en los últimos años. En muchos casos, se ignora la efectividad de los esquemas de tratamiento prescritos, ya que no se realizan pruebas para verificar su eliminación (cultivo), pruebas de susceptibilidad y estudios farmacogenómicos (Mégraud & Corti, 2009; Otero *et al.* 2009).

Un tema poco mencionado y que consideramos importante desde diversos puntos de vista es el hecho que la bacteria forme una biopelícula; sin embargo, poco es el conocimiento concentrado en nuestro idioma sobre referente a este tema. En el presente artículo, se realizó una revisión de aspectos microbiológicos asociados con la biopelícula producida por *H. pylori*. Para la búsqueda bibliográfica, se exploraron las siguientes bases de datos: Medline, Proquest, Embase, Jstore, Pubmed, Hinari, Springer, Nature, Science online y Oxford Journal y en revistas particulares como Plos, Nas e Imbiomed. Se combinaron los términos: biofilms and *Helicobacter*, *Helicobacter pylori survival*, *Helicobacter* and Maintenance, Supplements for *Helicobacter*, Laboratory Maintenance, Susceptibility to antibiotics.

Los métodos de recuperación en caldo y en medios sólidos recomendados por los autores han sido evaluados con cepas de referencia. Cabe resaltar que a cada una de las cepas que hemos obtenido se les ha realizado un control bioquímico, caracterizado por pruebas convencionales (Gram, oxidasa, catalasa y ureasa) y un control molecular basado en la genotipificación de la subunidad 16S del gen ribosomal, teniendo en cuenta que estas cepas presentan altísima variabilidad genética. Destacamos, también, que a partir de los cultivos en medio líquidos y sólidos, se presenta como característica importante, la presencia de una biopelícula, cuya secreción es aparentemente diferencial entre las cepas aisladas hasta el momento. Por otra parte, hemos observado las diferentes morfologías macroscópicas de las colonias, lo cual, nos describe su amplia variabilidad genética (Figura 1).

BIOPELÍCULAS

Algunas bacterias forman conglomerados o comunidades microbianas cuando crecen en un nicho ecológico distinto a su hospedero. Estas comunidades microbianas, se embeben dentro de una matriz orgánica polimérica autoproducida y adherida a una superficie viva (biofilm de mucosa) o inerte, que pueden ser mono o polimicrobianas (Davey & O'toole, 2000; Kraigsley *et al.* 2002; Percival & Thomas, 2009; Coticchia *et al.* 2006; Costerton *et al.* 1999; Donlan, 2002; Yonezawa *et al.* 2010; Binkowska *et al.* 2013). Las biopelículas son sólidas y presentan canales por donde fluyen el agua y los nutrientes a las zonas más profundas (Yonezawa *et al.* 2010; Ceyhan, 2010; Di Campli *et al.* 2010; Makipour & Friedenber, 2011). Los primeros análisis de la producción de biofilm por parte de bacterias, como *H. pylori*, se llevaron

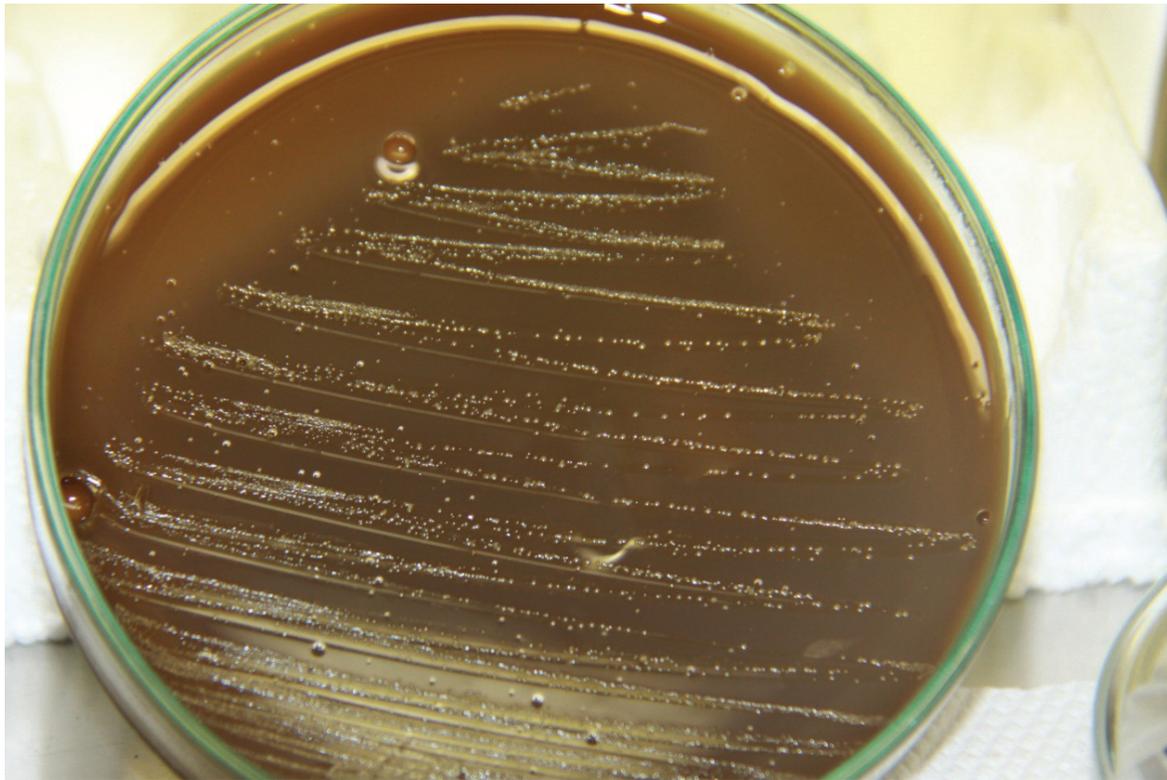


Figura 1. Características macroscópicas de cepas de *Helicobacter pylori* en medio de cultivo agar Chocolate.

a cabo en Perú, mostrando un fuerte potencial de infección, a partir de muestras de agua potable (Hulten *et al.* 1996). Los microorganismos que están alojados en la biopelícula tienen diferente metabolismo, crecimiento, disponibilidad de nutrientes, presión osmótica y densidad poblacional microbiana y se comunican por medio de señales químicas. Las células microbianas viven en estrecha proximidad, que les permiten intercambiar material genético, presente en los plásmidos (Binkowska *et al.* 2013).

Las biopelículas están presentes en todas partes y afectan todos los aspectos de nuestra vida. A nivel clínico, se asocian con neumonía nosocomial, infecciones del tracto urinario (catéter), infecciones supurativas, infecciones del sistema nervioso central, sepsis bacteriana y juegan un papel importante, asociados con fibrosis quística y enfermedad del legionario (Brelles Mariño, 2012; Binkowskawa *et al.* 2013). Representan una estrategia adaptativa de las bacterias que es ventajosa porque: 1) Protege los microorganismos de agentes adversos, como son desinfectantes y antibióticos y otros agentes ambientales estresantes; 2) Incrementa la disponibilidad de nutrientes, ya que los concentra; 3) Evita la deshidratación y, 4) Posibilita la transferencia de material genético (Costerton *et al.* 1999; Donlan, 2002). Varios mecanismos están probablemente relacionados con la resistencia antimicrobiana: 1) Lenta penetración del agente antimicrobiano en la biopelícula; 2) Cambio en el microambiente químico dentro de la biopelícula, lo cual, conduce a zonas de crecimiento lento o nulo; 3) Respuesta de estrés de adaptación y, 4) Presencia de una pequeña población de células de extrema resistencia (Huynh *et al.* 2004).

Grande *et al.* (2011), al estudiar y caracterizar el ADN extracelular (EDNA) en las biopelículas de *H. pylori*, determinaron que el EDNA no es el componente principal de la matriz y que, como tal, puede estar involucrado en otros procesos que están orientados a la recombinación, a través de la transformación, contribuyendo así a la variabilidad genética de la bacteria.

Las biopelículas también juegan un papel importante, a nivel de salud pública, debido a su papel en enfermedades infecciosas, relacionadas con dispositivos. De acuerdo con la estimación dada por el centro para el control de enfermedades (Atlanta, GA, EE.UU), se estima que 65% de las enfermedades humanas causadas por infecciones bacterianas están involucradas con biopelículas (Jain *et al.* 2007).

Estructuralmente, las biopelículas están constituidas por tres componentes: a) masa microbiana, b) espacios intercelulares o canales y c) matriz extracelular que rodea el complejo y está compuesta de exopolisacáridos, proteínas,

ácidos nucleicos y otras sustancias (Costerton *et al.* 1987). La formación de la biopelícula está regulada por un sistema de señales dependiente de la acumulación de un autoinductor. En bacterias Gram negativas, como *H. pylori*, el principal autoinductor es la acil-homoserina lactona (Donlan, 2002; Lasa *et al.* 2009). La formación de la biopelícula conlleva un proceso sistemático de cinco fases: 1) Adsorción reversible de la bacteria a la superficie; 2) Unión irreversible a la superficie; 3) Fase inicial de maduración con crecimiento y desarrollo microbiano; 4) Producción del exopolímero y, 5) Desarrollo final de la colonia con dispersión de células colonizadoras (Kumar & Anand, 1998; Cole *et al.* 2004).

Un medio común para la formación de biopelículas es el agua, frente a lo cual, los estudios epidemiológicos sugieren que el agua del medio ambiente es un factor de riesgo para su infección, en comparación con el agua del grifo (Adams *et al.* 2003; Watson *et al.* 2004; Bellack *et al.* 2006). Muchas veces, el tratamiento con antimicrobianos de comunidades de bacterias patógenas es inefectivo (Patel, 2005).

Las biopelículas pueden presentar diferentes formas dependientes del ambiente, sea natural, clínico o industrial (Davey & O' Toole, 2000; Kraigsley *et al.* 2002; Cammarota *et al.* 2010). Dentro de esos ambientes encontramos: piel, tracto intestinal, alrededor de raíces vegetales, en las tuberías, en la placa dental o en instrumentos implantados, como catéteres, marcapasos y prótesis (Donlan, 2002; Serra, 2003); sin embargo, no parece participar en la formación de biopelícula en la cavidad oral, a pesar que la bacteria se puede detectar (Andersen & Rasmussen, 2009).

Bessa *et al.* (2012) evaluaron, a nivel *in vitro*, el comportamiento fisiológico de biopelículas de *H. pylori* y emplearon cuatro medios de cultivo líquido: caldo *Brucella*, infusión de cerebro corazón, caldo Ham F-12 adicionado de 2% de suero fetal de ternero y Ham sin suero. La formación de las biopelículas fue significativamente dependiente de los medios empleados, recomendando los medios Ham F-12. Posteriormente, Bessa *et al.* (2012), con el fin de obtener estudios fisiológicos más precisos, optimizaron condiciones de cultivo para *H. pylori*, los cuales, incluyeron al medio Ham F-12 suplementado con suero fetal bovino al 5%. La estrategia del diseño experimental mostró resultados óptimos, en valores de pH (8,0), velocidad de agitación, (130rpm), valor de tasa de crecimiento específico de 0,164 h⁻¹, correspondiente a una concentración máxima aproximada de 1,5x 10⁸ UFC/ml, después de 8 horas. En contraste a lo anterior, Yonezawa *et al.* (2010), en su estudio de formación de biopelícula de *H. pylori*, obtuvo un óptimo crecimiento en caldo *Brucella* suplementado con suero de ternera fetal al 7%, encontrando que no hubo diferencias significativas en la autoagregación, la motilidad y la hidrofobicidad de las diferentes cepas evaluadas.

Un trabajo que empleó caldo *Brucella* adicionado de suero de caballo al 10% fue evaluado por Joo *et al.* (2010), quienes introdujeron una nueva técnica en capa fina líquida, empleando como soporte, caja de Petri de 90mm. Esta metodología representa una alternativa versátil para la investigación del microorganismo. Una cepa de *H. pylori* NCTC 11637 produjo una biopelícula, bajo condiciones *in vitro*, en un medio con un alto contenido de carbono (caldo *Brucella*), suplementado con 3g de glucosa. En nuestra experiencia, se ha dado un resultado similar, al observar presencia del exopolisacárido, a las 18 horas de iniciado el cultivo.

Carron *et al.* (2006) demostraron, mediante microscopia electrónica de barrido (primer registro fotográfico), la existencia de una biopelícula de *H. pylori* en mucosa gástrica humana. Los pacientes evaluados, se sometieron a una endoscopia, tomándose tres muestras por cada uno; paralelamente, se realizaron pruebas confirmatorias de ureasa.

Cammarota *et al.* (2012) demostraron, mediante un escaneo por medio de la microscopia electrónica, a partir de biopsias gástricas obtenidas de pacientes infectados por *H. pylori*, la formación de biopelículas. Estos biopolímeros permiten que el microorganismo permanezca latente en este medio gástrico y asimismo, sea resistente a la acción de los antibióticos. Mediante el empleo de N-acetilcisteína, antes de iniciar el tratamiento con antibióticos, permitió erradicar la biopelícula, a nivel gástrico y, de esta manera, poder eliminar posteriormente la bacteria. Asimismo, Makipour & Friedenberg (2011) y Huynh *et al.* (2004) mostraron el papel que presenta este compuesto en la degradación de la biopelícula.

Souto & Vieira (2008), al evaluar la prevalencia de *H. pylori* por PCR en biofilm subgingival y de saliva de 169 pacientes con periodontitis crónica, encontraron una prevalencia de un 20%. Se observó una mayor prevalencia en muestras de biopelícula subgingival (33,3%), en comparación con muestras de saliva (20%), permitiendo establecer que dicho microorganismo se detecta con frecuencia en la microbiota oral de sujetos con periodontitis. Por otra parte, el trabajo llevado a cabo por Ghosh & Bodhankar (2012), quienes evaluaron 1.500 muestras de saliva de pacientes asintomáticos para *H. pylori* por PCR, hallaron una prevalencia en hombres de 75,96% y en mujeres de 88,10%. El papel de la cavidad oral en la colonización por *H. pylori* es considerada como transitoria e independiente del estado del paciente, de tal forma que el tiempo de supervivencia debe ser estudiado con el fin de aumentar su conocimiento sobre la vía de transmisión de este patógeno (Al-Ahmad *et al.* 2012).

Se ha demostrado que en agua, las biopelículas protegen a los microorganismos de condiciones adversas (Percival & Thomas, 2009; Stewart & Costerton, 2001). Técnicas,

como PCR y la prueba de fluorescencia de hibridación *in situ* (FISH), se han empleado con éxito para identificar con satisfacción la presencia de *H. pylori* en agua (Giao *et al.* 2008).

Cuando se habla de la presencia de *H. pylori* en agua, se define como un microorganismo que tiene la capacidad de entrar en estado viable, pero no cultivable, sobre todo en casos de condiciones desfavorables. Frente a esta problemática, Linke *et al.* (2010) evaluaron la prueba de PCR en tiempo real, para lo cual, las biopelículas con el microorganismo se generaron en un modelo con agua potable sobre un tubo con silicona. Dentro de los resultados obtenidos evidenciaron que la secuencia de ADN de la sonda y los cebadores no mostró homología cruzada con otras bacterias, siendo posible detectar diez unidades genómicas, representando, por lo tanto, una nueva herramienta de análisis para este tipo de microorganismo.

CONCLUSIONES

A pesar de las importantes implicaciones microbiológicas y fisiológicas que presenta la formación de las biopelículas no es mucho lo que se conoce sobre su producción, regulación y papel en la resistencia a los antibióticos. El hecho de poder conocer e identificar elementos genéticos y factores ambientales asociados con la formación de biopelículas permitirá establecer estrategias efectivas para su control. El objetivo de esta revisión fue, precisamente, traer a la retina de la comunidad científica nacional e internacional, de habla hispana, este tema, para abrir posibilidades investigativas en nuestras regiones, ya que poco se conoce sobre la formación de biopelículas y sus implicaciones clínicas, por parte de cepas nativas para la región latinoamericana.

Conflicto de intereses: El artículo fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABRANTE, L.; REYES, N.; GARCÍA, M.; SUÁREZ, P.; ROMERO, R.; MICHELANGELI, F.; CONTRERAS, M. 2012. Diagnóstico de la infección por *Helicobacter pylori* por PCR en jugo gástrico y biopsias gastroesofágicas de pacientes dispépticos. *Invest. Clin.* 53(2): 168-177.
2. ADAMS, B.; BATES, T.; OLIVER, J. 2003. Survival of *Helicobacter pylori* in a natural freshwater environment. *Appl. Environ. Microbiol.* 69(12):7462-7466.
3. AL-AHMAD, A.; KURSCHER, A.; AWECKESSER, S.; WITTMER, A.; RAUBERGER, H.; JAKOB, T.; HELLWIG, E.; KIST, M.; WAIDNER, B. 2012. Is *Helicobacter pylori* resident or transient in the human oral cavity? *J. Med. Microbiol.* 61(8):1146-1152.
4. ANDERSEN, L.; RASMUSSEN, L. 2009. *Helicobacter pylori*-coccoid forms and biofilm formation. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 56(2):112-115.
5. BALTRUS, D.; GUILLEMIN, K.; PHILLIPS, P. 2008. Natural transformation increases the rate of adaptation in the human pathogen *Helicobacter pylori*. *Evolution.* 62(1):39-49.
6. BAYONA, M. 2013. Condiciones microbiológicas para el cultivo de *Helicobacter pylori*. *Rev. Col. Gastroent.* 28 (2):94-99.
7. BELLACK, N.; KOEHOO, M.; MACNAB, Y.; MORSHED, M. 2006. A conceptual model of water's role as a reservoir in *Helicobacter pylori* transmission: a review of the evidence. *Epidemiol. Infect.* 134(3):439-449.
8. BESSA, L.; CORREIA, L.; CELLINI, L.; AZEVEDO, N.; ROCHA, I. 2012. Optimization of culture conditions to improve *Helicobacter pylori* growth in Ham's F-12 medium by response surface methodology. *Int J. Pharmacol. Immunopath.* 25(4):901-909.
9. BINKOWSKA, A.; BIERNAT, M.; DUIS, I.; GOSCINIAK, G. 2013. The role of biofilm formation in pathogenesis of *Helicobacter pylori* infections. *Prz Gastroenterol.* 8(1):27-30.
10. BLANCHARD, T.; NEDRUID, J. 2012. Laboratory maintenance of *Helicobacter* species. *Current Protocols in Microbiology.* Suppl.24, 23p.
11. BRELLES MARIÑO, G. 2012. Challenges in biofilm inactivation: the use of cold plasma as a new approach. *J. Bioprocess. Biotechnig.* 2(14):1-4.
12. CAMMAROTA, G.; SANGUINETTI, M.; GALLO, A.; POSTERARO, B. 2012. Biofilm formation by *Helicobacter pylori* as a target for eradication of resistant infection. *Aliment. Pharmacol. Ther.* 36(3):222-230.
13. CAMMAROTA, G.; BRANCA, G.; ARDITO, F.; SANGUINETTI, M.; IANIRO, G.; CIANCI, R.;

- TORELLI, R.; MASALA, G.; GASBARRINI, A.; FADDA, G.; LANDOLFI, R.; GASBARRINI, G. 2010. Biofilm demolition and antibiotic treatment to eradicate resistant *Helicobacter pylori*: A clinical trial. Clin. Gastroent. Hepatol. 8:817-820.
14. CARRON, M.A.; TRAN, V.R.; SUGAWA, C.; COTICCHIA, J.M. 2006. Identification of *Helicobacter pylori* biofilms in human gastric mucosa. J. Gastrointest. Surg. 10(5):712-717.
 15. CELLINI, L.; GRANDE, R.; ARTESE, L.; MARZIO, L. 2010. Detection of *Helicobacter pylori* in saliva and esophagus. New Microbiol. 33(4):351-357.
 16. CEYHAN, N. 2010. Formation of biofilm in drinking water by a gastric pathogen *Helicobacter*. J. BIBAD, Biyoloji Bilimleri Arastirma Dergisi. 3(2):115-119.
 17. COLE, S.; HARWOOD, J.; LEE, R.; SHE, R.; GUINEY, D. 2004. Characterization of monospecies biofilm formation by *Helicobacter pylori*. J. Bacteriol. 186(10):3124-3132.
 18. COSTERTON, J.W.; CHEN, G.; GERSEY, T.I.; LADD, J.G.; NICKEL, M. 1987. Bacterial biofilms in nature and disease. Ann. Rev. Microbiol. 41:435-64.
 19. COSTERTON, J.; STEWART, P.; GREENBERG, E. 1999. Bacterial Biofilms: a common cause of persistent infections. Science. 284:1318-1322.
 20. COTICCHIA, J.; CHOICHI, S.; TRAN, V.; GÜRROLA, J.; KOWALSKI, E.; CARRON, M. 2006. Presence and density of *Helicobacter pylori* biofilms in human gastric mucosa in patients with peptic ulcer disease. J. Gastrointest. Surg. 10(6):883-889.
 21. DAVEY, M.; O'TOOLE, G. 2000. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. Microbiol. Mol. Biol. Reviews. 64(4):1092-2172.
 22. DI CAMPLI, E.; DI BARTOLOMEO, S.; GRANDE, R.; DI GIULIO, M.; CELLINI, L. 2010. Effects of extremely low- frequency of electromagnetic fields on *Helicobacter pylori* biofilm. Current Microbiol. 60(6):412-418.
 23. DONLAN, R. 2002. Biofilms: microbial life on surfaces. Emerg. Infect. Diseas. 8(9):881-890.
 24. FLATLAND, B. 2002. *Helicobacter* infection in humans and animals. Comp. Cont. Educ. Pract. Vet. 24(9):688-698.
 25. FORD, A.C.; AXON, A.T. 2010. Epidemiology of *Helicobacter pylori* infection and public health implications. Helicobacter. 15(Suppl1):1-6.
 26. FUCCIO, L.; ZAGARI, R.; MINARDI, M.; BAZZOLI, F. 2007. Systematic review: *Helicobacter pylori* eradication for the prevention of gastric cancer. Aliment. Pharma. Therap. 25(2):133-141.
 27. GHOSH, P.; BODHANKAR, S. 2012. Determination of risk factors and transmission pathways of *Helicobacter pylori* in asymptomatic subjects in Western India using polymerase chain reaction. Asian Pacific J. Trop. Disease. 2(1):12-17
 28. GIAO, M.; AZEVEDO, N.; WILKS, S.; VIEIRA, M.; KEEVIL, C. 2008. Persistence of *Helicobacter pylori* in heterotrophic drinking-water biofilms. Appl. Environm. Microbiol. 74(19):5898-5904.
 29. GISBERT, J. 2011. *Helicobacter pylori* related diseases; dyspepsia, ulcers and gastric cancer. Gastroenterol. Hepatol. 34(2):15-26.
 30. GÓMEZ, L.; OROZCO, S. 2006. Helicobacteriosis canina y felina. Vet. Méx. 37:97-116.
 31. GRANDE, R.; DI GIULIO, M.; BESSA, L.; DI CAMPLI, E.; BAFFONI, M.; GUARNIERI, S.; CELLINI, L. 2011. Extracellular DNA in *Helicobacter pylori* biofilm: a backstairs rumour. J. Appl. Microbiol. 110(2):490-498.
 32. GUTIÉRREZ-ESCOBAR, A.J. 2013. Análisis evolutivo de la adhesión: evidencia de selección positiva operante sobre el locus AlpAB y el gen horB de *Helicobacter pylori*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(1):3-15.
 33. HULTEN, K.; HAN, S.; ENROTH, H.; KLEIN, P.; OPEKUN, A.; GILMAN, R.; EVANS, D.; ENGSTRAND, L.; GRAHAM, D.; EL-ZAATARI, F. 1996. *Helicobacter pylori* in the drinking water in Peru. Gastroenterol. 110:1031-1035.
 34. HUYNH, H.Q.; COUPER, R.T.; TRAN, C.; MOORE, L.; KELSO, R.; BUTLER, R. 2004. N- Acetilcysteine, a novel treatment for *Helicobacter pylori* infection. Digest. Dis. Sci. 49 (11-12):1853-1861.
 35. JAIN, A.; GÚPTA, Y.; AGRAWAL, R.; KHARE, P.; JAIN, S.K. 2007. Biofilms--a microbial life perspective: a critical review. Crit. Rev. Ther. Drug Carrier Syst. 24(5):393-443.

36. JOO, J.; PARK, K.; SONG, J.; KIM, D.; LEE, K.; KWON, Y.; KIM, J.; KIM, K.; YOON, H.; KANG, H.; BAIK, S.; LEE, W.; CHO, M.; RHEE, K. 2010. Thin-layer liquid culture technique for the growth of *Helicobacter pylori*. *Helicobacter*. 15(4):295-302.
37. KIVI, M.; TINDBERG, Y. 2006. *Helicobacter pylori* occurrence and transmission: a family affair? *Scand. J. Infect. Dis.* 38(6-7):407-417.
38. KRAIGSLY, A.; RONNEY, P.; FINKEL, S. 2002. Dynamics of self-propagating fronts of motile bacteria. Disponible desde internet en: <http://carambola.usc.edu/research/biophysics/BacterialFronts.html> (con acceso 10/11/2012).
39. KUMAR, C.; ANAND, S. 1998. Significance of microbial biofilms in food industry: a review. *Int. J. Food Microbiol.* 42:9-27.
40. LASA, I.; DEL POZO, J.; PENADÉS, J. 2009. Biofilms bacterianos e infección. Disponible desde internet en: <http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol28/n2/colaba.html> (con acceso 13/10/2012).
41. LINKE, S.; LENZ, J.; GEMEIN, S.; EXNER, M.; GEBEL, J. 2010. Detection of *Helicobacter pylori* in biofilms by real-time PCR. *Int. J. Hyg. Environm. Health.* 213(3):176-182.
42. MAKIPOUR, K.; FRIEDENBERG, F. 2011. The potential Role of N-acetylcysteine for the treatment of *Helicobacter pylori*. *J. Clin. Gastroent.* 45(10):841-843.
43. MARSHALL, B. 2002. *Helicobacter pylori*: 20 years on. *Clin. Med.* 2(2):147-152.
44. MÉGRAUD, F.; CORTI, R. 2009. Resistencia bacteriana del *Helicobacter pylori* en el mundo en el año 2009. *Acta Gastroent. Latinoam.* 39(4):282-290.
45. NARANJO, D.; SUÁREZ, M.; BAYONA, M.; GALLEGO, M.; ÚRBINA, M.; ROJAS, D.P. 2012a. Aspectos históricos, epidemiológicos y patológicos de la helicobacteriosis en humanos y en caninos. *Rev. Medicina.* 34(2):146-161.
46. NARANJO, D.; SUÁREZ, M.; ROJAS, D.P.; BAYONA, M.; GALLEGO, M.; ÚRBINA, M. 2012b. Relación de helicobacteriosis en caninos y sus propietarios en diferentes estratos socioeconómicos en Bogotá D.C. *Medicina.* 34(3):211-220.
47. OTERO, W.; TRESPALACIOS, A.; OTERO, E. 2009. *Helicobacter pylori*: Tratamiento actual. Un importante reto en gastroenterología. *Rev. Col. Gastroenterol.* 24(3):279-292.
48. PARKIN, D. 2006. The global health burden of infection-associated cancers in the year 2002. *Int. J. Cancer.* 118(12):3030-3044.
49. PATEL, R. 2005. Biofilm and antimicrobial resistance. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 437:41-47.
50. PERCIVAL, S.; THOMAS, J. 2009. Transmission of *Helicobacter pylori* and the role of water and biofilms. *J. Water Health.* 7:469-477.
51. ROMO, C.; CORIA, V.R. 2010. *Helicobacter pylori*, un modelo de bacteria carcinogénica. *Rev. Especial. Médico-Quirúrg.* 15(4):242-251.
52. SERRA, P.G. 2003. Estudio de biofilms: formación y consecuencia. Disponible desde internet en: <http://magno.uab.es/epsi/alimentaria/biofilm.pdf> (con acceso 13/10/2012).
53. SIAVOSHI, F.; SANIEE, P.; ATABAKHSH, M.; PEDRAMNIA, S.; TAVAKOLIAN, A.; MIRZAEI, M. 2012. Mucoïd *Helicobacter pylori* isolates with fast growth under microaerobic and aerobic conditions. *Helicobacter.* 17:62-67.
54. SIERRA, F. 2002. *Helicobacter pylori*–Estado actual. *Rev. Col. de Cirugía.* 17(3):128-130. Disponible desde internet en <http://www.encolombia.com/medicina/cirugia/ciru17302editorial.htm> (con acceso 13/10/2012).
55. SOUTO, R.; VIEIRA, A.P. 2008. Detection of *Helicobacter pylori* by polymerase chain reaction in the subgingival biofilm and saliva of non-dyspeptic periodontal patients. *J. Periodontol.* 79(1):97-103.
56. STEVENSON, T.; LÚCIA, L.; ACUFF, G. 2003. Development of a selective medium for isolation of *Helicobacter pylori* from cattle and beef samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:723-727.
57. STEWART, P.; COSTERTON, J. 2001. Antibiotic resistance of bacteria in Biofilms. *Lancet.* 358:135-138.
58. TEREbiznik, M.R.; VÁSQUEZ, C.L.; TORBICKI, K.; BANKS, D.; WANG, T.; HONG, W.; BLANKE, S.R.; COLOMBO, M.I.; JONES, N.L. 2006. *Helicobacter pylori* VacA toxin promotes bacterial intracellular

- survival in gastric epithelial cells. *Infect. Immun.* 74(12):6599-6614.
59. TORRES, J.; BACKERT, S. 2008. Pathogenesis of *Helicobacter pylori* infection. *Helicobacter*, 13(1):13-17.
60. VALE, F.; VÍTOR, J. 2010. Transmission pathway of *Helicobacter pylori*: does food play a role in rural and urban areas? *Int. J. Food Microbiol.* 138(1-2):1-12.
61. WATSON, C.L.; OWEN, R.J.; SAID, B.; LAI, S.; LEE, J.V.; SUMAN-LEE, S.; NICHOLS, G. 2004. Detection of *Helicobacter pylori* by PCR but not culture in water and biofilm samples from drinking water distribution systems in England. *J. Appl. Microbiol.* 97:690-698.
62. YONEZAWA, H.; OSAKI, T.; KURATA, S.; ZAMAN, C.; HANAWA, T.; KAMIYA, S. 2010. Assessment of *in vitro* biofilm formation by *Helicobacter pylori*. *J. Gastroent. Hepatol.* 25(Suppl 1):S90-94.

Recibido: Abril 15 de 2013

Aceptado: Octubre 7 de 2013

Como citar:

Bayona-Rojas, M.A.; Gutiérrez-Escobar, A.J. 2013. Biopelícula: un mecanismo de supervivencia de *Helicobacter pylori*. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 335-342.

INSTRUMENTO DE PSICOMOTRICIDAD VIVENCIADA PARA NIÑOS Y NIÑAS AUTISTAS

INSTRUMENT OF VIVENCED PSYCHOMOTRICITY FOR AUTISTIC CHILDREN

Lina Johanna Álvarez Toro¹

¹ Fisioterapeuta. Magister en Desarrollo Infantil. Profesora Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, linoka_123@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 343-350, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Los instrumentos para la evaluación psicomotriz en población con trastornos del espectro autista (TEA) suelen ser muy limitados, debido a las dificultades en la comunicación y en la interacción social, que son características específicas de este tipo de patologías, generándose así grandes inconvenientes a la hora de realizar procesos de evaluación, debido a la falta de reciprocidad de esta población con el terapeuta. Esta investigación tuvo como objetivo brindar una propuesta de evaluación psicomotriz desde la perspectiva vivenciada y para ello fue necesaria la creación de un instrumento, el cual, fue sometido a juicio de expertos, para dar validez de contenido. En este primer momento, los resultados arrojaron que el instrumento brinda un acercamiento al componente psicomotor desde otra perspectiva, facilitado por la observación en los diferentes contextos y presenta acople entre las cuatro dimensiones: a su propio cuerpo, al espacio, a los objetos y a las otras personas. En un segundo momento, las conclusiones de los terapeutas quienes emplearon el instrumento, determinaron que era coherente, práctico, sencillo y permitía un buen análisis del niño o la niña, porque se centra en el sujeto de análisis.

Palabras clave: Trastorno generalizado del desarrollo, psicomotricidad, Instrumento de Evaluación.

SUMMARY

The psychomotor assessment tools in population with autism spectrum disorders (ASD) tend to be very limited, due to difficulties in communication and social interaction, which are characteristics of this type of disease, thus generating great disadvantages when performing assessment processes, due to the lack of reciprocity of this group with the therapist. This research aimed to provide an evaluation proposal from the lived psychomotor perspective, for this it was

necessary to create an instrument, which was submitted to an expert judgment. In this first moment, the results showed that the instrument provides an approach to psychomotor component from another perspective, facilitated by the observation within different contexts and presents coupling between the four dimensions: the own body, space, objects and other individuals. In a second moment, the conclusions of the therapists who used the instrument, determined that it was consistent, practical, simple and allowed a good analysis of the male or female child because it focuses on the subject of analysis.

Key words: Pervasive developmental disorder, psychomotor, Assessment Instrument.

INTRODUCCIÓN

El autismo, según la American Psychiatric Association (2000), es un trastorno biológico del desarrollo que causa severas dificultades en la interacción social y en la comunicación; se asocia a una conducta estereotipada, intereses restringidos, dificultad en la comunicación y limitación de intereses y actividades con patrón estereotipado y repetitivo, tal como lo describe Betoglio & Hendren (2009). Y mirando su etimología, el término autismo proviene del griego *autos* que significa por sí mismo. Por su parte, Kanner (1943) fue el primero en describir una condición específica, conocida como autismo.

Cuando se mencionan las características de los niños con trastornos del desarrollo, específicamente con autismo, podemos encontrar que sus características específicas, según O'Neili & Joner (1997) y Curcio (1978), son repertorios restringidos de intereses y de comportamientos, alteraciones como híper o hiposensibilidad frente a estímulos auditivos, visuales y táctiles, más las dificultades de la comunicación verbal y no verbal, planteadas por Kielinen *et al.* (2009).

Existen algunos instrumentos tradicionales de evaluación, cuyo objetivo es la obtención de una medida global del desarrollo y otros se distinguen por evaluar áreas específicas de desarrollo. Las técnicas más utilizadas en los años 50 a los 70 fueron instrumentos estandarizados, precisando que cuando se habla de realizar una evaluación psicomotriz en niños y en niñas hallaríamos instrumentos creados, a partir de unos criterios normativo-evolutivos, los cuales, permiten establecer un cociente de desarrollo global, según Ozeretzki (1936). La escala McCarthy, que en los casos de niños autistas con competencias en la gama de 3 a 7 años podría resultar útil, en muchos casos y en especial cuando son pequeños o el cuadro se acompaña de retraso mental, esta prueba psicométrica no podría ser suministrada. Otro instrumento es el Perfil Psicoeducativo (PEP), establecido en Schopler & Reichler (1979); en consecuencia, en la actualidad realizar una evaluación psicomotriz a niños con autismo puede resultar compleja.

La actividad corporal evidencia la identidad psicomotriz de la persona, su nivel de desarrollo y el grado de integridad de la imagen corporal de sí mismo. Conociendo algunas de las manifestaciones clínicas del autismo, se puede decir que la psicomotricidad en el autismo es un campo poco explorado. Las investigaciones realizadas en los últimos años con relación al autismo y su psicomotricidad, se enmarcan a partir de los procesos de intervención basados en las terapias alternativas, como los de Pan (2010), Rosenblatt *et al.* (2011), Bass *et al.* (2009) y los efectos de la terapia en integración sensorial, estudiados por Pfeiffer *et al.* (2011).

La psicomotricidad vivenciada o relacional es una forma de psicomotricidad que se puede entender como una organización de todas las sensaciones relativas al propio cuerpo, relación con el mundo exterior, representación del propio cuerpo, de sus límites y posibilidades de acción, el empleo del movimiento como medio de aprendizaje, esto según Aucouturier (2005). Por ende, una evaluación psicomotriz en un espacio transicional entre el examinador y el paciente, en el cual, los dos son sujetos y objeto de observación, debe generar una evaluación dinámica, mediante un diálogo tónico, descrito por Ajuriaguerra (1983), potencializando la capacidad del ser humano, aunque esté callado, pueda “hablar”.

En la Psicomotricidad vivenciada, el cuerpo es visto como instrumento que permite vivenciar las diversas cualidades perceptivo-motrices, tal como lo plantean Lapierre & Aucouturier (1974), estrechamente vinculado a la motricidad voluntaria, a la acción y a las experiencias sensoriomotoras, es decir, a lo perceptivo motriz.

Las prácticas psicomotrices deben permitir a niños y niñas con dificultades en la comunicación verbal, la socialización

y las relaciones interpersonales, tener la posibilidad de expresarse y explorar esas habilidades.

La psicomotricidad vivenciada tiene como fundamento práctico y punto de partida el juego, que es más que una simple diversión; es la forma propia de actuar del niño, la manera con que descubre el mundo, a través de la acción sobre su cuerpo, sobre los objetos y sobre los otros, según Valdés (1997); cualquier tipo de conocimiento construido tiene una estrecha relación con la inteligencia y la afectividad, estas últimas dependen íntimamente de la vivencia corporal y motriz, de acuerdo a lo planteado por Ruffman *et al.* (2001).

El compromiso psicomotriz, desde la perspectiva vivencial, evalúa la relación con su propio cuerpo y con el espacio, estableciendo las relaciones entre él y las personas, por medio del reconocimiento de su cuerpo, donde construye su propio espacio y sus límites. Estas habilidades son las que permiten la interacción con el mundo que nos rodea; sin embargo, esta población ha mostrado una deficiencia en esta área, según Curcio (1978), siendo una de sus dificultades para el reconocimiento del yo y la inversión prenominal, según Kanner (1943). Por otro lado, las conductas no son adquiridas de manera paulatina y en forma conciente, como un acto madurativo y los conceptos no suelen ser construidos por su capacidad propia, teniendo en cuenta que el pensamiento no es regulado por una representación mental.

En relación con otras personas, las áreas afectadas en los niños con autismo están relacionadas con déficits de tipo social. Estas áreas forman parte de un “racimo funcional”, que contendría pautas sociales, según Ruffman *et al.* (2001), habilidades simbólicas y el sistema de las emociones, de acuerdo a lo planteado por Rivière (2001), de manera que si uno de estos ámbitos se afecta, los demás se resienten, por eso, ellos presentan dificultades para la comprensión de uno mismo y los demás como personas, no pueden comprender ni predecir el comportamiento de la gente, sus compañeros los consideran fríos e insensibles, entre otros comportamientos y juzgamientos.

En relación con los objetos, los niños con autismo se relacionan mejor con los objetos que con las personas. Hacen de los objetos algo interno, propios de su mismo cuerpo. No diferencian los objetos inanimados de los animados. No tiene noción de meterse adentro de algo, porque para ellos todo pertenece a su organismo. Estos están generados por el sentido del tacto, no son “objetos” en un sentido objetivo, sino que son sentidos como siendo partes del propio cuerpo, objetos paradójales, según Tustin (1981), desde el punto de vista del psicoanálisis, que se podrían determinar como “objetos subjetivos”.

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar un instrumento

de evaluación psicomotriz a niños y niñas con Trastorno del Espectro Autista, planteándose como objetivos específicos determinar los criterios para la operacionalización de variables con las que se va a construir el instrumento, identificar la validez de contenido y de la apariencia del instrumento, a partir de un juicio de expertos y aplicar una prueba piloto al instrumento para conocer sus fortalezas y debilidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se hizo en cinco fases. Fase descriptiva: Se recopiló una literatura relacionada con la creación del instrumento, que permitió definir los dominios de evaluación psicomotriz desde la perspectiva vivenciada. Fase formulativa: Se realizó la propuesta del instrumento. Fase de comprobación: El instrumento, se llevó a un juicio de expertos, conformado por fisioterapeuta y psicólogos, en un rango de experiencia profesional en el tema de 10 a 30 años y con grado de escolaridad en maestrías y doctorados; de allí se determinó la validez de contenido. Fase de aplicación de prueba piloto: Seguido a las recomendaciones de los expertos y ajustando el instrumento a las observaciones realizadas, se hizo entrega del instrumento a once terapeutas de diferentes áreas de la salud, que representaron el 90% de los profesionales en la ciudad de Cali y que brindan apoyo terapéutico a niños y niñas con diagnóstico establecido de Trastorno del Espectro Autista (TEA), en edades comprendidas entre los 3 y los 12 años, para la aplicación y la valoración del instrumento. La selección de la muestra, se basa en los fundamentos metodológicos de Dieterich (2001). Para ello, se realizó un muestreo intencional, no probabilístico, a conveniencia. Criterio de inclusión:

Terapeutas Ocupacionales, Fisioterapeutas, Psicólogos, Educadores Especiales. Estos profesionales estaban en un rango de experiencia, entre los 2 a 18 años, en campos de la educación especial y trastornos generalizados del desarrollo. Fase de recolección de Información, descrita por Deslauriers (2005): Se analizaron los datos obtenidos tras la aplicación de la prueba piloto y se recogió la información acerca de las debilidades y las fortalezas del instrumento al momento de aplicarlo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación realizada por los expertos al instrumento con respecto a los 14 ítems, arrojó que el instrumento propuesto es coherente, claro y sencillo y las dimensiones a evaluar responden a los intereses de valoración, desde la perspectiva vivencial en niños (as) con TEA.

A continuación, se presenta la síntesis gráfica de la evaluación del Juicio de Expertos, en cada una de las dimensiones a considerar en el instrumento. Estas síntesis son representadas por las Figuras 1, 2, 3 y 4.

Seguida a la evaluación del Juicio de Expertos, previos ajustes, se entrega una nueva versión a los once profesionales, cuya síntesis de evaluación se presenta a continuación. Entre las fortalezas, se resalta: 1) Que el instrumento puede detectar el compromiso del niño o niña desde la vivencia corporal relacionada con cada una de las dimensiones, lo que facilita el planteamiento de objetivos más claros, desde lo psicomotor; 2) Que tiene en cuenta otros aspectos como vivencias motrices; 3) Brinda un acercamiento del

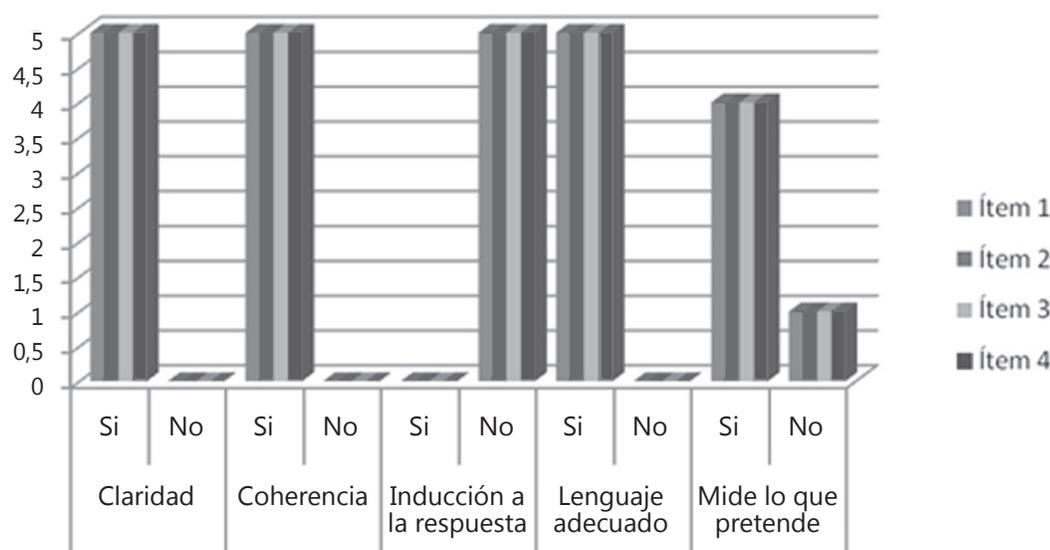


Figura 1. Dimensión 1, con relación a su propio cuerpo.

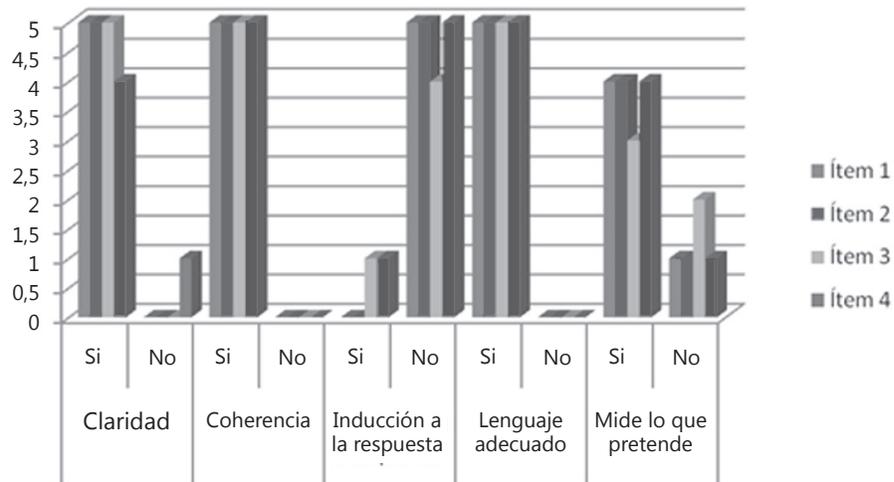


Figura 2. Dimensión 2, con relación a otras personas.

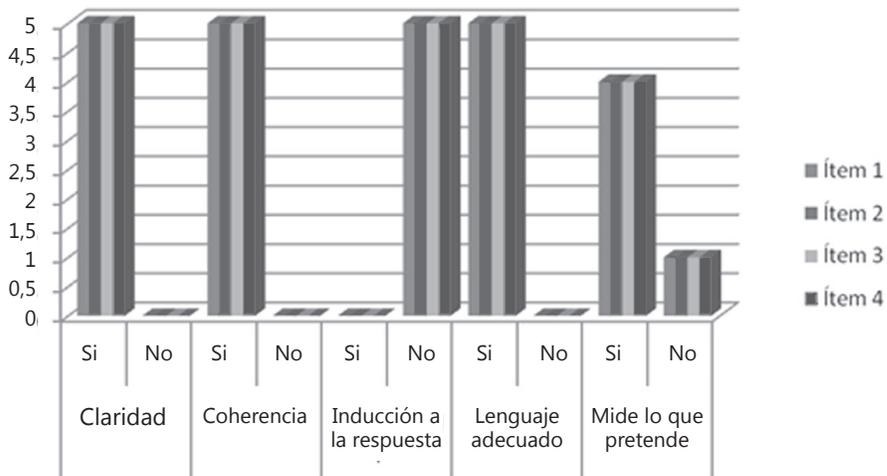


Figura 3. Dimensión 3, con relación a los objetos.

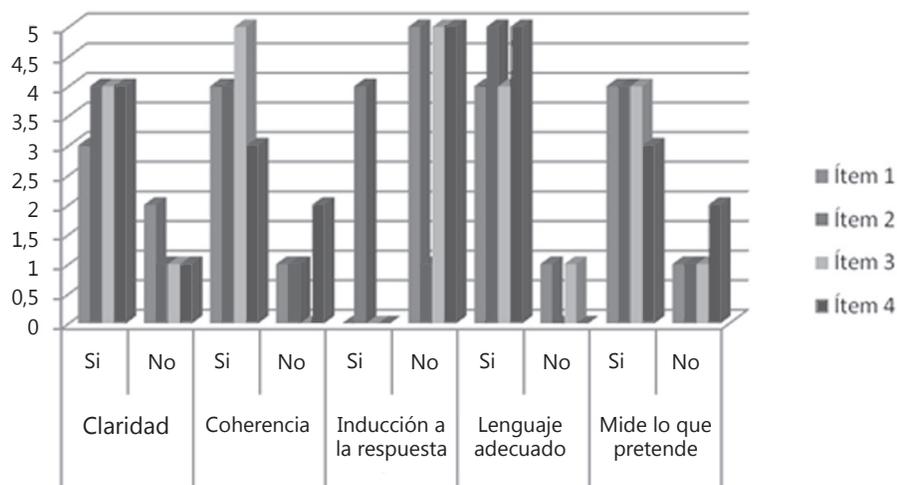


Figura 4. Dimensión 4, con relación al espacio.

Cuadro 1. Instrumento de evaluación psicomotriz a niños y niñas con TEA.

DATOS DEL EVALUADOR				
Nombre:				
Profesión:				
Sexo:				
Fecha de evaluación:				
DATOS DEL EVALUADO				
Nombre:				
Edad:				
Sexo:				
Diagnóstico:				
<p>Criterios para aplicar el instrumento La psicomotricidad vivenciada es aquella disciplina que estudia al ser humano desde su particular manera de ser y estar en el mundo, que se fundamenta en conceptos claves, como el desarrollo formativo global y la expresividad psicomotriz del niño. El niño descubre el mundo, a través de la acción sobre su cuerpo, sobre los objetos y sobre los otros, relacionándose en una forma particular con éstos, por lo que su expresividad psicomotriz se ve cargada de ellos. El presente instrumento tiene como objetivo evaluar características del desempeño psicomotor del niño respecto a la relación con su cuerpo, con las personas, con los objetos y con el espacio desde la perspectiva de la psicomotricidad vivenciada. Para ello, usted como evaluador, debe responder calificando de cero a tres, de acuerdo a la frecuencia con que observa la conducta en el niño o en la niña. Este instrumento es aplicable en el rango de edad entre los tres a los doce años. Para la aplicación de este instrumento es necesario conocer con anticipación al niño o a la niña. Para obtener datos confiables, el evaluador podrá tener en cuenta a los cuidadores y demás profesionales que brinden apoyo terapéutico, para ampliar o corroborar la información obtenida.</p>				
ÍTEMS	Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
1. Expresa con sus gestos corporales lo que le gusta o le disgusta.				
2. Cuando se enfrenta a situaciones nuevas lo expresa con sus actitudes corporales.				
3. Manifiesta sus necesidades y demandas en su vida diaria, por ejemplo: para la alimentación, para el aseo, el abrigo con sus gestos corporales.				
4. organiza sus segmentos corporales y dispone su cuerpo para la ejecución de actividades.				
ÍTEMS	Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
1. Acepta el contacto físico con otras personas.				
2. Es selectivo (a) al relacionarse con los demás.				
3. Manifiesta sentimientos de afecto y/o disgusto hacia otras personas, como sus pares, familiares, profesionales de apoyo terapéutico.				
4. Se relaciona "intencionalmente" con otras personas con las que comparte espacios. Por ejemplo: los busca para jugar o para comunicarse de alguna manera.				
ÍTEMS	Nunca	Algunas Veces	Casi siempre	Siempre
1. Muestra interés por los objetos que se le muestran alrededor.				
2 Utiliza intencionalmente los objetos teniendo en cuenta su uso.				
3 Realiza algún tipo de juego utilizando los objetos proporcionados durante las actividades.				
4 Usa los objetos para relacionarse con sus compañeros.				
ÍTEMS	Nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
1. Se integra de manera intencional y organizada al espacio durante sus actividades para cumplir con el objetivo propuesto.				
2. Explora con curiosidad los espacios por los que se mueve.				
3. Asume y se adapta a diferentes posiciones y vivencias corporales en el espacio Por ejemplo agacharse, empinarse.				
4. Manifiesta seguridad y dominio en los espacios frecuentados.				

Observaciones generales: _____

componente psicomotor desde otra perspectiva, facilitado por la observación en los diferentes contextos; 4) Presenta acople entre las cuatro dimensiones a la falta de flexibilidad mental, en medio de las vivencias cotidianas y 5) Que es coherente, práctico y sencillo y permite un buen análisis del niño (a), porque se centra en el sujeto de análisis. Con respeto, a debilidades pocas fueron las encontradas, con excepción de que los aspectos considerados son muy generales y limitados a una coordinación motora gruesa; teniendo en cuenta esta apreciación, el instrumento de evaluación no pretende determinar aspectos psicomotores precisos.

Después de cumplir, entonces, con las diversas fases metodológicas, se produjo el instrumento de evaluación final, que a continuación se presenta y representado por el cuadro 1.

Los instrumentos de evaluación psicomotriz requieren de reciprocidad, de cooperación y de comunicación entre el terapeuta y el paciente, acción entendida como el "diálogo tónico- emocional", descrito por Ajuriaguerra (1983), convirtiéndose, de alguna manera estas herramientas, en limitantes frente a dichos procesos de evaluación. En este sentido, se justifica la creación de nuevos instrumentos que posibiliten el acercamiento a las habilidades psicomotoras que podrían tener estos niños; lo anterior, se apoya en las conclusiones de los trabajos de investigación realizados por Llinares & Rodríguez (2003) y Ruiz (1999), a las habilidades psicomotoras que podrían tener estos niños.

La Psicomotricidad, se plantea, según Lapierre & Aucouturier (1974), a partir de diversos aspectos, tales como lo perceptivo, motor, intelectual y afectivo y, a su vez, cada uno de estos ha de permitir que la vivencia se desarrolle a distintos niveles: el del propio cuerpo, el del esquema corporal con relación al objeto, la relación de los objetos entre sí y las relaciones entre los miembros del grupo. De ahí surgen las dimensiones a evaluar y cada una de estas dimensiones se fundamenta en aspectos vivenciales, que pueden ser evaluados en los distintos contextos en los que niños (as) estén inmersos.

Por otra parte, las dimensiones y los aspectos a evaluar, por medio del instrumento, buscan poner al servicio la expresividad motriz del niño o niña en la cotidianidad. En muchas ocasiones, según Ruiz (1999), la intrusión del terapeuta es negativa para cualquier paciente, pero en el caso de niños y de niñas con TEA es más intolerable y, a veces, es la causa para que el niño o niña quiera retirarse del sitio donde es evaluado, según Frith (1989), pues se pone en consideración que una de las características del TEA es el pensamiento poco flexible, según Albores *et al.* (2008), entendiéndose como un fracaso a la hora de comprender cómo otros piensan y sienten y, por ende, una dificultad a la hora de prevenir el comportamiento.

Hoy en día, la escuela tiene un valor determinante en los procesos terapéuticos, sociales y de inclusión escolar en la población con algún tipo de discapacidad, ya sea sensorial, física, motora o cognitiva. Los niños integrados escolarmente, según Koegel & Koegel (1995), establecen relaciones que les brindan oportunidades de adquirir habilidades sociales y comunicativas, están constantemente expuestos a modelos de iguales, que les proporcionan vías para aprender otros aspectos positivos para su desarrollo.

Este estudio da respuesta a las perspectivas de otras investigaciones, como Albores *et al.* (2008) y Llinares & Rodríguez (2003), donde se identifica la necesidad que los niños autistas deban ser evaluados con pruebas modificadas, adaptadas o diseñadas, para que dicha población pueda mostrar, al máximo, sus capacidades y sus destrezas motrices que poseen y que no pueden ser demostradas por lo severas que suelen ser las características de su condición, ya que varios de los instrumentos de evaluación requieren de entrenamiento exhaustivo, para el uso clínico de los instrumentos, la investigación y su capacitación, de acuerdo a lo planteado por Garigardobil (1999). En la actualidad, hay un menor progreso de instrumentos de evaluación del desarrollo psicomotor infantil y algunos de ellos son muy limitados, en el número de funciones que miden, según Cruz & Mazaira (1990).

Por último, el promedio de tiempo en el empleo del instrumento estuvo en un rango de 10 a 15 minutos, a diferencias de otras escalas McCarthy (2004) y Cruz & Mazaira (1990), que oscilan en un rango de tiempo entre los 20 a 45 minutos. Pero lo más esencial de esta alternativa de evaluación es que, por medio de su divulgación internacional, se pueda recibir sugerencias para fortalecer su contenido y coherencia, lo cual, repercute en una mejor evaluación de los niños y de las niñas con Trastorno del Espectro Autista y sus familias.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara ser el único autor y que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. 2000. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. 4th ed. Arlington, U.S.A.: American Psychiatric Association; 84p.
2. AJURIAGUERRA, J. 1983. De los movimientos espontáneos al dialogo tónico postural y las actividades expresivas. Anu. Psicol. 28:7-18.

3. ALBORES, L.; HERNÁNDEZ, L.; DÍAZ, J. 2008. Dificultades en la evaluación y diagnóstico del autismo: una discusión. *Salud Mental*. 31(001):37-44.
4. AUCOUTURIER, B. 2005. Los Fantasmas de la acción y la práctica psicomotriz. Editorial GRAO de IRIF, S.L. 173p.
5. BASS, M.; DUCHOWNY, C.; LLABRE, M. 2009. The effect of therapeutic horseback riding on social functioning in children with autism. *J. Autism Dev. Disord.* 39 (9):1261-1267.
6. BETOGLIO, K.; HENDREN, R. 2009. New developments in autism. *Psichiatri. Clin. N. Am.* 32:1-14.
7. CRUZ, M.; MAZAIRA, M. 1990. EPP, Escala de Evaluación de Psicomotricidad en Preescolar. TEA Ediciones. (Madrid). 150p.
8. CURCIO, F. 1978. Sensomotor functioning and communication in mute autistic children. *J. Autism Child Schizophr.* 8(3):281-292.
9. DESLAURIERS, J. 2005. Investigación cualitativa. Guía práctica. 2ª, ed. Papiro. (Colombia). 142p.
10. DIETERICH, H. 2001. Nueva guía para la investigación científica. Ariel. (México). 229p.
11. FRITH, U. 1989. Autism: Explaining the enigma. Black Wells. (Oxford). 249p.
12. GARIGARDOBIL, M. 1999. Evaluación del desarrollo psicomotor y sus relaciones con la inteligencia verbal y no verbal. *Ridep.* 8(2):9-36.
13. KANNER, L. 1943. Autistic disturbances of affective contact. *Nerv. Child.* 2:217-250.
14. KOEGEL, R.; KOEGEL, L. 1995. Teaching children with autism: strategies for initiating positive interactions and improving learning opportunities. Paul H. Brookes. (Baltimore). 236p.
15. LAPIERRE, A.; AUCOUTURIER, B. 1974. La simbología del movimiento. Científico médica. (Barcelona). 132p.
16. LLINARES, L.; RODRÍGUEZ, J. 2003. Creciendo juntos: un acercamiento desde la educación psicomotriz a las personas con espectro autista. *Rev. Iberoam. Psicomotr. Técn. Corp* (10):10-23.
17. MCCARTHY, D. 2004. Escalas McCarthy de Aptitudes y Psicomotricidad para niños. 7ª ed. Madrid: TEA.
18. O'NEILI, M.; JONER, R.S. 1997. Sensory- perceptual abnormalities in autism: a case for more research? *J. Autism Dev. Disord.* 27(3):283-293.
19. OZERETZKI, N. 1936. Echelle Metrique du developpement de la motricité chez lenfant et l'adolescent. *Hygiene Mentale.* 3:53-75.
20. PFEIFFER, B.; KOENIG, K.; KINNEALEY, M.; SHEPPARD, M.; HENDERSON, L. 2011 Effectiveness of sensory integration interventions in children with autism spectrum disorders: a pilot study. *Am. J. Occup. Ther.* 65(1):76-85.
21. KIELINEN, M.; RANTALA, H.; TIMONEN, E.; LIISA, S.; MOILANEN, I. 2009. Associated medical disorders and disabilities in children withautistic disorder. *Autism.* 8(1):49-60.
22. RIVIÈRE, A. 2001. El Autismo y los Trastornos Generalizados del Desarrollo. En: Palacios J, Marchesi A, Coll C. (eds). *Desarrollo Psicológico y Educación.* Alianza Editorial Madrid. (España). p.329-60.
23. PAN, C. 2010. Effects of water exercise swimming program on aquatic skills and social behaviors in children with autism spectrum disorders. *Autism.* 14(1):9-28.
24. ROSENBLATT, L.; GORANTLA, S.; TORRES, J.A.; YARMUSH, R.S.; RAO, S.; PARK, E.R.; FRICCHIONE, G.L.; BERNSTEIN, B.; LEVINE, J.B. 2011. Relaxation response-based yoga improves functioning in young children with autism: a pilot study. *J. Altern. Compl. Med.* 17(11):1029-1035.
25. RUFFMAN, T.; GARNHAM, W.; RIDEOUT, P. 2001. Social understanding in autism: eye gaze as a measure of core Insights. *J. Child Psychol. Psychiatry.* 42(8):1083-1194.
26. RUIZ, R. 1999. Teoría y técnica de la terapia en niños autistas. En: Prego L. ed. *Autismo revisando conceptos.* Ediciones Trilce. (Uruguay). p.142-157.
27. SCHOPLER, E.; REICHLER, R.J. 1979. *The Psychoeducational Profile (PEP).* University Park Press. (Baltimore). 150p.
28. TUSTIN, F. 1981. Estados autísticos de los niños. Amorrortu. Buenos Aires. 304p.

29. VALDÉS, A. 1997. De la psicomotricidad a la psicomotricidad relacional. UC Maule. 22:35-44. Recibido: Febrero 23 de 2013
Aceptado: Octubre 15 de 2013

Como citar:

Álvarez Toro, L.J. 2013. Instrumento de psicomotricidad vivenciada para niños y niñas autistas. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 343-350.

EFICIENCIA DE DOS MÉTODOS PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DEL POLEN DE BERENJENA (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla)

EFFICIENCY OF TWO METHODS FOR EGGPLANT (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla) POLLEN VIABILITY EVALUATION

Hermes Araméndiz-Tatis¹, Carlos Cardona- Ayala², Alfredo Jarma-Orozco³

¹ I.A. Ph.D., Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería. Colombia, haramendiz@hotmail.com; ² I.A. M.Sc. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, ccardonaayala@yahoo.com; ³ I.A. Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Ciudad Universitaria Carrera 6 No. 76-103. Código Postal: 354. Montería – Colombia, ajarma24@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 351-358, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La viabilidad del polen influye en la producción y en la calidad de frutos de las especies cultivadas. Su estudio es necesario en los programas de mejoramiento, especialmente, cuando se pretende producir cultivares híbridos. La investigación, se realizó en Montería, Departamento de Córdoba, Colombia, con el propósito de comparar la eficiencia de dos métodos para evaluar la viabilidad del polen de berenjena (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla) —germinación *in vitro* y sal de tetrazolio-, bajo condiciones tropicales, y determinar su uso potencial, para la producción de semilla híbrida. La prueba de viabilidad con la sal de tetrazolio mostró que la concentración de 0,25% permite diferenciar, cualitativa y cuantitativamente, los granos de polen viables y, además, acusó disminución lineal significativa por cada unidad porcentual de la concentración de la sal. Con el método *in vitro*, el incremento lineal fue significativo por cada hora de incubación. Ambos métodos resultaron confiables, para estimar la viabilidad del polen en el cultivar estudiado, con la salvedad de la concentración de tetrazolio.

Palabras clave: Respiración del polen, floración, tetrazolio, germinación *in vitro*.

SUMMARY

Pollen viability influences the production and fruit quality of cultivated species. Its study is necessary in breeding programs, especially when trying to produce hybrid cultivars. The research was carried out at Montería, Córdoba, Colom-

bia, in order to compare the efficiency of two methods for assessing pollen viability of the eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla): *in vitro* germination and tetrazolium salt- under tropical conditions, and to determine its potential use in hybrid seed production. The viability test with the tetrazolium salt showed that the concentration of 0.25% allows differentiating, qualitatively and quantitatively, viable pollen grains, and it also presented significant linear decrease per unit of concentration of salt. In the *in vitro* method, the linear increase was significant for each hour of incubation. Both methods were reliable for estimating pollen viability in the cultivar studied.

Key words: Pollen respiration, flowering, tetrazolium, *in vitro* germination.

INTRODUCCIÓN

En el Caribe colombiano, la producción de berenjena se realiza durante todo el año con variedades, cuyos rendimientos no superan las 10t·ha⁻¹, lo que afecta la competitividad y la posibilidad de incursionar en mercados internacionales (Agronet, 2011). La baja productividad obedece a factores que afectan el potencial de producción y la calidad de fruto, tales como floración deficiente, aborto de flores y la malformación de frutos, a causa de las oscilaciones de humedad relativa (79% a 99%), número de horas luz inferiores a siete y valores altos de temperatura ambiental (24°C a 30°C), que inciden en la microsporogénesis y germinación del grano de polen (Araméndiz *et al.* 2007). Esto constituye un problema, si se pretende acceder a mercados altamente demandantes

y exigentes, como Estados Unidos y Canadá (Araméndiz *et al.* 2008), de manera que, volumen, calidad y trazabilidad, resultan relevantes para el aprovechamiento de los tratados comerciales, presentes y futuros. Ante este escenario, el uso de semilla híbrida representa una alternativa para mejorar los indicadores de rendimiento y de calidad de fruto.

El almacenamiento del polen es de gran importancia en los programas de mejoramiento genético, cuando los padres difieren en su etapa reproductiva, ya que permite la sincronía artificial, con fines de hibridación para la producción de semilla híbrida, con características genéticas favorables presentes en parentales; en tales casos, el polen podría ser utilizado en cualquier momento para polinización artificial, como también para complementar la acción de agentes polinizadores (Bettiol Neto *et al.* 2009).

La viabilidad del polen puede ser medida, a través de diferentes técnicas. Estas pueden ser agrupadas en métodos directos *in vitro* (Gomes *et al.* 2003; Pio *et al.* 2007) e *in vivo* (Oliveira *et al.* 2001) y métodos indirectos, basados en parámetros ecológicos, como el color de la reacción bioquímica (Dafni, 1992).

La prueba de tinción con sales de tetrazolio pertenece al grupo de las pruebas citológicas, cuya característica es entregar una indicación colorimétrica de la actividad metabólica de los granos de polen luego de su rehidratación, permitiendo estimar la viabilidad del polen (Astudillo, 2006). Estas pruebas tiñen los constituyentes específicos de los granos de polen maduros, almidón y calosa, en particular, gracias al azul de anilina o al yoduro de potasio (Dumas *et al.* 1984) y la pared y el protoplasma, simultáneamente (Alexander, 1969). Además, pueden indicar la presencia de enzimas funcionales, como peroxidasa, esterasa y deshidrogenasa (Iborra *et al.* 1992).

Considerando lo antes anotado, el objetivo de la presente investigación fue comparar la eficiencia de dos métodos para evaluar la viabilidad del polen de berenjena (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla), bajo condiciones tropicales y suministrar información valiosa para su uso potencial en la producción de semilla híbrida.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material experimental, se obtuvo en la vereda "Garzones", del municipio de Montería, Colombia, ubicada a 13 m.s.n.m. y coordenadas geográficas de 8° 44' de latitud norte y 75° 33' de longitud oeste. En abril de 2011, se colectó polen de berenjena del cultivar regional "Lila criolla", a partir de botones florales en pre-antesis, en horas de la mañana (7:00 a.m. a 8:00 a.m.). Se almacenó, inicialmente, en bolsas de papel y se transportó en nevera de polietileno expandido, al

Laboratorio de Genética y Fitomejoramiento de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Córdoba. Para la extracción del polen de los botones florales, se usó un vibrador eléctrico, siguiendo las indicaciones de Araméndiz *et al.* (2008). Las condiciones ambientales del día de recolección del polen fueron: 27,3°C de temperatura, 81,0% de humedad relativa, 2,8 horas de brillo solar y 7,0mm de precipitación.

Prueba de la sal de tetrazolio: para evaluar la calidad del polen, se llevó a cabo un experimento con la sal de tetrazolio, diluida en agua destilada, a las concentraciones de 0,25%; 0,50%; 0,75% y 1,0%. El efecto de la sal de tetrazolio, se evaluó sobre 250 granos de polen contenidos en cinco tubos eppendorf, los cuales, fueron cubiertos con una lámina de aluminio. Cada unidad experimental estuvo conformada por 50 granos de polen. Una vez aplicada la sal de tetrazolio, se agitaron los tubos durante 20 segundos, para un mejor contacto entre los granos de polen y la solución, siguiendo la metodología de França Neto *et al.* (2009); luego, se colocaron en una incubadora a 25°C, durante 24 horas.

Las variables respuesta consideradas en la investigación fueron el color de la masa en el microtubo a simple vista; el color de los granos de polen observados al microscopio óptico a 10x; el color de los granos de polen visualizados en el computador, después de ser puestos en papel filtro, usando lentes de aumento 0,5x y registros fotográficos, utilizando una cámara Visca Visión modelo DV-2B acoplada al microscopio y el porcentaje de polen viable (obtenido por la relación entre el número de granos de polen viables y el total de cada tratamiento). Es importante resaltar que los granos de polen viables registran coloración roja, en tanto que los no viables, acusan ausencia de coloración.

Prueba de evaluación *in vitro*: Para determinar la viabilidad del polen en condiciones *in vitro*, se utilizó el medio de cultivo de Reddy & Kakani (2007), constituido por 100g de sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁), 500mg de nitrato de calcio [Ca (NO₃)₂. 4H₂O], 120mg de sulfato de magnesio (MgSO₄), 100mg de nitrato de potasio (KNO₃) y 120mg de ácido bórico (H₃BO₃), disueltos en 1000 ml de agua destilada. Posteriormente, se le agregó 10g de agar y el pH fue ajustado a 6,0.

El medio de cultivo (28mL) fue vertido en cajas de Petri de vidrio de 9,0cm de diámetro. Previo a su dispersión en el medio de cultivo, con el uso de un pincel, los granos de polen fueron rehidratados durante dos horas en cámara húmeda, a temperatura ambiente, para la restauración de lípidos en las membranas celulares (França Neto *et al.* 2010), facilitando su germinación. La temperatura de incubación fue de 25°C, por ocho horas, con lecturas cada dos, de acuerdo a la metodología propuesta por Guler *et al.* (1995).

Se tomaron cinco campos ópticos al azar por repetición,

para el conteo de polen. Un grano de polen, se consideró germinado, cuando el tubo polínico registró una longitud mayor o igual al diámetro del grano de polen, siguiendo las indicaciones de Singh & Shono (2003), França Neto *et al.* (2009) y Suárez *et al.* (2010).

Las variables de respuesta fueron la longitud del tubo polínico (mm), el diámetro del grano de polen (mm), el número de granos de polen viables y el porcentaje de granos de polen germinados, sobre la base de 50 granos tomados al azar por repetición. Éste, se definió por la relación entre el número de granos de polen germinados en cada campo óptico y total de granos de polen en el mismo, de acuerdo a Sorkheh *et al.* (2011). Para las observaciones, conteo y fotografía de los granos de polen germinados, se utilizó un estereoscopio óptico Carl Zeiss, Stani 2000-C, con aumento de 4x, acoplado a una cámara fotográfica Canon Power Shot G10, con visualización en un monitor Philips. Las mediciones, se realizaron utilizando el Software Analizador de Imagen Carl Zeiss, AxioVision 4.3.

Para la prueba de evaluación *in vitro*, se utilizaron cinco tiempos de incubación: 2, 4, 6 y 8 horas. El efecto del tiempo de incubación, en el medio de cultivo, sobre la viabilidad del polen, se evaluó sobre los granos de polen, contenidos en cinco cajas de petri (unidades experimentales). La estructura del diseño de tratamientos es de gradiente, por lo que las estimaciones se hicieron mediante análisis de regresión.

Como complemento, se empleó la prueba de Tukey al 5%. Se analizaron los datos con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Viabilidad del polen con la prueba del tetrazolio: El análisis cualitativo para determinar la viabilidad del polen de berenjena (Figura 1), mostró respuesta diferencial a las concentraciones de la sal de tetrazolio, en las condiciones que se realizó el estudio. A concentraciones mayores a 0,25%, los granos de polen presentaron tonalidad de roja muy tenue, lo que según Ilgin *et al.* (2007), se pueden calificar como semiviables y se explica por la escasa reducción de la sal de tetrazolio a formazán, por acción de las enzimas deshidrogenasas en las células constituyentes de los granos de polen (Delouche *et al.* 1976). Ello coincide con lo reportado por França Neto *et al.* (2009), quienes a concentraciones de 0,5% y 1,0% reportaron coloración blanca y muy oscura de los granos de polen, para la primera y la segunda concentración, en el cultivar híbrido de berenjena Ciça, lo que conduce a evaluaciones inadecuadas, ya que dichas concentraciones afectan la actividad de la deshidrogenasa.

La concentración de 0,25% de sal de tetrazolio fue la mejor para identificar granos de polen viables (Figura1), cuya condición está relacionada con la alta humedad relativa (81%) y temperatura del ambiente (22°C), al momento de la co-

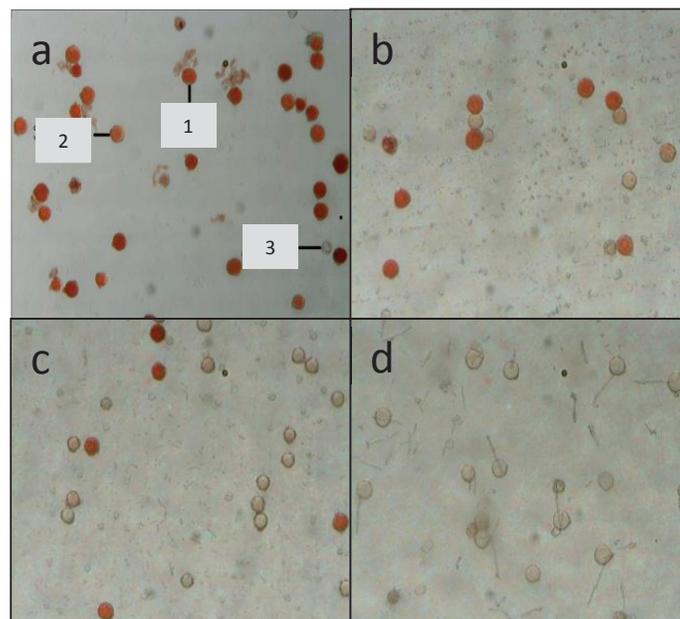


Figura 1. Polen de berenjena (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla) sometido a la prueba de tetrazolio, a 0,25% (a); 0,50% (b); 0,75% (c) y 1,0% (d). Al 0,25% de concentración (a), se observan las coloraciones de granos de polen considerados como viable (1), con viabilidad limitada (2) e inviable (3). Imagen al microscopio en 10x.

lecta, lo que según Bonaventure (1999) son dos aspectos fundamentales para la polinización y la fecundación. La sal de tetrazolio reacciona con el hidrógeno, producto de la respiración celular, al entrar en contacto con tejidos vivos y vigorosos y facilita la coloración lenta y uniforme de color rojo, por lo que se considera un método colorimétrico confiable, que suministra resultados semejantes a los estimados, a través de métodos *in vitro* (Munhoz *et al.* 2008; Gaspar – Oliveira *et al.* 2010).

Las concentraciones de 0,50%, 0,75% y 1,0% (Figura 1) afectan la uniformidad y la distribución del color rojo, que resulta mucho más claro, por la poca reducción de la sal de tetrazolio a formazán por las enzimas deshidrogenasas (Delouche *et al.* 1976) y concuerda con lo reportado por Barros *et al.* (2005), en semillas de *Cucurbita pepo* y Bhering *et al.* (2005), en semillas de *Citrullus lanatus*. Estos últimos autores indican que los tejidos vigorosos, cuando son sometidos a altas concentraciones, en vez de registrar un color rojo intenso, acusan una coloración rojo tenue, por la poca actividad de las enzimas deshidrogenasas.

Contrariamente, en semillas de leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.), en las cuales, se evaluó la respuesta a tres concentraciones de tetrazolio, Costa & Santos (2010) observaron que, bajo la concentración de 1,0%, los tejidos asumen un color rojo intenso. Esto dificulta la valoración de las semillas, siendo ideal el tratamiento de 0,15%, por un tiempo de dos a cuatro horas.

El color rojo intenso, se relaciona con polen viable. En las coloraciones rojo tenue y muy tenue, el polen presenta una viabilidad limitada y los granos sin color son inviables, de acuerdo a la guía la técnica utilizada por ISTA (1996), para análisis de viabilidad de semillas agrícolas. De acuerdo a lo observado en el presente trabajo (Figura 1), la concentración de tetrazolio más adecuada para evaluar la viabilidad de polen de berenjena es la de 0,25%, ya que presentó una mejor reacción bioquímica, obteniéndose una coloración roja bien definida de los granos de polen viables; sin embargo, França Neto *et al.* (2009) reportaron el valor de 0,75%, señalando

que la tinción del polen al 1% fue demasiado oscura y al 0,5% clara, lo que puede obedecer al genotipo y a las condiciones ambientales de colecta. Reportan, además, que la mayoría de los granos de polen resultaron incoloros, cuando se observaron al microscopio, bajo lupa y en papel, a la concentración de 0,5%. Esto corrobora lo anotado por Barros *et al.* (2005) y Bhering *et al.* (2005), en el sentido de que las altas concentraciones de sal de tetrazolio afectan la coloración roja normal, arrojando conclusiones ambiguas, en razón a que granos de polen abortados pueden presentar coloración semejante a la de los granos viables (Heslop-Harrison & Heslop-Harrison, 1970).

El porcentaje de granos de polen viables presentó respuesta lineal negativa altamente significativa, con respecto a las concentraciones de tetrazolio (0,25%, 0,50%, 0,75% y 1,0%). En la ecuación estimada $Y = 53 - 43,84X$, ($R^2 = 54,35\%$), el porcentaje de granos de polen viable disminuye en 43,84% por cada centésima porcentual de concentración de la sal de tetrazolio, en el rango de concentración probado.

El análisis de varianza para el porcentaje de granos de polen viable registró diferencias altamente significativas, entre las concentraciones de tetrazolio.

La prueba de comparación de medias (Tabla 1) corrobora que la concentración de 0,25% resultó ser el mejor tratamiento para cuantificar el porcentaje de granos de polen viable, con un 42,80%, hecho que concuerda con la valoración cualitativa realizada en los tubos Eppendorf, coloración en el papel y microscopio óptico en 10x, donde se registró una declinación en la coloración, cuando se incrementó la concentración de la sal de tetrazolio. Esto indica que la viabilidad del polen es afectada por la sal, ya que una mayor absorción de la misma puede causar daño en los tejidos vivos, por una alta actividad respiratoria.

Viabilidad del polen bajo condiciones de germinación *in vitro*: La tabla 2 resalta las regresiones lineales estimadas para la germinación de los granos de polen en condiciones *in vitro*, en función del tiempo de incubación. Las ecuacio-

Tabla 1. Valores medios para el porcentaje de granos de polen viable (%GPV) sometidos a diferentes concentraciones de tetrazolio.

Concentración de tetrazolio (%)	(%) GPV
0,25	42,80 a*
0,50	32,00 b
0,75	16,00 b
1,00	11,60 b

* Medias con la misma letra no difieren significativamente, prueba Tukey al 5%.

nes que explican el comportamiento de la longitud del tubo polínico (LTP), número de granos de polen viables (GPV) y no viables (GPNV) y porcentaje de granos de polen viables (%GV), resultaron ser altamente significativas. Para el diámetro del grano de polen (DGP), la regresión lineal resultó no significativa, por lo que no pudo ser explicado satisfactoriamente, dada la magnitud de su coeficiente de determinación (Tabla 2).

El porcentaje de granos de polen viable *in vitro*, se ajustó a un modelo de regresión lineal altamente significativa y destaca incrementos del 4,75%, por cada hora de incubación. Este efecto, se podría atribuir al calcio y a los iones de hi-

drógeno, que juegan un papel importante en el crecimiento y en la orientación del tubo polínico, como lo reportado por Michard *et al.* (2008), destacando el rol importante de estos elementos en la actividad respiratoria. Estos valores, se consideran superiores a los reportados por França Neto *et al.* (2010), quienes después de cuatro horas registraron ausencia de germinación, logrando un 66,0% a las 24 horas de incubación, dado que a medida que transcurre el tiempo, se incrementa el porcentaje de germinación de los granos de polen, hasta un punto máximo, después, del cual, decrece hasta hacerse nulo, por declinación de la respiración (Karapanos *et al.* 2009).

Tabla 2: Ecuaciones de regresión lineal simple estimadas en función del tiempo para las variables longitud del tubo polínico (LTP), granos de polen viables (GPV), granos de polen no viables (GPNV), porcentaje de granos viables (%GPV) y diámetro de grano de polen (DGP), con el método de germinación *in vitro* en *Solanum melongena* L. cv. Lila criolla.

VARIABLE	ECUACIÓN	R ²	CV
LTP	$Y=0,220+0,041X^{**}$	60,69	18,64
GPV	$Y=18,25+2,5X^{**}$	60,31	15,76
GPNV	$Y=31,75-2,5X^{**}$	60,31	25,10
%GPV	$Y=36,50+4,75X^{**}$	59,55	15,53
DGP	$Y=0,05 - 0,0007X^{n.s.}$	17,98	7,77

La longitud del tubo polínico presentó respuesta lineal altamente significativa, según, la cual, el crecimiento del tubo polínico es de 0,041mm por cada hora de incubación, en el periodo de 8 horas de duración de la prueba. Tal crecimiento es relativamente lento para la fecundación, ante una posible similitud del tejido conductor del estilo con la composición del medio de cultivo utilizado, ya que una demora considerable para la cariogamia en el saco embrionario del rudimento seminal, podría conducir a la degradación del ovario (Sharafi 2011), afectándose la calidad de fruto y el rendimiento (Karapanos *et al.* 2009).

La tasa de crecimiento en longitud del tubo polínico, estimada en el presente estudio, es inferior a las registradas por Figueroa-Castro & Holtsford (2009), en *Nicotiana longiflora* y *N. plumbaginifolia*, quienes después de 12 horas de incubación encontraron valores entre $0,39 \pm 0,06\text{mm/h}$ y $0,70 \pm 0,08\text{mm/h}$, respectivamente, siendo además superiores para polen derivado de polinización cruzada que por autofecundación. Esto se explica por mecanismos de post-polinización, que favorecen el crecimiento del tubo polínico, que no garantizan éxito en la fecundación, dada la existencia de mecanismos pre - zigóticos, como la interacción entre el estilo y el grano de polen, que pueden favorecer o inhibir el crecimiento del tubo polínico (Erbar, 2003; Kruszewski & Galloway, 2006).

El diámetro del tubo polínico no registró regresión significativa en los modelos polinómico, logarítmico y exponencial probados, por lo que el crecimiento diametral permanece prácticamente constante, mientras crece en longitud. No se observó un crecimiento diferencial entre estos dos tipos de crecimiento alométrico, que puede estar influenciado por la concentración variable de calcio y de magnesio (Gass *et al.* 2005; Karapanos *et al.* 2006).

El análisis de regresión para el número de granos de polen viables mostró respuesta lineal significativa, indicando una reducción de 2,5 granos de polen por cada hora de incubación, en el medio de cultivo; lo que indica, que las reservas de energía endógena en los granos de polen son suficientes para mantener una tasa respiratoria, que garantiza la viabilidad de los mismos. De forma similar, Karapanos *et al.* (2009) encontraron que en tomate tal tasa respiratoria decrece después de ocho horas de período de incubación. Al respecto, Soares *et al.* (2008) y França Neto *et al.* (2009) señalan que el azúcar en el medio de cultivo debe proveer un balance osmótico entre la solución y la germinación del grano de polen, con el fin de suministrar la energía necesaria, para el crecimiento del tubo polínico, simulando el ovario de la planta.

Los anteriores resultados confirman que el método de germinación *in vitro* da una aproximación mucho más cercana a lo que ocurre en realidad (La Porta & Roselli 1991), puesto que este medio de cultivo simula el exudado estigmático y proporciona un sustrato para que la germinación del polen, se lleve a cabo. Posteriormente, el conteo de los tubos polínicos y su longitud aseguran que los granos de polen están vivos y que están ocurriendo procesos metabólicos en ellos.

Los dos métodos aquí evaluados son útiles para estimar la calidad del polen de berenjena. La concentración de tetrazolio al 0,25% permite identificar la viabilidad de granos de polen bajo las condiciones en que fue realizado el estudio. El porcentaje de germinación de granos de polen, la longitud del tubo polínico y los granos de polen viables, determinados a través del método *in vitro*, acusaron respuesta lineal en las primeras ocho horas de incubación, por lo que este método resulta confiable para evaluar la viabilidad polínica en ambientes tropicales. El polen fresco presenta características de vigor, de viabilidad y de longevidad en las primeras ocho horas de colecta, que garantizan su calidad para la hibridación artificial.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BILBIOGRAFÍA

1. AGRONET. 2011. Área cosechada, producción y rendimiento de berenjena 1997-2010. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible desde Internet en: <http://www.agronet.gov.co> (con acceso: 31/10/2011).
2. ALEXANDER, M.P. 1969. Differential staining of aborted and non aborted pollen. *Stain Techn.* (USA). 44(3):117-122.
3. ARAMÉNDIZ, H.; CARDONA, C.; JARMA, A.; ESPITIA, M. 2008. El cultivo de la Berenjena (*Solanum melongena* L.). 1ª ed. Bogotá, Ed. Produmedios. 152p.
4. ARAMÉNDIZ, H.; CARDONA, C.; JARMA, A.; ROBLES, J.; MONTALVAN, R. 2007. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). *Agr. Col.* 25(1):104-112.
5. ASTÚDILLO, M.J. 2006. Evaluación de métodos de conservación de polen sometido a distintos tiempos de almacenaje de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Ed. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 54p.
6. BARROS, D.I.; DIAS, D.C.F.S.; BHERING, M.C., DIAS, L.A.S.; ARAÚJO, E.F. 2005. Uso do teste de tetrazolium para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de abobrinha (*Cucurbita pepo* L.). *Rev. Bras. Sementes.* 27(2):165-172.
7. BETTIOL NETO, J.E.; DEL NERO, M.; KAVAT, R.; PINTO-MAGLIO, C. 2009. Viabilidade e conservação de pólen de três anonas comerciais. *Bragantia* (Brasil). 68(4):825-837.
8. BHERING, M.C.; DIAS, D.C.; BARROS, D.I. 2005. Adequação da metodologia do teste de tetrazolium para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de melancia. *Rev. Bras. Sementes.* 27(1):176-182.
9. BONAVENTURE, L. 1999. A cultura da cherimólia e de seu híbrido a atemóia. São Paulo, Ed. Nobel. 181p.
10. COSTA, C.; SANTOS, C. 2010. Teste de tetrazólio em sementes de leucina. *Rev. Bras. Sementes.* 32(2):66-72.
11. DAFNI, A. 1992. *Pollination ecology: a practical approach (the practical approach series)*. Oxford University Press. New York. 250p.
12. DELOUCHE, T.; STILL, W.; RASPET, M.; LIENHARD, M. 1976. Prueba de viabilidad de la semilla con tetrazol. Brasília, DF. Agiplan. 103p.
13. DUMAS, C.; DUPLAN, J.C.; GAUDE, T.; SAID, C. 1984. Cytologie et physico-chimie, deux approches complémentaires pour tester la viabilité pollinique. *Versailles.* 27-30 sept 1983. Les colloques de l'INRA. 21:415-421.
14. ERBAR, C. 2003. Pollen tube transmitting tissue: place of competition of male gametophytes. *Int. J. Plant Sci. (USA).* 164:S265-S277.
15. FIGUEROA-CASTRO, D.; HOLTSFORD, T.P. 2009. Post-pollination mechanisms in *Nicotiana longiflora* and *N. plumbaginifolia*: pollen tube growth rate, offspring paternity and hybridization. *Sexual Plant Reprod. (USA).* 22(3):187-196.
16. FRANÇA NETO, L.V.; NASCIMENTO, W.; CARMONA R., DE FREITAS, R. 2010. Tolerância à dessecação de pólen de berinjela. *Rev. Bras. Sementes.* 32(1):53-59.

17. FRANÇA NETO, L.V.; NASCIMENTO, W.; CARMONA, R.E.; DE FREITAS, R. 2009. Viability of eggplant pollen. *Crop Breeding Appl. Biotechn. (Brasil)*. 9(4):320-327.
18. GASS, N.; GLAGOTSKAIA, T.; MELLEMA, S.; STUURMAN, J.; BARONE, M.; MANDEL, T.; ROESSNER-TUNALI, U.; KUHLEMEIER, C. 2005. Pyruvate decarboxylase provides growing pollen tubes with a competitive advantage in *Petunia*. *The Plant Cell (USA)*. 17(8):2355-2368.
19. GASPAR-OLIVEIRA, M.C.; MARTINS, C.CH.; NAKAGAWA, J. 2010. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) pelo teste de tetrazólio. *Rev. Bras. Sementes*. 32(1):186-196.
20. GOMES, P.R.; RASEIKA, M.C.B.; BAUDET, L.L.; PESKE, S.T. 2003. Armazenamento de grão de pólen de cebola (*Allium cepa* L.). *Rev. Bras. Sementes*. 25(1):14-17.
21. GÜLER, H.Y.; ABAK, K.; ETI, S. 1995. Method, medium and incubation time suitable for in vitro germination of eggplant (*S. melongena*) pollen. *Acta Hort. (Bélgica)*. 412:99-105.
22. HESLOP-HARRISON, J.; HESLOP-HARRISON, Y. 1970. Evaluation of pollen viability by enzymatically induced fluorescence; intracellular hydrolysis of fluorescein diacetate. *Stain Techn.* 45(3):115-120.
23. IBORRA, J.L.; GUARDIOLA, J.; MONTANER, S.; CANOVAS, M.; MANJON, A. 1992. 2, 3, 5 Triphenyltetrazolium chloride as a viable assay for immobilized plant cells. *Biotechn. Techn. (Reino Unido)*. 6(4):319-322.
24. ILGIN, M.; ERGENOGLU, F.; CAGLAR, S. 2007. Viability, germination and amount of pollen in selected caprifig types. *Pak. J. Bot. (Pakistan)*. 39(1):9-14.
25. INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). 1996. International Rules For Seed Testing. .Adopted at the Twenty – Fourth International Seed Testing Congress, Denmark 1995, to become effective on 1 July 1996. Zurich, Switzerland. 335p.
26. KARAPANOS, I.C.; AKOUMIANAKIS, K.A.; OLYMPIOS, C.M.; PASSAM, H.C. 2009. The effect of substrate, ADP and uncoupler on the respiration of tomato pollen during incubation *in vitro* at moderately high temperature. *Sexual Plant Reprod.* 22(3):133-140.
27. KARAPANOS, I.C.; AKOUMIANAKIS, K.A.; OLYMPIOS, C.M.; PASSAM, H.C. 2006. The influence of gelling agent purity and ion additions on *in vitro* tomato pollen germinability and pollen tube growth on semi-solid substrates. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 87(2):181-190.
28. KRUSZEWSKI, L.J.; GALLOWAY, L.F. 2006. Explaining outcrossing rate in *Campanulastrum americanum* (Campanulaceae): geitonogamy and cryptic self-incompatibility. *Int. J. Plant Sci.* 167(3):455-461.
29. LA PORTA, N.; ROSELLI, G. 1991. Relationship between pollen germination in vitro and fluorochromatic reaction in cherry clone F12/1 (*Prunus avium* L.) and some of its mutants. *J. Hort. Sci. & Biotechn. (Reino Unido)*. 66(2):171-175.
30. MICHARD, E.; DIAS, P.; FEIJÓ, J.A. 2008. Tobacco pollen tubes as cellular models for ion dynamics: improved spatial and temporal resolution of extracellular flux and free cytosolic concentration of calcium and protons using pHluorin and YC3.1 CaMeleon. *Sexual Plant Reprod.* 21(3):169-181.
31. MUNHOZ, M.; FERNANDES, C.; MEISSNER, P.; BARTH, O.; REINERT, F. 2008. Viabilidade polínica de *Cariaca papaya* L.: uma comparação metodológica. *Rev. Bras. Bot.* 31(2):209-214.
32. OLIVEIRA, M.S.P.; MAVES, M.M.; KALUME, M.A.A. 2001. Viabilidade de pólen *in vivo* e *in vitro* em genótipos de açaizeiro. *Acta Bot. Bras.* 15(1):27-33.
33. PIO, L.A.S.; RAMOS, S.D.; PASQUAL, M.; JÚNQUEIRA, K.P.; SANTOS, F.C.; RUFINI, J.C.M. 2007. Viabilidade do pólen de laranjas doces em diferentes condições de armazenamento. *Ciência e Agrotecn. (Brasil)*. 31(1):147-153.
34. REDDY, K.R.; KAKANI, V.G. 2007. Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by *in vitro* pollen germination and pollen tube length. *Sci. Hort.* 112(2):130-135.
35. SAS, 2008. Statistical Analysis System, Institute Inc. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC. 7880p.
36. SHARAFI, Y. 2011. An investigation on the pollen germination and tube growth in some *Prunus persica* genotypes and cultivars. *Afr. J. Microbiol. Res. (Sudáfrica)*. 5(14):2003-2007.

37. SINGH, I.; SHONO, M. 2003. Effect of 24-epibrassinolide on pollen viability during heat-stress in tomato. *Indian J. Experim. Biol.* 41(2):174-176.
38. SOARES, T.; OLIVEIRA, S.; CARVALHO COSTA, M.A.; SANTOS-SEREJO, J.; SOUZA, A.; MORAIS LINO, L.; SOUZA, E.; JESUS, O. 2008. *In vitro* germination and viability of pollen grains of banana diploids. *Crop Breed. Appl. Biotechn.* 8(2):111-118.
39. SORKHEH, K.; SHIRAN, B.; ROUHI, V.; KHODAMBASHI, M. 2011. Influence of temperature on the *in vitro* pollen germination and pollen tube growth of various native Iranian almonds (*Prunus L. spp.*) species. *Trees (Canada)*. 25(5):809-822.
40. SUÁREZ, L.; CASTILLA, Y.; HERNÁNDEZ, M.; SALOMÓN, J.; ESTÉVEZ, A.; CÉSPEDES, O.; ARAUJO, B. 2010. Efecto del PECTIMORF® en la germinación *in vitro* del polen de papa (*Solanum tuberosum*). *Temas Cienc. Tecn. (Cuba)*. 14(40):43-46.
- Recibido: Enero 23 de 2013
Aceptado: Agosto 24 de 2013

Como citar:

Araméndiz-Tatis, H.; Cardona -Ayala, C.; Jarma-Orozco, A. 2013. Eficiencia de dos métodos para evaluar la viabilidad del polen de berenjena (*Solanum melongena* L. cv. Lila criolla). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 351-358.

ACTIVIDAD POLINIZADORA Y PREFERENCIA FLORAL DE *Bombus* spp. (HYMENOPTERA: APIDAE) PRESENTES EN UNA CERCA VIVA

POLLINATION ACTIVITY AND FLORAL PREFERENCES OF *Bombus* spp. (HYMENOPTERA: APIDAE) PRESENT IN A HEDGE

Lorena Téllez-Farfán¹; Francisco J. Posada-Flórez²

¹ Estudiante de Ciencias Ambientales. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., Colombia. tlezlorena@gmail.com; ² Ing. Agrónomo, Entomólogo Ph.D. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, hasta junio de 2012, fjavierposada@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 359-367, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Las especies de *Bombus* son agentes polinizadores de plantas en la agricultura y de la flora silvestre y contribuyen con este servicio a la producción de alimentos y al mantenimiento de la biodiversidad. Por esto es importante realizar investigaciones para conocerlos, conservarlos y aprovecharlos, en programas de polinización. Este estudio, se realizó en predios de la U.D.C.A, localizada al norte de la Sabana de Bogotá, Colombia y tuvo como objetivo identificar las especies de *Bombus* que visitan el campus universitario, registrar los horarios en que presentan mayor actividad de visita a las flores y reportar cómo esta actividad es afectada por los cambios de la temperatura ambiental. Adicionalmente, se determinó la flora y se registró el número de visitas realizadas a las flores. Se detectaron dos especies de *Bombus*: *B. robustus* y *B. atratus*, siendo *B. atratus* la más abundante en el campus universitario. Los registros mostraron dos picos de actividad a temperaturas, que oscilaron entre 16 y 19°C. En relación con la flora visitada, se detectaron 18 especies visitadas por ambas especies de *Bombus*, siendo el trébol rojo, *Trifolium pratense* (Fabaceae), la especie que presentó el mayor número de visitas.

Palabras clave: Actividad en campo, *Bombus atratus*, condiciones ambientales, especies vegetales, polinización.

SUMMARY

Bombus species are pollinators of agricultural crops and wild flora, contributing to food production and the maintenance of biodiversity. Thus, it is important to perform research

aimed to get a better knowledge to preserve them and use them in crop pollination programs. This study was performed at U.D.C.A's campus, located in the northern part of the Sabana of Bogota, Colombia. The objectives of this study were to identify the *Bombus* species found visiting flowers at the University campus, to register the hours of major activity, and to report how their activity was affected by daily environmental temperature changes. Additionally, the flora visited was identified and the number of visits to the flora was recorded. Two *Bombus* species were found: *B. robustus* and *B. atratus*, the latest being the most abundant at the University campus. Two peaks of activity at temperatures that oscillated between 16°C and 19°C were observed. Eighteen plant species were visited being clover, *Trifolium pratense* (Fabaceae) the most visited one.

Key words: *Bombus atratus*, forage activity, host plants, pollination, environmental condition.

INTRODUCCIÓN

La polinización es el proceso más importante en la vida de las plantas con reproducción sexual, ya que permite la mezcla de los genes que repercutirán en la herencia de la nueva planta, favoreciendo así su eficacia biológica. Algunas especies son capaces de auto polinizarse, pero otras requieren polen de otra planta para poder reproducirse, por lo que necesitan de un agente que lo transporte hasta el órgano receptor femenino de la planta. Diversos organismos y algunos agentes abióticos realizan la polinización, pero los que más se destacan, por realizar esta función, son los insectos (Delaplane & Mayer, 2000; James & Pitts-Singer, 2008; Abrol,

2012). Entre ellos, los polinizadores por excelencia son los himenópteros, específicamente las abejas, debido a su estricta dieta de néctar y polen para el mantenimiento de la colonia (Delaplane & Mayer, 2000; James & Pitts-Singer, 2008). Se ha calculado que el 75% de los cultivos y el 80% de todas las plantas con flores dependen de la polinización por factores bióticos o animales (Randall & Radloff, 2011).

Las abejas contribuyen ampliamente a la economía de los seres humanos, gracias a la polinización que realizan, ya que a partir de esta se optimizan diversos productos vegetales, como los frutos y las semillas (Delaplane & Mayer, 2000; Aldana *et al.* 2007). El hecho que las abejas participen en la formación de productos vegetales implica que favorece la reproducción vegetal y, por lo tanto, cooperan a mantener la diversidad de especies vegetales.

A pesar de la escasa información e investigación en abejas de Colombia, se han podido identificar 564 especies, pertenecientes a seis familias, 13 subfamilias, 23 tribus y 55 géneros (Nates-Parra & González, 2000). Los abejorros del género *Bombus* pertenecen a la familia Apidae, subfamilia Apinae y tribu Bombini. Éstos, se han convertido en los mayores polinizadores en cultivos de tomate y en invernaderos de zonas templadas, debido a que presentan la capacidad de “vibrar” las flores para facilitar el desprendimiento del polen, tienen un hábito de vida social, lo que implica mayor cantidad potencial de individuos forrajeros y la pilosidad en su cuerpo, característica propia de las abejas de la familia Apidae, que contribuye al transporte del polen. Adicionalmente, dependiendo de la especie, presentan glosa más larga que la abeja común, *Apis mellifera*, por lo que utilizan un grupo más amplio de flora (Prÿs-Jones & Corbet, 1991; Delaplane & Mayer, 2000).

Liévano *et al.* (1994) estudiaron el género *Bombus*, único representante de la tribu Bombini en Colombia e identificaron nueve especies, tratando temas como taxonomía (Liévano *et al.* 1994) y algo de su biología (Nates-Parra & González, 2000); otros autores, como Abrahamovich & Díaz (2002), registraron doce especies, basándose en los registros de otros autores, como Moure & Sakagami (1962), Milliron (1973) y Abrahamovich & Díaz (2001), entre otros. En algunas zonas aledañas a Bogotá (Colombia), se encontraron cinco especies de *Bombus*, que tienen distribución estrictamente andina; de estas, solamente *B. atratus* tiene distribución altitudinal amplia (Nates-Parra *et al.* 2006).

El tiempo de actividad diaria, épocas climáticas y las preferencias alimentarias de *Bombus* en Colombia, se han estudiado poco, aunque existen algunos trabajos que proporcionan un acercamiento. Por ejemplo, las especies de *Bombus* identificadas por Nates-Parra *et al.* (2006), se alimentan de vegetación exótica, obteniendo néctar y polen, lo que ten-

dría una repercusión seria en la competencia entre especies vegetales foráneas y nativas (Morales, 2007). Abrahamovich *et al.* (2007) realizaron un registro de las familias vegetales asociadas a las especies de *Bombus* en Argentina, encontrándose una amplia diversidad de familias de plantas.

En la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A, en Bogotá, Colombia), se han observado individuos de *Bombus* pecoreando en varias especies vegetales, como: el trébol rojo (*Trifolium pratense* L., Fabaceae), el trébol blanco (*T. repens* L., Fabaceae), el diente de león (*Taraxacum officinale* Weber, Compositae) y el nabo forrajero (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae) (Posada-Flórez, 2011). En Colombia, aún se requiere realizar estudios en donde se identifique la preferencia de *Bombus* por las especies vegetales que visita, información que sería útil para la conservación del género y de las especies vegetales que polinizan.

Adicionalmente, se han realizado estudios sobre la eficacia de la polinización por parte de *Bombus* en frutales, como tomate, ají y lulo y su influencia en la producción de alimentos de calidad, obteniendo resultados que demuestran que la propiedad de los alimentos aumenta cuando han sido polinizados por *Bombus* (Kwon & Saeed, 2003; Almanza, 2007; Aldana *et al.* 2007). Lo anterior confirma la importancia del polinizador *Bombus*, en la seguridad alimentaria de la humanidad.

En cuanto al conocimiento de la actividad de *Bombus* en regiones tropicales, existen pocos estudios sobre su actividad en campo, en donde se determine, por especie, los horarios de mayor actividad con relación a la temperatura, debido a su condición de ectotermos, dado que se les puede observar en zonas frías, como en los ecosistemas de páramo (SDA, 2012). Morales-Rozo *et al.* (2006) determinaron que la mayor actividad forrajera de *B. atratus* en una zona de La Valvanera (Chía, Cundinamarca), se encuentra entre las 10:00 y las 14.00 horas, con una temperatura ambiental promedio de 22°C, resultados que requieren ser confirmados con mayor número de muestreos, debido a las pocas repeticiones de observación directa de la actividad forrajera.

Adicionalmente, Kwon & Saeed (2003) realizaron un estudio del efecto de la temperatura en la actividad polinizadora de *B. terrestris* bajo condiciones de invernadero, pero la información que aporta su estudio al comportamiento de las especies colombianas es mínimo, ya que esta especie no es nativa del país (Williams, 2008) y a que las condiciones de invernadero son diferentes a las de los espacios al aire libre, que son el hábitat natural de *Bombus*.

Dada su importancia como polinizadores y a que existen vacíos de información es necesario conservar la fauna de *Bombus* y para lograrlo es imprescindible conocerlos. En la U.D.C.A y en la zona de influencia del humedal Torca-Guay

maral, aún no se tiene registro de las especies de *Bombus* que visitan su flora, por lo que este trabajo tuvo como objetivo reconocer las especies de *Bombus* que visitan la flora del campus norte de la Universidad, determinar la flora que utilizan y relacionar su actividad con la temperatura ambiente. Se espera que este estudio pueda servir de base para posteriores investigaciones, que contribuyan al conocimiento de *Bombus* spp. en Colombia, información que se puede utilizar para su conservación y aprovechamiento de su función como polinizadores eficientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La U.D.C.A, se encuentra localizada al norte de Bogotá (Colombia), entre las coordenadas 4°47'57"N-74°02'40"W. Sus condiciones ecológicas son 2.570 msnm, precipitación media anual de 860mm con régimen bimodal y temperatura media anual de 14,5°C (Salazar *et al.* 2010), factores que caracterizan la zona agroecológica, como bosque seco montano bajo (bs-MB), propio de los altiplanos andinos (Espinal & Montenegro, 1977). El campus norte de la U.D.C.A hace parte del territorio de tipo rural de Bogotá y es aledaña al humedal de Torca-Guaymaral, zona recientemente declarada Reserva Forestal (CAR, 2011).

En la U.D.C.A existe vegetación de diversas especies y estratos, entre nativas y exóticas. En el campus norte, a lo largo del perímetro donde se han sembrado especies arbóreas y arbustivas nativas, también se presenta vegetación herbácea exótica. Las especies exóticas de mayor abundancia son el diente de león, *Taraxacum officinale* (Compositae), trébol blanco, *Trifolium repens*, trébol rojo, *T. pratense* (Fabaceae) y nabo forrajero, *Raphanus sativus* (Cruciferae). También, se encuentran otras especies vegetales, como raque, *Vallea stipularis* (Elaeocarpaceae), astromelia, *Alstroemelia aurtiaca* (Alstroemeliaceae), mora silvestre, *Rubus bogotensis* (Rosaceae) y calabaza, *Cucurbita* sp. (Cucurbitaceae), entre otras (observaciones de los autores).

La evaluación de la actividad de *Bombus* en el campus norte de la U.D.C.A, se realizó en dos épocas climáticas: lluviosa (marzo) y seca (junio y julio). En ambos períodos, se ejecutaron durante un día por semana, cuatro evaluaciones diarias, en días sin lluvia, ya que estas alteran la actividad de *Bombus*. Los muestreos, se practicaron entre las 6:00 y las 18:00 horas, durante 20 minutos cada uno y consistieron en el recorrido de la zona escogida, la cual, tuvo 400m de longitud por 20m de ancho aproximadamente (8000m²). En cada recorrido, se tomaron los datos de hora, especie de *Bombus* pecoreando, su abundancia y la flora visitada. Para el conteo de la abundancia, los especímenes no se marcaron ni capturaron, pudiéndose haber realizado el conteo sobre el mismo individuo, en diferente tiempo.

La determinación taxonómica de los individuos de *Bombus*, se realizó basándose en los patrones de coloración; en el caso de no haber certeza sobre la especie, se colectaba el individuo para la confirmación y se liberaba. En tres casos, los individuos ingresaron a la colección entomológica de la U.D.C.A, para confirmación con patrones de coloración y de genitales. Adicionalmente, se tomaron fotografías de individuos de *Bombus* en la flora visitada, durante los recorridos de los muestreos.

Los datos de temperatura ambiental por hora, se tomaron de la página de la Red de Calidad de Aire de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, estación Guaymaral, que se ubica en la Escuela Colombiana de Ingeniería (4°47'1.0"N-74°2'37"W), a una altura de dos metros sobre la superficie terrestre y a una distancia aproximada de 2,3km del campus norte de la U.D.C.A.

Otros datos climáticos, como radiación solar y viento, no se analizaron, ya que no fueron parte del objetivo del estudio. Igualmente, la precipitación no se analizó, porque no se presentó lluvia en los días en que se realizaron los conteos y se previó, para garantizar que ocurriera la actividad de *Bombus*.

Los resultados, se analizaron calculando las estadísticas descriptivas y se realizaron pruebas de análisis de varianza entre los conteos de *Bombus* y los registros de temperatura, entre la época de lluvia y seca. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación, para establecer el tipo de relación por hora entre el conteo de la actividad de *Bombus* y el promedio de la temperatura, para los días de muestreo (SAS Institute Inc., 2006). Además, se determinaron los horarios en que se presentó mayor ocurrencia de *Bombus* spp. durante el día, de acuerdo con la época climática y sus preferencias por las especies vegetales, mediante el conteo de las visitas a las especies florales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación realizada en la época de lluvia, en los cuatro días de muestreo, se registraron 249 conteos de *Bombus*, los cuales, pertenecían a las especies *B. atratus* (n= 246; 98,8%) y *B. robustus* (n=3; 1,2%), mientras que en la época seca, se contaron 256 individuos, todos pertenecientes a *B. atratus*. La actividad de *Bombus* por día presentó, en ambas evaluaciones, el mismo patrón, lo que al parecer indica que la actividad obedece al efecto de las variables de temperatura, a través del día y a la disponibilidad de vegetación con flores, que ofrecen alimento (Figura 1, 2, Tabla 1).

Se reconocieron dos especies de *Bombus* en el campus de la U.D.C.A, *B. atratus* y *B. robustus*, de las nueve especies registradas para Colombia (Liévano *et al.* 1994). *B. atratus* fue la más abundante (n=502; 98,8%), por lo que los re-

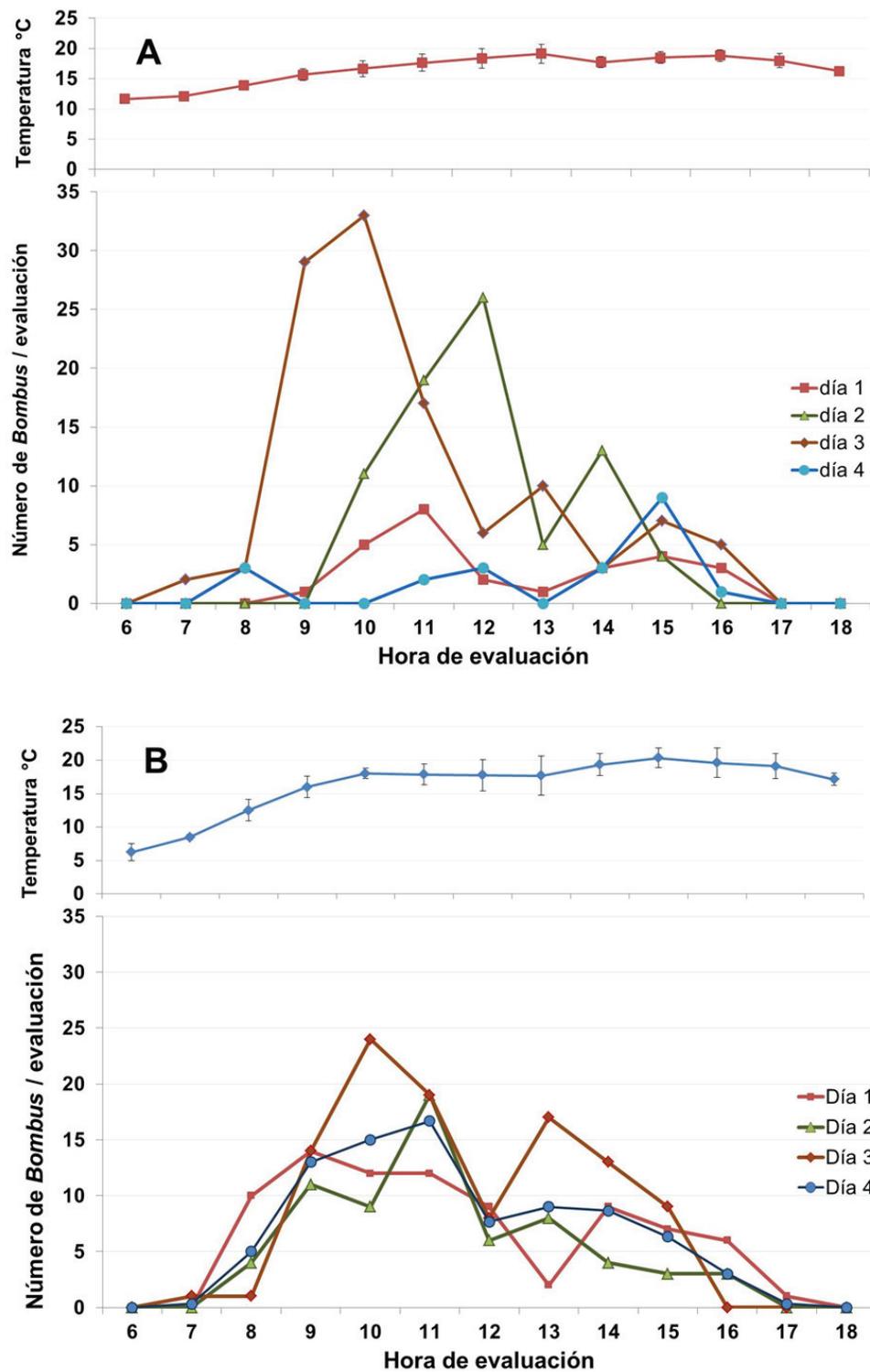


Figura 1. Distribución de los conteos de *Bombus* en la U.D.C.A, con respecto a la hora del día y el promedio de la temperatura, para los días de evaluación. A) Evaluación en época de lluvia y B) Evaluación época seca.

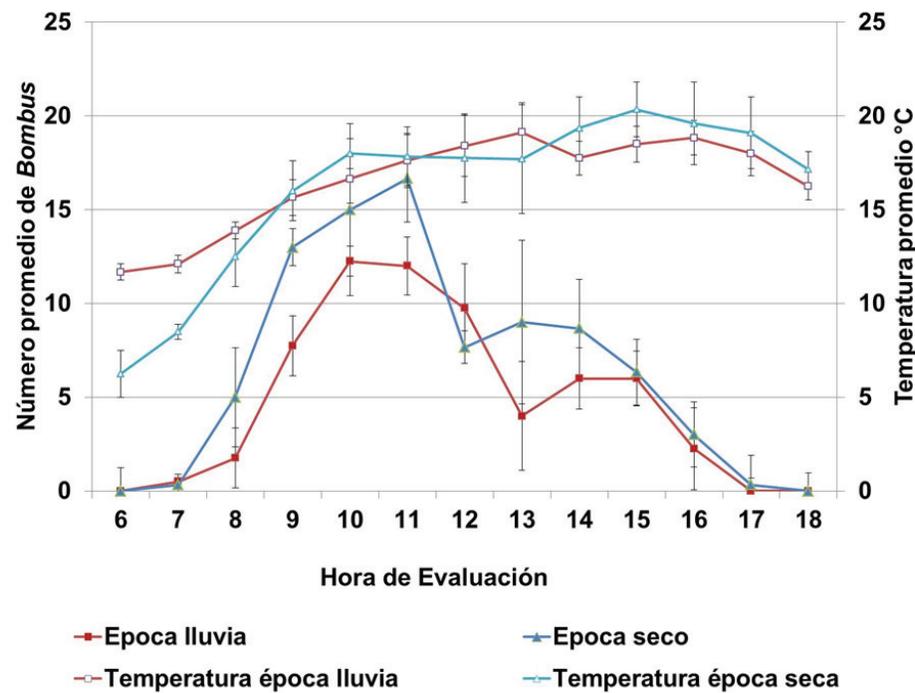


Figura 2. Actividad promedio del pecoreo de *Bombus* spp., durante dos evaluaciones en época de lluvia y seca, en predios de la U.D.C.A, en contraste con la temperatura promedio para los días de muestreo.

sultados de actividad fueron liderados por esta especie que, de acuerdo con las observaciones de campo (Figuras 1 y 2) y con el estudio realizado por Morales-Rozo *et al.* (2006), parece ser la especie que domina la zona norte de Bogotá. *B. robustus* ($n=3$; 1,2%) sólo se observó esporádicamente, su abundancia en el campus fue mínima y únicamente se contaron en las tres primeras evaluaciones en la época de lluvia. Sobre la ecología de esta especie existe escasez de información.

Los resultados del muestreo pueden indicar que su hábitat está amenazado o que están tratando de establecerse, ya que en la zona de muestreo se están realizando prácticas de conservación, como es el establecimiento de parcelas de cercas vivas con flora de especies nativas.

La actividad de *Bombus* en ambas evaluaciones presentó dos picos, que corresponden a los momentos de incremento de las mayores temperaturas (Figuras 1 y 2). La temperatura mínima, a la que *B. atratus* y *B. robustus* comenzaron su actividad de pecoreo, fue de 10,9°C, entre las 7:00h y 8:00h y la temperatura máxima en la que se observó actividad fue de 23°C, entre las 13:00 y 14:00h.

En época de lluvias, *B. atratus* presentó dos picos de abundancia en actividad forrajera, entre las 10:00h y las 11:00h

y las 14:00h y las 15:00h. El pico de mayor actividad, para esta especie, ocurrió a una temperatura que osciló entre los 16 y 17°C. Conforme aumentaba la temperatura, la actividad de *Bombus* decreció; sin embargo, el segundo pico de actividad, se presentó a una temperatura entre los 18 y 19°C, aunque a la máxima temperatura, mayor a los 19°C, la actividad disminuyó drásticamente a unos pocos individuos, por tiempo de conteo (Figura 2).

Entre las 14:00h y 15:00h, la temperatura decreció, lo que al parecer, estimuló el leve aumento de la actividad de *B. atratus*. Conforme aumentó de nuevo la temperatura, la actividad de *Bombus* volvió a decaer (Figura 2).

La baja actividad en campo por parte *Bombus* en los periodos de altas temperaturas, se debe, probablemente, a su necesidad de mantener las temperaturas constantes dentro del nido y a nivel individual, pues el hecho de volar incrementa la temperatura corporal, lo que no es favorecido por un incremento en la temperatura ambiente (Alford, 1978). De forma similar, al incrementarse la temperatura ambiente, las obreras del nido deben airearlo para mantener una temperatura favorable para el desarrollo de la cría, razón por la cual, disminuye la actividad de pecoreo (O'Donnell & Foster, 2001; Weindenmüller, 2004).

Tabla 1. Especies florales visitadas por las dos especies de *Bombus* en la U.D.C.A.

Nombre común	Nombre científico	Familia	No. Visitas observadas	Especie de <i>Bombus</i>
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	Fabaceae	329	<i>B. atratus</i>
Nabo forrajero	<i>Raphanus sativus</i>	Brassicaceae	49	<i>B. atratus</i> , <i>B. robustus</i>
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	Fabaceae	37	<i>B. atratus</i>
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	Solanaceae	19	<i>B. atratus</i>
Retamo liso	<i>Teline monspesulana</i>	Fabaceae	19	<i>B. atratus</i>
Astromelia	<i>Alstroemeria aurantiaca</i>	Alstroemeliaceae	18	<i>B. atratus</i>
Brócoli	<i>Brassica oleracea italica</i>	Brassicaceae	12	<i>B. atratus</i>
Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	8	<i>B. atratus</i>
Mora silvestre	<i>Rubus</i> sp.	Rosaceae	7	<i>B. atratus</i>
Raque	<i>Vallea stipularis</i>	Elaeocarpaceae	3	<i>B. atratus</i> , <i>B. robustus</i>
Calabaza	<i>Cucurbita</i> sp.	Cucurbitaceae	2	<i>B. atratus</i>
Estatice	<i>Limoniun sinuatum</i>	Plumbaginaceae	1	<i>B. atratus</i>
Geranio	<i>Geranium pelargonium</i>	Geraniaceae	1	<i>B. atratus</i>
Curuba	<i>Passiflora mollissima</i>	Passifloraceae	1	<i>B. atratus</i>
Siete cueros	<i>Tibouchina lepidota</i>	Melastomataceae	1	<i>B. atratus</i>
		Lamiaceae	1	<i>B. atratus</i>
Duraznillo	<i>Abatia parviflora</i>	Flacourtiaceae	1	<i>B. atratus</i> , <i>B. robustus</i>
Lupino	<i>Lupinus polyphyllus</i>	Fabaceae	1	<i>B. atratus</i>

Es importante resaltar que en el segundo pico de actividad, entre las 14:00h y 16:00h, se observaron cuatro reinas pecoreando, todas de *B. atratus*, lo que puede dar algún indicio de la preferencia en los horarios de pecoreo por parte de las reinas; esta información puede contribuir a planear las actividades de investigación sobre el establecimiento natural de nidos de *Bombus* en campo o para realizar actividades de captura de reinas, con el propósito de iniciar nidos y realizar investigación sobre crías artificiales.

En época seca, el comportamiento de *B. atratus* fue similar al de la época de lluvias; presentó dos picos de actividad, antes del mediodía, lo mostró en el mismo periodo que en época de lluvias, entre las 10:00 y 11:00h, a una temperatura cercana a los 18°C, pero la actividad decayó una hora antes que la de la otra época, a pesar que la temperatura se mantuvo con poca variación. El segundo pico de actividad, después del mediodía, se inició y decayó también una hora antes, en comparación con la actividad de la época de lluvias. Este segundo pico, se dio entre temperaturas promedio que oscilaron entre los 19,35 y 20,35°C (Figura 2).

La hora de inicio y cese de la actividad de las especies de *Bombus*, encontradas en este estudio, fue variable en todos los conteos y épocas de evaluación. En dos conteos, se registró actividad a las 7:00 horas, mientras que en los otros conteos, se registró a partir de las 8:00 horas.

En relación con el cese de actividad, se registró a las 16:00 horas, para tres conteos, todos en época de lluvias y, a las 17:00 horas, para un conteo, este en época seca; en el resto de las evaluaciones, en esta última época, entre las 17 y 18 horas, no se realizó algún registro. Estos resultados indican que la actividad de *Bombus* en campo, bajo las condiciones ambientales del norte de la Sabana de Bogotá, se extiende por ocho a diez horas. Esta información es importante tenerla en cuenta para utilizarla en la fenología floral de las especies vegetales, en las que se intente utilizar *Bombus* para la polinización en condiciones de campo abierto y para la aplicación de medidas sanitarias en los cultivos, con el propósito de evitar la intoxicación de los polinizadores, al usar insecticidas.

Comparando los conteos en época de lluvia y seca, se encontró mayor actividad en dos conteos en época de lluvia; esto, probablemente se presentó, porque en la época seca se observó mayor actividad de labores agrícolas y de mantenimiento de los prados, donde cortan la vegetación arvense, con lo que se disminuye la oferta de plantas en floración (Hatfield *et al.* 2012). Estas prácticas agrícolas afectan la actividad de las visitas a las flores por parte de sus polinizadores y, por lo tanto, la abundancia de estos, que, probablemente, vuelan a otros lugares más distantes, en busca de alimento.

En el análisis estadístico, no se encontró diferencia entre las evaluaciones realizadas en época de lluvia y seca ($GL= 1,89$; $F=1,30$; $P=0,25$). Igualmente, no se encontraron diferencias estadísticas entre la temperatura registrada en la época de lluvia y seca. La correlación entre el conteo de *Bombus* y el registro de la temperatura presentó una correlación baja ($r=0,34$), lo que indica que la actividad de *Bombus* es compleja, ya que puede depender de la interacción de las variables abióticas y de la actividad antrópica.

B. robustus inició actividad entre las 7:00h y 8:00h, con temperatura mínima promedio de 12,1°C. Se observaron individuos entre las 12:00h-13:00h y las 14:00h-15:00h, cuando la temperatura ambiente oscilaba entre los 17,8 y 18,4°C. Sobre esta especie es necesario realizar más observaciones, para tener un mayor conocimiento de su biología.

En el estudio de Kwon & Saeed (2003), las altas temperaturas disminuyen la actividad de *B. terrestris* y la actividad de forrajeo comienza desde muy temprano, desde las 7:00h a 8:00h, a una temperatura de 25,8°C. Conforme aumenta la temperatura, la actividad disminuye. En este caso, a partir de los 19°C, la actividad de *B. atratus* disminuyó, lo que lleva a inferir que las altas temperaturas, mayores a 19°C, no favorecen la actividad de *B. atratus*, en la Sabana de Bogotá. Aun así, la respuesta a los cambios de temperatura difiere entre individuos, siendo unos más tolerantes a las altas temperaturas, mientras que otros no. Esto concuerda, con el estudio de O'Donnell & Foster (2001) y Weindenmüller (2004), en donde se comprueba que cada individuo, dentro de una colonia, presenta diferencias en el umbral de respuesta ante un cambio en el ambiente, siendo algunos más tolerantes, con umbrales más altos y otros no tanto, con umbrales más bajos.

En la interpretación de los factores ambientales sobre las poblaciones de *Bombus* en campo, se debe ser cuidadoso y no generalizar tendencias. Los estudios de *Bombus* en campo, en relación con actividad de vuelo y visita de flores corrientemente, se realizan en zonas templadas y en épocas de verano, donde el fotoperiodo y la temperatura se comportan diferente al trópico, donde estos factores son menos variables, porque se presentan con una duración aproximada

de 12 horas, lo que influye en la actividad de *Bombus* y en la fenología de las plantas.

En cuanto a la flora visitada por *Bombus* spp., se encontraron 18 especies vegetales, pertenecientes a 15 familias (Tabla 1). Las especies que más observaciones tuvieron fueron el trébol rojo (*T. pratense*) ($n=329$, 64,4%), el nabo forrajero (*R. sativus*,) ($n=49$, 9,6%), el trébol blanco (*T. repens*,) ($n=37$, 7,2%), la papa (*S. tuberosum*) ($n=19$, 3,7%), el retamo liso (*T. monspesulana*) ($n=19$, 3,7%) y las astromelias (*A. aurantiaceae*) ($n=18$; 3,5%) (Tabla 1). De estos resultados, se deduce que *B. atratus* prefiere especies foráneas en comparación con las nativas, en donde se observaron visitas, lo que podría ser una desventaja, en el caso de promover la propagación de las especies vegetales nativas, debido al bajo número de observaciones en estas. Lo anterior, se debe confirmar bajo condiciones en las que haya similitud en las abundancias de especies florecidas, para determinar con mayor exactitud las preferencias alimentarias de *Bombus* spp.

Para *B. robustus*, se deben hacer más observaciones de flora utilizada, pues aparte de observarlo utilizando *V. stipularis*, *R. sativus* y *Abatia parviflora*, también fue observado en *Canna* sp., por fuera del periodo de muestreo, especie vegetal, en la cual, se han realizado muy pocos avistamientos de visitas por parte de abejas. Esto conlleva a interpretar que entre especies de *Bombus* hay diferencias en las preferencias alimentarias, lo que, probablemente, se asocie con sus diferencias en las longitudes de glosa, que significa su alcance al néctar, de acuerdo con el tipo de flor (Prÿs-Jones & Corbet, 1991).

De las especies encontradas, *B. atratus* es la que muestra un mayor rango de distribución (Nates-Parra, 2005; Nates-Parra *et al.* 2006) y es la que más fácil se encuentra en la Sabana de Bogotá, lo cual, ha permitido realizar algunos estudios sobre su efecto como polinizador en solanáceas, como el lulo y tomate, demostrándose que la polinización, por parte de *Bombus*, favorece la formación y el desarrollo de frutos de alta calidad (Almanza, 2007; Aldana *et al.* 2007).

En la relación de las plantas con la actividad de vuelo y visita de flores de *Bombus*, se observó que es dependiente de la temperatura y de la luz, ya que plantas, como el diente de león (*T. officinale*), abre sus flores en la mañana cuando el sol esta iluminando el campo y la temperatura se empieza a elevar. Igualmente, las flores se cierran en la tarde y el momento en que ocurre depende de la luz y la temperatura. Los datos de la actividad de *Bombus* demostraron que son activos entre las 9:00 y las 16:00 horas, lo cual, se ajusta a la fenología del diente de león. Esto se observó en la Sabana de Bogotá y es importante investigar estos aspectos en más detalle, para establecer si se repite en otras regiones geográficas y si marca un patrón de comportamiento para la acti-

vidad y la alimentación de *Bombus* e, igualmente, si afectan la antesis de las flores para liberar el polen y producir néctar.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABRAHAMOVICH, A.H.; DÍAZ, N.B.; LUCIA, M. 2007. Identificación de las "abejas sociales" del género *Bombus* (Hymenoptera: Apidae) presentes en la Argentina: clave pictórica, diagnosis, distribución geográfica y asociaciones florales. Rev. Fac. Agr. La Plata. 106(2):165-176.
2. ABRAHAMOVICH, A.H.; DÍAZ, N.B. 2001. Distribución geográfica de las especies del género *Bombus* Latreille (Hymenoptera, Apidae) en Argentina. Rev. Bras. Entomol. 45(1):23-26.
3. ABRAHAMOVICH, A.; DÍAZ, N. 2002. Bumble bees of the Neotropical Región (Hymenoptera: Apidae). Biota Col. 3(2):199-214.
4. ABROL, D. 2012. Pollination biology. Springer Science Business Media. 792p.
5. ALFORD, D.V. 1978. The life of the bumblebee. London: Davis-Poynter. 80p.
6. ALMANZA, M.T. 2007. Management of *Bombus atratus* bumblebees to pollinate lulo (*Solanum quitoense* L.), a native fruit from the Andes of Colombia. Eco. Developm. Series No. 50. 112p.
7. ALDANA, J.; CURE, J.R.; ALAMANZA, M.T.; VECIL, D.; RODRÍGUEZ, D. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. Agr. Col. 25(1):62-72.
8. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA –CAR-. 2011. Acuerdo 11 de 2011. Disponible desde internet en <<http://www.car.gov.co/?idcategoria=16738>> (con acceso 07/08/2013).
9. DELAPLANE, K.; MAYER D. 2000. Crop pollination by bees. CABI. New York, USA. 334p.
10. ESPINAL T., L.S.; MONTENEGRO M., E. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Departamento Agrológico, Bogotá. 238p.
11. HATFIELD, R.; JEPSEN, S.; MADER, E.; BLACK, S.H.; SHEPHARD, M. 2012. Conserving Bumble Bees: Guidelines for Creating and Managing Habitat or America's Declining Pollinators. The Xerces Society for Invertebrate Conservation. 32p.
12. KWON, Y.; SAEED, S. 2003. Effect of temperature on the foraging activity of *Bombus terrestris* L. (Hymenoptera: Apidae) on greenhouse hot peeper (*Capsicum annuum* L.). Appl. Entomol. Zool. 38 (3):275-280.
13. JAMES R.; PITTS-SINGER, T. 2008. Bee pollination in agricultural ecosystems. Oxford University Press Inc. New York, USA. 248p.
14. LIÉVANO A.; OSPINA R.; NATES PARRA, G. 1994. Contribución al conocimiento de la taxonomía del género *Bombus* en Colombia (Hymenoptera: Apidae). Trianea. 5:221-233.
15. MILLIRON, H.E. 1973. A monograph of the Western Hemisphere bumblebees (Hymenoptera: Apidae; Bombinae). II. The genus *Megabombus*, Subgenus *Megabombus*. Memoirs Ent. Soc. Canada. 89:81-236.
16. MORALES-ROZO, C.; ROJAS-PRIETO, D.; CURE-HAKIM, J. 2006. Actividad forrajera de un nido silvestre de *Bombus atratus* Franklin (Hymenoptera: Apidae) en la Sabana de Bogotá. En: III Encuentro Colombiano de Abejas Silvestres. 2006. Laboratorio de Investigaciones en Abejas LABÚN, Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta, Colombia. p.49.
17. MORALES, C. 2007. Introducción de abejorros (*Bombus*) no nativos: causas, consecuencias ecológicas y perspectivas. Ecol. Austral 17:51-65.
18. MOURE, J.S.; SAKAGAMI, S.F. 1962. As mamangabas sociais do Brasil (*Bombus* Latreille) (Hymenoptera, Apoidea). Studia Entomol. 5(1-4):65-194.
19. NATES-PARRA, G. 2005. Abejas corbiculadas de Colombia, Hymenoptera: Apidae. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 156p.
20. NATES PARRA, G.; GONZÁLEZ, V. 2000. Abejas silvestres de Colombia: Por qué y cómo conservarlas. Acta Biol. Col. 5(2):5-37.
21. NATES PARRA, G.; PARRA, A.; RODRÍGUEZ, A.; VAQUE-

- RO P.; VÉLEZ, D. 2006. Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) en ecosistemas urbanos: Estudio en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. *Rev. Col. Entomol.* 32(1):77- 84.
22. O'DONELL, S.; FOSTER, R. 2001. Thresholds of Response in Nest thermoregulation by Worker Bumble Bees, *Bombus bifarius nearcticus* (Hymenoptera: Apidae). *Ethology.* 107:387-399.
23. POSADA-FLÓREZ, F.J. 2011. Manejo de Polinizadores ¿Qué hace falta? Notas y Noticias Entomológicas. 32(4):23.
24. PRŶS-JONES, O.; CORBET, S. 1991. Bumblebees. The Richmond Publishing Co. Ltd. England. 92p.
25. RANDALL, H.; RADLOFF, S. 2011. Honeybees of Asia. Springer. 600p.
26. SALAZAR, I.C.; MARTÍNEZ-GRANJA, E.; PEÑA, F.; CABEZAS, M.; GÓMEZ, J. 2010. Identificación del agente causante de la marchitez de proteas (*Leucadendron* sp.). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13(2):79-87.
27. SAS institute Inc. 2006. SAS/Procedures guide versión SAS 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
28. SECRETARÍA DISTRITAL DE MEDIO AMBIENTE –SDA-. 2012. Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes. Disponible desde Internet en: <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/ecosistemas/areas_protegidas/en_a16.pdf> (con acceso 13/05/2012).
- 29 WEINDENMÜLER, A. 2004. The control of nest climate in bumblebee (*Bombus terrestris*) colonies: interindividual variability and self-reinforcement in fanning response. *Behav. Ecol.* 15(1):120-128.
30. WILLIAMS, P. 2008. *Bombus* bumble bees of the world. Natural History Museum. Disponible desde Internet en: <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/bombus/index.html> (con acceso 05/04/12).

Recibido: Agosto 17 de 2013

Aceptado: Octubre 31 de 2013.

Como citar:

Téllez-Farfán, L.; Posada-Flórez, F.J. 2013. Actividad polinizadora y preferencia floral de *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae) presentes en una cerca viva. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 359-367.

RESIDUO AGRÍCOLA DE CEBOLLA LARGA COMO FUENTE DE ÁCIDO GIBERÉLICO

AGRICULTURAL WELSH ONION WASTE AS A SOURCE OF GIBBERELIC ACID

Luis Eduardo Díaz¹, Alejandra Henao², Leidy Alejandra Ramírez³

¹ Ph.D, Profesor Ingeniería Química. Universidad de La Sabana, Autopista Norte, Km. 7, Puente del Común, Chía, Cundinamarca, Colombia, luisdb@unisabana.edu.co; ² Estudiante de Ingeniería de Producción Agroindustrial, Joven Investigador Semillero ProNIUS, Universidad de La Sabana. Facultad de Ingeniería. Chía, Cundinamarca, Colombia; ³ Estudiante de Ingeniería Química, Joven Investigador Semillero ProNIUS, Universidad de La Sabana. Facultad de Ingeniería. Chía, Cundinamarca, Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 369-377, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Se evaluó la obtención de ácido giberético a partir de la rama de la cebolla junca, como una opción a la producción convencional, a partir del hongo *Gibberella fujikuroi* y como alternativa para darle un valor agregado a este desecho agrícola. A partir de ramas de *Allium fistulosum*, se obtuvo un extracto en el que, mediante cromatografía en capa fina y comparación con un patrón comercial, se evidenció la presencia de ácido giberético. La espectrofotometría ultravioleta reveló que la cantidad de ácido giberético corresponde al 2,70% de cebolla seca. Para determinar el efecto biológico del extracto, se organizaron tres grupos de plantas de arveja, incluyendo un control, tratado con ácido giberético comercial. Los resultados mostraron que el extracto incrementó la longitud de los tallos en un 47% y, el follaje, en un 67%, pero no presentó ningún efecto en la elongación de la raíz principal, frente al control. En estudios con grupos de semillas de lechuga, organizadas de forma similar que las plantas de arveja, pero con 39 individuos en cada grupo, se encontró que el extracto promueve la germinación de las mismas en un 28%, frente al control. En todos los ensayos, la respuesta con el extracto fue muy similar al obtenido con el patrón comercial; no se presentaron diferencias en el análisis de varianza por ANOVA y la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Se concluye que, a partir de las ramas de la cebolla larga, se puede obtener un extracto crudo con presencia de ácido giberético.

Palabras clave: Giberelinas, *Allium fistulosum*, fitohormonas.

SUMMARY

The obtention of gibberellic acid from the branches of the Welsh onion, as an option to the conventional gaining from the fungus *Gibberella fujikuroi* and as an alternative to give some value to this agricultural waste was evaluated. An extract was obtained from the branches and by thin layer chromatography and by comparison with a commercial pattern, the presence of gibberellic acid was evidenced. A ultraviolet spectrophotometry revealed that the concentration of gibberellic acid correspond to a 2.70% of the dry Welsh onion. To evaluate the biological effect of the extract, three groups of peas plants were arranged, including a control, treated with the commercial pattern of the Gibberellic acid. The results showed that the onion branch extract increased the length of plant's stem in a 47%, the foliage in a 67% but had no effect on the main root's elongation compared to the control. In studies with groups of lettuce seeds, arranged in similar ways than the peas plants but with 39 individuals per group, it was found that the extract promotes the seed's germination in 28% more, compared to the control. All the biological tests performed with the onion's extract presented similar behavior to those treated with the gibberellic acid pattern, presenting no differences in the variance analysis ANOVA and Turkey test ($p < 0.05$). It was concluded that it is possible to obtain a crude extract with the presence of gibberellic acid from this agricultural waste.

Key words: Gibberellins, *Allium fistulosum*, phytohormones.

INTRODUCCIÓN

El ácido giberélico, conocido como GA₃, es un ácido carboxílico tetracíclico diterpenoide (Cardoso *et al.* 2012), miembro importante de la familia de las giberelinas y actúa en plantas, como una hormona de crecimiento natural. GA_n es la forma en la que las giberelinas son identificadas, siendo en el orden en el que fue descubierta la giberelina en concreto. Las giberelinas controlan varios procesos del desarrollo, que son de gran interés alrededor del mundo, debido a su efectivo uso en agricultura, en viveros, en cultivo de tejidos y en jardines de té (Shukla *et al.* 2005); estimula la división y la elongación celular que afecta a las hojas, como también las células nacientes (Taiz & Zeiger, 2010). El GA₃, se encuentra presente en pequeñas cantidades en un gran número de plantas y en algunos hongos (Contreras *et al.* 2001).

El GA₃ ha sido empleado para incrementar la longitud y el peso de las plantas, incrementando el número de flores e induciendo la floración (Taiz & Zeiger, 2010). El uso global de GA₃ por año es aproximadamente de 50 toneladas, excluyendo a China (Taiz & Zeiger, 2010). Industrialmente, el GA₃ es producido por fermentación sumergida o cultivos de sustrato sólido usando *Gibberella fujikuroi*, renombrada *Fusarium fujikuroi* (Meleigy & Khalaf, 2009; Chavez *et al.* 2008; Shukla *et al.* 2005; Tang *et al.* 2000). El costo de la producción de GA₃ usando esta técnica es muy alto, debido principalmente al bajo rendimiento y su costoso procesamiento (Rodrigues *et al.* 2009); dicho costo ha excluido la aplicación del GA₃, a excepción de algunas plantas de gran valor. La reducción en sus costos de producción podría conducir a aplicaciones más amplias, para una variedad de cultivos.

El efecto de la pulverización de GA₃ en concentraciones bajas (aproximadamente 5 a 200ppm) puede ser explotado, beneficiosamente, en las plantas, para controlar su desarrollo (Afshari *et al.* 2011; Da Silva *et al.* 2011). En melocotones y en nectarinas, se ha encontrado que es útil en la reducción de la densidad de flores y, consecuentemente, aumenta el tamaño de la fruta (Stern & Ben-Arie, 2009). Los niveles más elevados de giberelinas, se encuentran en las semillas inmaduras y en los frutos en desarrollo; sin embargo, el nivel normal de giberelinas es prácticamente nulo en las semillas maduras (Taiz & Zeiger, 2010).

El hecho que varios microorganismos, como bacterias y hongos sean capaces de sintetizar estas fitohormonas, ha propiciado su síntesis biotecnológica, siendo el empleo de éstas en la agricultura una alternativa compatible con el concepto de agricultura sostenible; no obstante, es necesario un buen método de extracción, pues esta operación puede representar un porcentaje considerable en el costo total del proceso y que presenta algunos problemas, como son la baja concentración en el medio de cultivo final y la presencia de sus-

tancias extrañas, además del ácido giberélico. Actualmente, las investigaciones se han enfocado en buscar nuevos métodos de fermentación (Rodrigues *et al.* 2009), sustratos más económicos de cultivo (Cuali *et al.* 2011) y métodos más eficientes de extracción (Berrios *et al.* 2010).

La cebolla larga es una de las hortalizas de mayor consumo en los hogares colombianos, representa el 12,9% de la producción de hortalizas cosechadas en el territorio nacional (Pinzón, 2004). Su valor nutricional, se debe al aporte de minerales, compuestos fenólicos, vitaminas, provitaminas y moléculas con actividad antioxidante (Silveira *et al.* 2003). Este cultivo, se adapta a casi todos los climas, en un rango altitudinal entre los 1500 y los 3000msnm. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (2001), las principales zonas productoras fueron: Aquitania (Boyacá), con el 80% de la producción nacional, Sabana de Bogotá, Tenerife (Valle del Cauca), Manizales y Villa María (Caldas), Pereira (Risaralda), Pasto, La Laguna (Nariño) y Cajamarca (Tolima).

En el 2011, se sembraron en Colombia 13.377ha, con una producción de 197.142t y un rendimiento de 24,5t/ha; la región con mayor área sembrada fue Boyacá, con 4.851ha (DANE, 2011).

En la presente investigación, se evaluó la obtención de ácido giberélico, a partir de la rama de la cebolla junca, como una opción a la producción convencional, a partir del hongo *Gibberella fujikuroi* y como alternativa para darle un valor agregado a este desecho agrícola. En la actualidad, las ramas de la cebolla larga son un desecho en los hogares y restaurantes colombianos; con este estudio, se pretende darles un valor agregado, utilizándolas como materia prima para la extracción del GA₃.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como patrón de ácido giberélico, se utilizó Auxillin® (Merck), un producto comercial que consiste en una giberelina con aproximadamente 90% de actividad biológica de la giberelina GA₃; los demás reactivos empleados en el desarrollo del estudio, tales como etanol, cloroformo, acetato de etilo, ácido acético y ácido sulfúrico fueron reactivos analíticos (Sigma, Aldrich).

Se prepararon extractos etanólicos de cebolla larga *Allium fistulosum*, utilizando, específicamente, las ramas secas, parte de la cebolla que experimenta un crecimiento acelerado y prolongado, lo que permite plantear la hipótesis de la presencia de giberelinas, en esta parte de la planta. Se utilizó la cebolla Junca, variedad que se caracteriza por producir mayor número de tallos y por generar mayor rendimiento.

Para determinar cualitativamente la presencia de ácido giberético en los extractos, se llevaron a cabo estudios de cromatografía en capa fina (CCE) y, cuantitativamente, por espectrofotometría ultravioleta (UV). Adicionalmente, para evaluar su funcionalidad biológica, se determinó la longitud del tallo, número de hojas producidas, longitud de la raíz principal en plantas de alverja y tasa de germinación en semillas de lechuga.

Obtención del extracto: Se secaron 600g de hojas frescas provenientes de cebollas recién cosechadas, en un horno de laboratorio UNB-500 Memmert, durante siete días, a $22 \pm 5^\circ\text{C}$. Después del proceso de secado, se pasó el producto por molino kitchenaid, reduciendo el producto a polvo, obteniendo 182,36g. Esto se hizo, con el fin de aumentar el área de contacto con el solvente y extraer, de manera más eficiente, las fitohormonas. Se introdujo el producto molido en etanol absoluto, en una proporción de 2:1 de etanol y cebolla, respectivamente. Se eligió el etanol, porque se comprobó, preparando diluciones ensayos previos del patrón del ácido giberético en este solvente, que éste es completamente soluble en el mismo.

Las soluciones de etanol y cebolla, se dejaron en un ambiente oscuro y fresco durante dos semanas, para poder lograr una mejor extracción del ácido, con agitación de 200 rpm (MR3001K, Heidolph), a 18°C . Para concentrar el extracto y retirar completamente el etanol, se realizó una destilación a presión reducida en rotaevaporador, de referencia Heidolph Laborota-400, a una temperatura no mayor a los 35°C y 200 psi y, luego, se colocó la muestra en una estufa (horno de laboratorio UNB-500 Memmert), a la misma temperatura, hasta obtener una pasta verde oscura, que fue pesada. Se obtuvieron 16,0090g consistentes de sustancias solubles en etanol como giberelinas y clorofila, entre otros.

Análisis espectrofotométrico: Para la cuantificación de ácido giberético en el extracto, primero se realizó un barrido en el espectro ultravioleta-visible (190-900 nm), con la muestra patrón de ácido giberético Auxillin® (Merck), al 10% p/v, en etanol absoluto, para identificar la longitud de onda en la que el ácido tenía su máxima absorbancia. Para calibrar el equipo, se empleó el mismo alcohol, que se preparó con una solución etanólica de concentración 10% p/v y se corrió el análisis de barrido en el espectrofotómetro (Genesys 10s-uv/vis, Thermo Scientific).

En el estudio espectrofotométrico, mediante los barridos realizados, se obtuvieron dos picos de máxima absorción en el espectro UV a 230 y 217nm, al emplear el patrón de ácido giberético (Auxillin® (Merck)) y en el extracto de las ramas de cebolla, lo cual, fue acorde con lo reportado por Contreras *et al.* (2001).

Para leer las absorbancias de todas las muestras, se escogió una longitud de onda igual a 217nm, que está entre el rango de la longitud de onda para el ácido giberético (Cuali *et al.* 2011); para tal efecto, se construyó una curva de calibración con ácido giberético al 90% (Merck), entre 50 a $300\mu\text{g/mL}$ en etanol; cada punto de esta curva, se realizó por triplicado. Una vez preparadas las soluciones, se procedió a leer la absorbancia de cada una de ellas a la longitud de onda seleccionada (Genesys 10s-uv/vis, Thermo Scientific). Se observó gran similitud entre las absorbancias de las concentraciones más bajas ($50 - 150\mu\text{g/mL}$), indicando que no existe diferencia entre los datos, pero a altas concentraciones ($200 - 300\mu\text{g/mL}$), se observó un incremento en la desviación estándar, por lo que se recomienda trabajar con concentraciones menores de $150\mu\text{g/mL}$ de esta fitohormona, para así disminuir el error entre los resultados.

Para el cálculo de la concentración de ácido giberético en los extractos, se tomaron las absorbancias medidas y se interpolaron en la ecuación de la recta obtenida en la curva de calibración.

Análisis del extracto por Cromatografía en Capa Fina (CCF):

Para corroborar la presencia del ácido giberético en el extracto obtenido, se realizaron estudios de cromatografía en capa fina y análisis cualitativo, que permitió identificar la presencia del ácido giberético en el extracto de cebolla obtenido (Castillo *et al.* 2007). Se disolvió una pequeña muestra de la pasta de cebolla obtenida (2mg), en un mililitro de etanol; luego, con ayuda de un capilar, se sembró una pequeña porción de la muestra y del patrón Auxillin® (Merck) en la placa de cromatografía en capa delgada (Merck), una al lado de la otra, con 0,8cm de distancia entre las muestras, se introdujo la lámina en un recipiente con ácido acético glacial, acetato de etilo y cloroformo en una proporción de 1:4:5, respectivamente, se permitió que el frente de corrido llegará hasta 0,5cm del extremo superior de la placa; este procedimiento se repitió tres veces. Las placas, se revelaron con una mezcla de ácido sulfúrico-etanol (95:5) y se determinaron las constantes Rf (Ratio of front), de las bandas que se desarrollaron.

Análisis de la funcionalidad biológica del extracto: Para determinar la funcionalidad biológica del ácido giberético en el extracto, se diseñaron dos experimentos: el primero, consistió en organizar tres grupos de plantas de arveja: control (agua), tratado con extracto ($0,5\text{mg/mL}$) y tratado con patrón de ácido giberético comercial ($0,1\text{mg/mL}$), cada uno conformado por siete individuos, con un diseño experimental completamente al azar; las variables de respuesta fueron: longitud de los tallos, número de hojas y longitud de la raíz principal. Para el segundo experimento, se organizaron los mismos grupos de tratamiento con semillas de lechuga, con 39 individuos en cada grupo, para estudiar su relación con la germinación de las mismas; cada grupo fue sembrado en

vasos con agua estéril y se les puso algodón en la parte superior, de tal manera, que el algodón tocara el agua, para que éste se mantuviese hidratado y las semillas tuvieran una fuente de agua permanente; la variable de respuesta fue el número de semillas germinadas. El nivel de agua original, se mantuvo constante todo el tiempo. Los vasos con las semillas, se dejaron en un cuarto con ventilación permanente, luz solar indirecta y con una temperatura promedio de 13°C. Las semillas del grupo uno, se rociaron por una sola vez, con 2mL de agua cada uno; las semillas del grupo dos, con 2mL, de una solución preparada con el extracto (0,5mg/mL) y, a las semillas del tercer grupo, se rociaron con 2mL del patrón de ácido giberélico (0,1mg/mL). Cada uno de los experimentos, se realizó tres veces.

Análisis estadístico. Para cada uno de los experimentos, se llevó a cabo el análisis de varianza y la prueba de Tukey ($p < 0.05$), para determinar diferencias entre los tratamientos utilizando el software SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó que el espectro UV de los extractos de cebolla era similar al patrón de ácido giberélico comercial (Auxillin®, Merck) y al obtenido por Contreras *et al.* (2001); sin embargo, el barrido mostró, para el extracto, un pequeño corrimiento (0,2nm) en la longitud de onda de mayor absorción frente al patrón de ácido giberélico. Esto pudo haber ocurrido, porque el ácido giberélico que se encuentra en la cebolla no está puro, consiste en una mezcla de giberelinas, que presentan absorción de la luz, a longitudes de onda entre los 210nm y los 230nm (Contreras *et al.* 2001), y a otros compuestos presentes en la mezcla, que interactúan con el ácido giberélico y causan un efecto hipsocrómico es decir desplazamiento hacia longitudes de onda más cortas. Se determinó, que el contenido de ácido giberélico en el extracto fue de 30,8%, en masa y, en la cebolla seca, de alrededor del 2,70%, que indica un alto contenido de esta fitohormona, en el concentrado obtenido.

En los estudios de cromatografía en capa fina (CCF), se encontró una banda para el patrón y el extracto, correspondiente a un Rf de 0,44, la cual, fue fluorescente bajo irradiación, con luz UV (254 y 350nm); este mismo resultado ha sido reportado por otros autores, para el ácido giberélico, obtenido de otras fuentes (Cuali *et al.* 2011; Castillo *et al.* 2007). La intensa fluorescencia presentada en el extracto permitió concluir que la concentración de ácido giberélico era alta, concordante con el valor de la concentración de ácido obtenido en los estudios espectrofotométricos. Mediante estos ensayos, se pudo determinar la presencia y la cantidad de ácido giberélico en las ramas de cebolla junca.

A nivel funcional, en plantas de arveja, se apreció claramente el efecto que tiene el extracto (0,5mg/mL) y el patrón de ácido giberélico Auxillin® (0,1mg/mL), en la elongación de los tallos; las plantas que estuvieron en contacto con el extracto son en promedio 18cm más altas y, para el patrón, 25cm más altas, aunque se proporcionó en una dosis, con una concentración cinco veces más baja que el extracto. Estadísticamente, por la prueba de Tuckey (95%), no se encontró diferencia entre la longitud del tallo de plantas tratadas con el extracto de cebolla y las tratadas con el patrón de ácido giberélico (Figura 1). Este fenómeno fisiológico fue el más notable y el primero que se le asignó a la aplicación de giberelinas en plantas enanas y en roseta y se debe, principalmente, a la activación de la elongación y la división celular (Balaguera *et al.* 2009). La actividad de algunas de las enzimas de la pared se ha correlacionado con el crecimiento inducido por giberelinas y la despolimerización de la pared celular (Taiz & Zeiger, 2010). Las giberelinas promueven el crecimiento celular, debido a que incrementan la hidrólisis de almidón, de fructanos y de sacarosa, con lo que se originan moléculas de fructosa y de glucosa. Estas hexosas proporcionan energía, vía respiración, contribuyendo a la formación de la pared celular; también hacen momentáneamente más negativo el potencial hídrico de la célula, lo que genera que el agua penetre con mayor rapidez, provocando la expansión celular y diluyendo los azúcares (Herrera *et al.* 2006). El elongamiento del tallo se ha encontrado en otras plantas, como las de tomate, provenientes de semillas embebidas en diferentes soluciones de GA₃ (Balaguera *et al.* 2009), maracuyá dulce (*Passiflora alata*) (Leonel & Pedroso, 2005) y soya (Tanimoto, 1990), como respuesta a la extensibilidad de la pared celular. Con este ensayo, se evidencia funcionalmente la presencia de ácido giberélico en el extracto, al estimular la elongación del tallo, específicamente, de la distancia intermodal en las plantas, que fueron tratadas con esta mezcla.

Se encontró una diferencia significativa estadísticamente ($p \leq 0.05$) entre las plantas que fueron expuestas al extracto o al patrón, en cuanto al número de hojas producidas (Figura 2), en comparación con el tratamiento control.

Como se puede observar en la figura 2, las plantas que estuvieron expuestas al extracto o al patrón presentaron tres veces mayor cantidad de hojas que las plantas control, mostrando que el ácido giberélico ejerce un aumento en el follaje de las plantas. Paroussi *et al.* (2002) determinaron que la aplicación de GA₃, en una concentración de 200mg/L en fresa (*Fragaria x annanassa* Duch.), aumentaba el follaje, pero causó un excesivo incremento de la longitud del peciolo y de las inflorescencia, reduciendo la producción de frutos; no obstante, los mismos autores reportaron que con 50mg/L de GA₃, se incremento en un 71% el follaje frente al testigo, sin afectar negativamente el desarrollo de la planta y la producción. Resultados similares en aumento de follaje, por

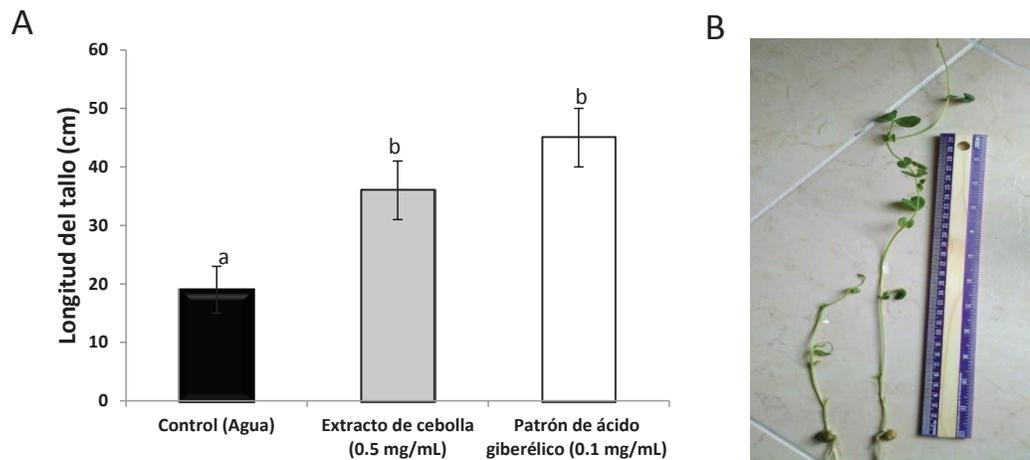


Figura 1. A) Comparación de la longitud de los tallos entre las plantas de los tres grupos de tratamiento, ($n = 7$) se muestran los promedios \pm desviación estándar, letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) por el test de Tukey. B) Fotografía para ilustrar la diferencia entre el tallo de una planta control y una planta con extracto de cebolla, a los diez días de su aplicación.

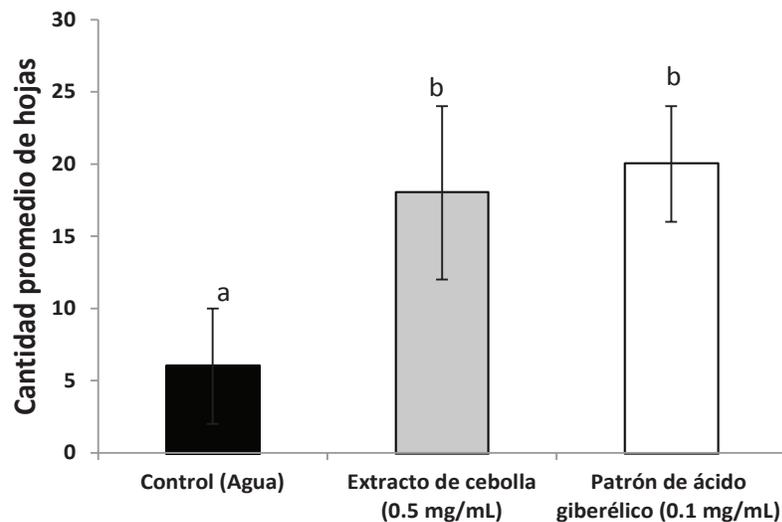


Figura 2. Comparación entre la cantidad de hojas que produjeron las plantas control frente a las expuestas al extracto (0,5mg/mL) y el patrón de ácido giberético (0,1mg/mL), ($n = 7$), se muestran los promedios \pm desviación estándar, letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) por el test de Tukey.

la acción de GA_3 , también han sido descritos en remolacha (Garrod, 1974), en plántulas de papayo (Andrade *et al.* 2008) y en soya, lo cual, se atribuyó a la elongación celular (Leite *et al.* 2003).

En cuanto al efecto del extracto y del patrón de ácido giberético en la elongación de la raíz, no se observaron diferencias

en las plantas pertenecientes a estos dos grupos, en comparación con el grupo control, por la prueba de Tuckey ($p \leq 0.05$). Este resultado es contradictorio con los encontrados por algunos investigadores en *Arabidopsis*, donde se ha determinado que el GA_3 promueve el crecimiento de la raíz induciendo la degradación de proteínas, mediante la coacción con otras hormonas (Achard *et al.* 2003; Fu & Harberd,

2003; Fleet & Sun, 2005). Estas diferencias pueden ser debidas a las formas en como se condujeron los experimentos. Adicionalmente, Schmidt *et al.* (2003) mencionan que la acción de un regulador de crecimiento depende de los factores ambientales, el número y período de aplicación, la concentración utilizada, el estadio de crecimiento y la especie o cultivo evaluado, razones por las cuales, se pueden presentar comportamientos diferentes, bajo el mismo estímulo.

Igualmente, se pudo comprobar el efecto que tiene el ácido giberélico sobre la tasa de germinación de las semillas de lechuga; en promedio, el 90% de las semillas expuestas al extracto germinaron, mientras que solamente el 64% de las semillas expuestas a agua germinaron; la mayor diferencia se obtuvo con la aplicación del patrón de ácido giberélico, pues con él germinaron el 92% de las semillas; no se obtuvo diferencia estadística por la prueba de Tuckey ($p \leq 0.05$), en

el número de semillas germinadas, entre los grupos tratados con el extracto frente a las tratadas con el patrón (Figura 3). Este efecto, se puede deber a los efectos pleiotropicos del ácido giberélico como regulador de la germinación de las semillas, en alguna de las siguientes etapas: la activación del crecimiento vegetativo del embrión, el debilitamiento de la capa del endospermo constreñida por el crecimiento que rodea al almidón y la movilización de las reservas almacenadas en el endospermo (Taiz & Zeiger, 2010).

El GA₃, se produce industrialmente vía microbiana por fermentación sumergida del hongo *Gibella fujikoi* (Shukla *et al.* 2005); sin embargo, en los últimos años se han realizado estudios para la obtención de GA₃, que se basan, principalmente, en el mejoramiento de las condiciones para el crecimiento de las cepas productoras de GA₃, nuevos diseños de fermentación y procesos de separación del principio activo (Rodrigues *et al.* 2009; Berrios *et al.* 2010).

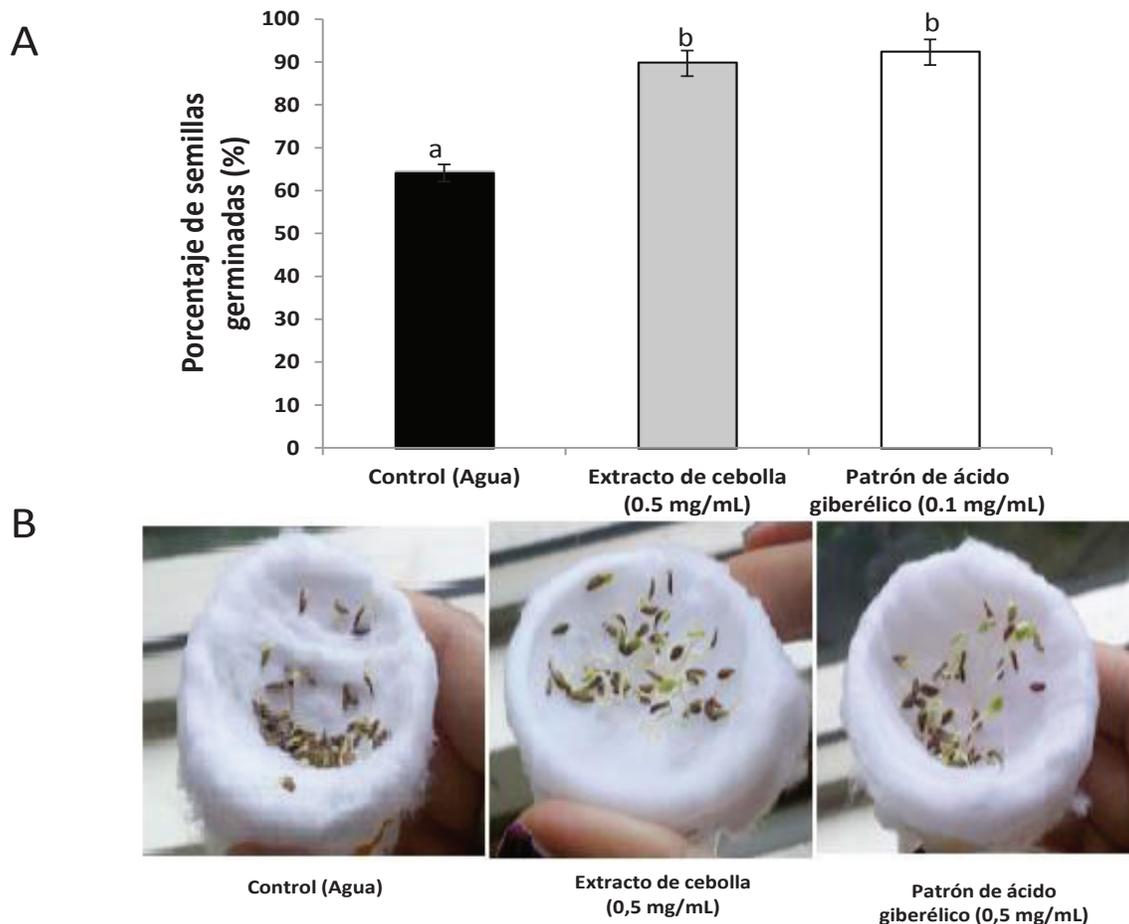


Figura 3. A) Porcentaje de germinación de las semillas de lechuga entre las plantas de los tres grupos de tratamiento, (n = 39), se muestran los promedios \pm desviación estándar, letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) por el test de Tukey. B) Fotografía para ilustrar la diferencia entre la cantidad de semillas germinadas entre el grupo control y los grupos con extracto de cebolla y patrón de ácido giberélico a los cuatro días de su aplicación.

Actualmente, se está evaluando el efecto que tiene GA₃ en cultivos específicos (Khan *et al.* 2006; Sharma & Singh, 2009; Mansouri *et al.* 2011; Afshari *et al.* 2011; da Silva *et al.* 2011; Dagar *et al.* 2012; Cardoso *et al.* 2012; Imsabai & van Doorn, 2013) y se han obtenido grandes avances en el mecanismo de biosíntesis y de acción de la misma (Karakoc & Aksoz, 2006; Schwechheimer & Willige, 2009).

El principal problema de la producción de ácido giberético consiste en la extracción y la purificación del ácido, que puede representar un porcentaje considerable en el costo total del proceso, debido a la baja concentración que se presenta en el medio de cultivo final y la presencia de otras sustancias, como el ácido acético, láctico y otras giberelinas (Eleazar, 2000). Aunque el contenido de ácido giberético en las ramas de la cebolla junca es bajo (2,7%) comparado con el trabajo de Corona *et al.* 2005, en el cual, por medio de fermentación con el hongo *Gibberella fujikuroi* en estado sólido, utilizando harina de trigo y almidón soluble, como sustrato y optimizando las condiciones físicas y químicas en bioreactores, consistentes en columnas de vidrio, obtuvo 4,5-5,0% de ácido giberético; esta puede ser una fuente alterna promisoriosa y darle un valor agregado a este tipo de material agrícola, que forma parte de los desperdicios en la industria de alimentos.

Por otra parte, en presencia del extracto y del patrón, se evidenció un mayor número de semillas germinando, 28 y 30% más, respectivamente, que en el grupo control.

Tomando en conjunto los resultados, se puede concluir que es posible obtener un extracto de ácido giberético a partir de las hojas de la cebolla larga, desecho agrícola que forma parte de la basura de los restaurantes y de los hogares en Colombia.

Agradecimientos: Los autores expresan sus agradecimientos a la Facultad de Ingeniería y a la División de Investigación de la Universidad de La Sabana, por la financiación de la presente investigación. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACHARD, P.; VRIEZEN, W.; VAN DER STRAETEN, D.; HARBERD, N. 2003. Ethylene regulates Arabidopsis development via the modulation of DELLA protein growth repressr function. *Plant Cell*. 15:2816-2825.
2. AFSHARI, H.; EFTEKHARI, M.; FARAJI, M.; EBADI, A.; ABBASPOUR, H. 2011. Effect of different levels of gibberellic acid on seed sprouting of some species of *Salvia* genus grown in Iran. *J. Med. Plant. Res.* 5(18):4688-4690.
3. ANDRADE, M.; AYALA, J.; ALIA, I.; RODRÍGUEZ, H.; ACOSTA, C.; LÓPEZ, V. 2008. Effect of germination promoters and substrates in the development of papaya seedlings. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 25:617-635.
4. BALAGUERA, H.; CÁRDENAS, J.; ÁLVAREZ, J. 2009. Effect of gibberellic acid (GA3) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Acta Hort.* 821:141-148.
5. BERRIOS, J.; PYLE, D.; AROCA, D. 2010. Gibberellic acid extraction from aqueous solutions and fermentation broths by using emulsion liquid membranes. *J. Membr. Sci.* 348(1-2):91-98.
6. CARDOSO, J.; ONO, E.; RODRIGUES, J. 2012. Gibberellic acid in vegetative and reproductive development of Phalaenopsis orchid hybrid genus. *Hortic. Bras.* 30(1):71-74.
7. CASTILLO, G.; ORTEGA, G.; CARABEO, V.; DELGADO, G.; MICHELENA, G. 2007. Determinación cualitativa de giberelinas y auxinas por cromatografía de capa fina. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. 1:12-17.
8. CHÁVEZ, M.; GONZÁLEZ, O.; NEGRETE, M.; VALLARINO, I.; ALATORRE, G.; ESCAMILLA, E. 2008. Kinetic of the gibberellic acid and bikaverin production in an airlift bioreactor. *Process Biochem.* 43:855-860.
9. CONTRERAS, P.; FAINI, F.; ROJAS, M. 2001. Obtención y separación de giberelinas lactónicas producidas por el hongo *Gibberella fujikuroi* para usarlas como estándares cromatograficos. *Bol. Soc. Chil. Quím.* 46(2):197-202.
10. CORONA, A.; SÁNCHEZ, D.; AGOSTIN, E. 2005. Effect of water activity on gibberellic acid production by *Gibberella fujikuroi* under solid-state fermentation conditions. *Process Biochem.* 40:2655-2658.
11. CÚALI, I.; PAVÓN, S.; COLÍN, A. 2011. Producción de ácido giberético a partir de *Gibberella fujikuroi* utilizando lodo residual municipal como sustrato. *Univ. Sci.* 16(1):51-62.
12. DAGAR, A.; WEKSLER, A.; FRIEDMAN, H.; LURIE, S. 2012. Gibberellic acid (GA3) application at the end of pit ripening: Effect on ripening and storage of two

- harvests of 'September Snow' peach. *Scientia Hort.* 140:125-130.
13. DANE. 2011. Dirección de Metodología y Producción Estadística – DIMPE -. Resultados Encuesta Nacional Agropecuaria ENA. Producción de cebolla junca en Colombia. Reportes estadísticos del sector agropecuario con base en evaluaciones agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. En línea: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/Estad%C3%ADsticas/ReportesEstad%C3%ADsticos.aspx> (con acceso 16/07/2013).
 14. DA SILVA VIEIRA, M.; PEREIRA, G.; VACARO, A.; NEPOMUCENO, P.; GUIMARAES, C.; DE SOUSA, L.; GERALDO, N. 2011. Effect of gibberellic acid in the quality of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* L.) c. *Faroe. Afr. J. Biotechn.* 10(71):15933-15937.
 15. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. 2001. Primer censo del cultivo de cebolla larga en la región de la Laguna de Tota. Bogotá: DANE. p.24.
 16. ELEAZAR, M. 2000. Optimization of gibberellic acid production by immobilized *Gibberella fujikuroi* mycelium in fluidized bioreactors. *J. Biotechnol.* 76(2-3):147-155.
 17. FLEET, C.; SUN, T. 2005. A DELLAcate balance: the role of gibberellin in plant morphogenesis. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 8:77-85.
 18. FU, X.; HARBERD, N. 2003. Auxin promotes Arabidopsis root growth by modulating gibberellin response. *Nature.* 421:740-743.
 19. GARROD, J. 1974. The role of gibberellins in early growth and development of sugar beet. *Plant Cell Physiol.* 25(5):945-954.
 20. HERRERA, J.; ALIZAGA, R.; GUEVARA, E.; JIMÉNEZ, V. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales.* Editorial UCR. Vol. 4, 108p.
 21. IMSABAI, W.; VAN DOORN, W.G. 2013. Effects of auxin, gibberellin, and cytokinin on petal blackening and flower opening in cut lotus flowers (*Nelumbo nucifera*). *Postharvest Biol. Technol.* 75:54-57.
 22. KARAKOC, S.; AKSOZ, N. 2006. Some optimal cultural parameters for gibberellic acid biosynthesis by *Pseudomonas* sp. *Turk. J. Biol.* 30:81-85.
 23. KHAN, M.; GAUTAM, C.; MOHAMMAD, F.; SIDDIQUI, M.; NAEEM, M.; KHAN, M. 2006. Effect of Gibberellic Acid Spray on Performance of Tomato. *Turk. J. Biol.* 30:11-16.
 24. LEITE, V.; ROSOLEM, A.; RODRIGUES, J. 2003. Gibberellin and cytokinin effects on soybean growth. *Sci. Agric.* 60(3):537-541.
 25. LEONEL, S.; PEDROSO, C. 2005. Producao de mudas de maracujazeiro-doce com o uso de biorregulador. *Rev. Bras. Frutic.* 27(1):107-109.
 26. MANSOURI, H.; ASRAR, Z.; AMAROWICZ, R. 2011. The response of terpenoids to exogenous gibberellic acid in *Cannabis sativa* L. at vegetative stage. *Acta Physiol. Plant.* 33 (4):1085-1091.
 27. MELEIGY, S.; KHALAF, M. 2009. Biosynthesis of gibberellic acid from milk permeate in repeated batch operation by mutant *Fusarium moniliforme* cells immobilized on loofa sponge. *Bioresour Technol.* 100:374-379.
 28. PAROUSSI, G.; VOYIATZIS, D.; PAROUSSI, E.; DROGOUR, P. 2002. Growth, flowering and yield responses to GA3 of strawberry grown under different environmental conditions. *Scientia Hort.* 9:103-113.
 29. PINZÓN, H. 2004. La cebolla de rama (*Allium fistulosum*) y su cultivo. Bogotá D.C. Corpoica. 40p.
 30. RODRIGUES, C.; PORTO DE SOUZA, L.; TEODORO, J.; FRARON, J.; PANDEY, A.; SOCCOL, C. 2009. A New Alternative to Produce Gibberellic Acid by Solid State Fermentation. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 52:181-188.
 31. SCHMIDT, C.; BELLE, R.; NARDI, C.; TOLEDO, K. 2003. Acido giberelico (GA3) no crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) de corte viking: cultivo de verao. *Ciencia Rural.* 33(2):267-274.
 32. SCHWECHHEIMER, C.; WILLIGE, B. 2009. Shedding light on gibberellic acid signalling. *Curr. Opin. Plant Biol.* 12(1):57-62.
 33. SHARMA, R.; SINGH, R. 2009. Gibberellic acid influences the production of malformed and button berries, and fruit yield and quality in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Scientia Hort.* 119(4):430-433.
 34. SHUKLA, R.; CHAND, S.; SRIVASTAVA, A. 2005. Batch kinetics and modeling of gibberellic acid produc-

- tion by *Gibberella fujikuroi*. *Enz. Microb. Technol.* 36(4):492-497.
35. SILVEIRA, M.; MONEREO, S.; MOLINA, B. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima ¿Cerca o lejos? *Rev. Esp. Salud Públ.* 77:323-324.
36. STERN, R.; BEN-ARIE, R. 2009. GA3 inhibits flowering, reduces hand-thinning, and increases fruit size in peach and nectarine. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 84(2):119-124.
37. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2010. Gibberellins: Regulators of Plant Height and Seed Germination, In: *Plant Physiology*. California: He Benjamin/Cumming Publishing Company, Inc. Fifth ed. p.583-621.
38. TANG, Z.; ZHOU, R.; DUAN, Z. 2000. Separation of gibberellic acid (GA3) by macroporous adsorption resins. *J. Chem. Technol. Biot.* 75:695-700.
39. TANIMOTO, E. 1990. Gibberelin requirement for the normal growth of roots. En: Takahashi, N.; Phinney, B.; MacMillan, J. (eds.). *Gibberelins*. Springer-Verlag, New York. p.229-240.
- Recibido: Abril 9 de 2013
Aceptado: Octubre 7 de 2013

Como citar:

Díaz, L.E.; Henao, A.; Ramírez, L.A. 2013. Residuo agrícola de cebolla larga como fuente de ácido giberético. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 369-377.

VARIABILIDAD GENÉTICA EN SEMILLAS DE ÁRBOLES INDIVIDUALES DE *Tectona grandis* L.f. EN LA CONFORMACIÓN DE LOTES MEZCLADOS EN CÓRDOBA, COLOMBIA

GENETIC VARIABILITY IN *Tectona grandis* L.f. SEEDS OF INDIVIDUAL TREES IN THE CONFORMATION OF MIXED SEEDLOTS IN CÓRDOBA, COLOMBIA

Ender Correa¹, Miguel Espitia², Hermes Araméndiz², Olman Murillo³, Iván Pastrana⁴

¹I.A. M.Sc., Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia, endermanz@hotmail.com; ²I.A. Ph.D., Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Diagonal 50 # 8-105 Barrio Villa del Rio Montería, Córdoba, mespitia37@hotmail.com; haramendiz@hotmail.com; ³I.F. Ph.D., Instituto Tecnológico de Costa Rica, olmuga@yahoo.es; ⁴I.A. M.Sc., Corpoica C.I. Motilonia Codazzi, Colombia, ijp0710@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 379-389, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Para determinar el impacto del aporte individual de cada árbol en lotes mezclados, las implicaciones en la variabilidad genética de las futuras plantaciones y la estimación de parámetros genéticos para caracteres de germinación y de dimensiones de semillas, se estudiaron 14 lotes de semilla de árboles plus de *Tectona grandis* L.f., seleccionados en plantaciones comerciales del departamento de Córdoba. En una muestra de 100 semillas/lote, se estimaron las variables alométricas y los parámetros fisiológicos. El porcentaje de germinación (PG) presentó un ámbito de dispersión amplio, con valores desde 0% hasta 40%; mientras que los caracteres alométricos, ancho y largo máximo (AS, LS) y la relación ancho/largo (RAL) mostraron poca variación. Los parámetros fisiológicos registraron una correlación genética significativa, con valores de $r_G \geq 0,91^{**}$, mientras que los caracteres alométricos presentaron valores significativos, menores ($r_G \leq 0,53^{**}$). Se registró una heredabilidad media familiar (h^2) $\geq 0,87$ en los caracteres investigados. Estos resultados reproducen la situación típica de programas semilleros, cuya información es importante para la obtención apropiada de lotes de semilla comercial, en mezcla de varios árboles; permite contribuir con la planeación y la conservación de la variabilidad genética y el manejo de las unidades productoras de germoplasma.

Palabras clave: Conservación, germoplasma, teca, parámetros genéticos, recursos fitogenéticos forestales.

SUMMARY

The aim of this research was to evaluate the impact of individual trees in mixed seed lots, its implications in genetic variability in future plantations, as well as, the estimation of their seed and germination genetic parameters in 14 individual plus tree seed lots of *Tectona grandis* L.f. from commercial plantations in Córdoba (Colombia). A sample of 100 seeds/lot was used to estimate allometric variables and physiological parameters. The germination percentage (GP) registered wide dispersion values from 0 to 40%, while the allometric parameters maximum with and length (MW, ML), and with/length ratio (WLR), presented low variation. Among physiological parameters significant genetic correlations with values $r_G \geq 0.91^{**}$ were registered. Meanwhile, genetic correlations among allometric parameters were also significant but with lower values, $r_G \leq 0.53^{**}$. High mean family heritabilities (h^2) ≥ 0.87 were registered in all investigated traits. These results show the typical situations in seed programs therefore, this information is important for the proper constitution of commercial mixed seed lots. This knowledge contributes to the planning of genetic conservation and genetic variability in plantations, as well as to the management of germplasm production units.

Key words: Conservation, germoplasma, teak, genetic parameters, forest genetic resources.

INTRODUCCIÓN

De cerca de 900 mil ha con aptitud forestal en Córdoba, solamente 30 mil están plantadas, con fines comerciales, con especies maderables nativas e introducidas, como *Tectona grandis* Linn. F, *Gmelina arborea* Roxb. y *Acacia mangium* Willd., que abarcan un 57,5% del área total, lo que refleja la importancia de estas especies en la actividad forestal del departamento; para el 2030, se estima una superficie forestal plantada de 100 mil ha (CFC, 2011).

La variabilidad genética refleja su importancia al permitir amortiguar algunos efectos ambientales nocivos; además, da lugar a procesos genéticos, como el flujo de genes y la selección natural y reduce la deriva genética y endogamia (Namkoong, 1997; Boshier & Amaral, 2004). Esta variabilidad, se reduce en plantaciones forestales establecidas a partir de clones o pocos genotipos, o si todo el programa de mejoramiento genético (PMG) se basa en un bajo número de árboles seleccionados (Schuhli & Paludzyszyn-Filho, 2010; Lo *et al.* 2010). Por tanto, al planear la actividad forestal comercial, se debe garantizar una variabilidad genética mínima en campo (Murillo *et al.* 2012).

Rego *et al.* (2005) y Costa *et al.* (2009) indican que estudiar la variabilidad genética de lotes mixtos de semillas de árboles plus constituye una fase de pre-mejoramiento, que brinda información importante para establecer un PMG, que incluya la conservación de tal variabilidad en las plantaciones. Así mismo, Alba-Landa *et al.* (2007) sugieren la posibilidad de poder elegir, desde semillas y plántulas, cuáles serán las de mejor calidad para ambientes diferentes, como conocimiento básico, para selección temprana.

La calidad fisiológica de semillas se ha correlacionado con características, como coloración, tamaño, peso y contenido de humedad, entre otras (Rodríguez-Rivas *et al.* 2001; Araújo *et al.* 2004; Niembro *et al.* 2007). En fitomejoramiento, las asociaciones entre caracteres de interés se evalúan por medio de correlaciones genotípicas, fenotípicas y ambientales; solamente la primera, se emplea para orientar PMG, por ser la única de naturaleza heredable; por ello, si dos caracteres presentan una correlación genética alta es posible seleccionar uno de ellos, a través de la selección del carácter asociado (Vallejo *et al.* 2010).

Entre los parámetros genéticos en poblaciones vegetales, se resaltan la heredabilidad y el coeficiente de variación genético. Ambos parámetros son buenos indicadores de variabilidad y de ganancia genética de los caracteres de interés en programas mejoramiento genético (Resende, 2007; Adewale *et al.* 2010; Shimelis & Shiringani, 2010).

El presente estudio tuvo como objetivo principal determinar

el efecto en la variabilidad genética de lotes individuales de semilla de árboles plus de *T. grandis* L.f. en la conformación de un lote mezclado. Además, se determinaron varios parámetros genéticos de la población y se obtuvieron correlaciones entre caracteres alométricos y fisiológicos de las semillas investigadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se adelantó en el invernadero y laboratorio de Fitomejoramiento de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), durante el 2011 y 2012. Se evaluaron 14 lotes familiares de semilla sexual de polinización libre de árboles plus de *T. grandis* L.f., seleccionados en diferentes plantaciones comerciales del departamento de Córdoba (Colombia), más una mezcla balanceada de estos lotes individuales. Dado que la teca es considerada una especie prevalentemente alógama (Dias *et al.* 2009; Schuhli & Paludzyszyn-Filho, 2010), para los análisis estadísticos, se asumió que cada lote correspondió a una familia de medios hermanos.

En laboratorio, se determinaron variables alométricas de semilla: ancho máximo (AS), largo máximo (LS), relación ancho/largo (RAL) y peso fresco (PS). Se utilizó el diseño experimental completamente al azar, con 15 tratamientos y cuatro repeticiones de 25 semillas, a fin de analizar el efecto en la pérdida de variación genética al eliminar la semilla pequeña y de poco peso en lotes mezclados.

Los parámetros fisiológicos de semillas: porcentaje de germinación (PG), índice de velocidad de germinación (IVG), germinación diaria media (GDM), valor pico (Vp) y valor de germinación (VG), se evaluaron en invernadero utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar con 15 tratamientos y cuatro repeticiones de 25 semillas. Debido a la dureza del mesocarpio de los frutos y la dificultad de extracción de sus semillas, que son pequeñas y delicadas, cada fruto no escarificado fue tratado como una semilla, criterio considerado común para varias especies forestales, de acuerdo a Figliolia *et al.* (1993) e ISTA (2009).

El tratamiento pre-germinativo consistió en cuatro ciclos de humedecimiento y secado a temperatura ambiente bajo sombra, con periodos intercalados de 24 horas por ciclo. Las semillas fueron sembradas en camas de germinación, con sustrato 100% de arena cuarsítica. La germinación fue valorada durante 55 días. El PG fue considerado como el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo; el IVG fue calculado mediante la fórmula recomendada por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{P_1}{T_1} + \frac{P_2}{T_2} + \frac{P_3}{T_3} + \dots + \frac{P_n}{T_n};$$

Donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = número de plántulas normales, germinadas y completas en el primer, segundo, tercer y último conteo de la evaluación. $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ = tiempo en días para cada germinación.

La GDM, se consideró como la relación entre el porcentaje acumulado de semillas germinadas al final del ensayo y el número de días desde la siembra al término del ensayo; el V_p como la GDM máxima alcanzada en el ensayo y el VG, correspondió al producto de la GDM con el VM (Czabator, 1962).

En todas las variables estudiadas, los resultados se ordenaron en categorías (alto, medio y bajo), a fin de poder relacionarlos con cada familia y su aporte al lote mezclado. Para el PG, las categorías fueron definidas de acuerdo a los siguientes rangos: Alto: > 66,6%, Medio: entre 33,3 y 66,6% y Bajo: < 33,3%. En cuanto a las demás variables, se consideró al valor máximo obtenido en cada variable como el 100%, a partir del cual, se establecieron, entonces, las tres categorías descritas anteriormente. Los datos fueron analizados mediante estadística paramétrica descriptiva, correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales y estimación de parámetros genéticos.

La estadística descriptiva, se consideró para analizar la variabilidad genética existente dentro y entre árboles en una población de teca, en este caso, de árboles plus. Los análisis de correlaciones, entre todos los caracteres evaluados, se usaron para identificar relaciones entre parámetros fisiológicos de germinación y características físicas de semillas, buscando sustentar mejores prácticas de manejo de lotes mezclados de semillas.

Los análisis de estadística descriptiva y las correlaciones, se realizaron mediante el uso del programa computacional GENES versión Windows (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004). Para estimar las correlaciones, el programa aplica las fórmulas clásicas de correlación:

- a) Correlación fenotípica ($r_{F(XY)}$); $r_{F(XY)} = \text{COV}_{F(XY)} / S_{F(X)} \cdot S_{F(Y)}$
 b) Correlación genética ($r_{G(XY)}$); $r_{G(XY)} = \text{COV}_{G(XY)} / S_{G(X)} \cdot S_{G(Y)}$
 c) Correlación ambiental ($r_{E(XY)}$); $r_{E(XY)} = \text{COV}_{E(XY)} / S_{E(X)} \cdot S_{E(Y)}$

Dónde: $r_{(XY)}$, $\text{COV}_{(XY)}$, $S(X)$ y $S(Y)$ son las correlaciones, covarianzas y las desviaciones estándar fenotípicas, genéticas y ambientales entre los caracteres X e Y, respectivamente.

Una vez estimados los coeficientes de correlación, se confirmó la significancia estadística para cada coeficiente de correlación, planteando la hipótesis nula: $H_0: \rho = 0$ versus la hipótesis alterna: $H_a: \rho \neq 0$, mediante una prueba de T, dada por la siguiente fórmula (Steel & Torrie, 1980):

$$Tc = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}}$$

La T calculada (T_c): se comparó con una T tabular (T_t), al nivel de significancia seleccionado: 0,05 y 0,01 y con $(n-2)$ grados de libertad. La regla de decisión fue: sí $T_c \geq T_t$, entonces el valor de ρ es estadísticamente diferente de cero.

Los parámetros genéticos estimados fueron heredabilidad media familiar (h^2), exactitud de la selección de progenie (Acprog), coeficiente de variación genética aditiva individual (CVgi) y coeficiente de variación relativa (CVr). La estimación de estos parámetros, se realizó con el software Selegen-Rem/Blup (Resende, 2006), utilizando el modelo 1 (diseño de bloques al azar, progenies de medios hermanos, varias plantas por parcela), para las variables alométricas y el modelo 19 (diseño de bloques al azar, evaluación de familias de medios hermanos y el conjunto de semillas/familia/repetición es la parcela), para los parámetros de calidad fisiológica:

Modelo 1: $y = Xr + Za + Wp + e$;

Modelo 19: $y = Xr + Za + e$

Donde “y” es el vector de datos, “r” el vector de efectos de repetición sumados a la media general, “a” el vector de efectos genéticos aditivos individuales, “p” el vector de efectos de parcela y “e” el vector de errores residuales. Las mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos (Resende, 2006). Estos parámetros permite discutir el potencial de mejoramiento genético en caracteres alométricos y fisiológicos de la semilla, para un mejor manejo de lotes mezclados de semillas.

Finalmente, con los valores de germinación de cada uno de los 14 lotes de semilla, se construyó una población hipotética de 1.111 plántulas equivalente a 1ha plantada a 3m x 3m, donde cada familia aportaría el mismo número de plántulas, a fin de analizar y discutir la variabilidad genética real de esta plantación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grupo de variables fisiológicas de las semillas evidenció diferencias estadísticas significativas ($Pr < 0,01$) entre lotes, indicando que al menos uno de los lotes presentó promedio estadísticamente diferente para PG, IVG, VG, GDM y V_p (Tabla 1). Resultados similares han sido reportados por Vieira *et al.* (2009), Costa *et al.* (2009), Dias *et al.* (2009), Rocha *et al.* (2011), Ferreira *et al.* (2012), Silva *et al.* (2012) y Gallo *et al.* (2012).

Tabla 1. Parámetros fisiológicos, alométricos y peso de semillas de 14 árboles plus de *Tectona grandis* L.f., seleccionados en el departamento Córdoba, Colombia.

Árbol	PG (%)	IVG	VG	GDM	Vp	AS (cm)	LS (cm)	RAL	PS (g)
	Fisiológicos					Alométricos			
1	7,0	0,36	0,05	0,13	0,29	1,40	1,32	1,06	0,90
2	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	1,14	1,07	0,55
3	5,0	0,29	0,03	0,09	0,27	1,35	1,38	0,98	0,62
4	16,0	0,64	0,13	0,29	0,44	1,60	1,35	1,19	0,93
5	29,0	1,85	0,75	0,53	1,35	1,48	1,24	1,20	0,65
6	17,0	0,60	0,16	0,31	0,37	1,48	1,36	1,10	0,75
7	20,0	1,53	0,40	0,36	1,12	1,24	1,30	0,96	0,57
8	13,0	1,21	0,27	0,24	0,86	1,34	1,30	1,04	0,64
9	22,0	0,70	0,25	0,40	0,47	1,39	1,26	1,10	0,81
10	4,0	0,11	0,01	0,07	0,09	1,37	1,39	0,99	0,76
11	9,0	0,58	0,09	0,16	0,49	1,30	1,27	1,03	0,66
12	40,0	3,76	1,97	0,73	2,61	1,32	1,28	1,04	0,62
13	18,0	1,65	0,41	0,33	1,19	1,23	1,21	1,02	0,48
14	6,0	0,51	0,07	0,11	0,42	1,27	1,28	1,00	0,62
MBS	19,0	1,33	0,36	0,35	0,86	1,33	1,32	1,01	0,62
SIGEST.	**	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
MG	15,0	1,01	0,33	0,27	0,72	1,35	1,29	1,05	0,68
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	1,14	0,96	0,48
Max	40,0	3,76	1,97	0,73	2,61	1,60	1,39	1,20	0,93
CV (%)	70,3	94,4	150,9	70,3	91,2	7,8	5,1	6,6	18,7
CB (%)	93,3	66,7	86,7	40,0	73,3	0	0	0	0
CM (%)	6,7	26,7	6,7	46,7	20,0	0	0	0	26,7
CA (%)	0,0	6,7	6,7	13,3	6,7	100	100	100	73,3

PG: porcentaje de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación; VG: valor de germinación; GDM: germinación diaria media; Vp: valor pico; AS: ancho de semilla; LS: largo de semilla; RAL: relación ancho/largo de semilla; PS: peso de semilla; MBS: mezcla balanceada de semillas; SIGEST: significancia estadística; MG: media general; Min: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variación; CB: categoría baja; CM; categoría media; CA: categoría alta.

Los porcentajes de germinación (PG) variaron desde 0% hasta 40% ($\bar{x} = 15\%$; CV= 70,3%), obteniéndose que el 93,3% y el 6,7% de los árboles presentan PG bajos y medios, respectivamente (Tabla 1). El amplio ámbito de dispersión de los PG podría ser el resultado de diferencias genéticas entre las familias, estado de madurez de la semilla, manejo y almacenamiento de la semilla de los diferentes árboles, además de los efectos ambientales, como factores bióticos y abióticos, bajo los cuales, se produjeron las semillas (Edwards,

1980; Pastorino & Gallo, 2000). Es importante conocer el origen de las semillas, ya que se puede presentar variación entre y dentro de una misma población, familia o procedencia (Hoppe *et al.* 2004). Además, algunas características intrínsecas de las semillas, como sustancias hormonales y sustancias inhibitoras no hormonales, también pueden influir en su respuesta germinativa (Aguiar *et al.* 1993; Venable & Pake, 1999).

Los PG obtenidos en el estudio son inferiores a los reportados por Costa *et al.* (2009), al estudiar 60 lotes familiares de semillas de teca en Brasil (Municipio de Alegre), quienes reportan PG entre el 5 y 94%. Las diferencias en los resultados, se puede deber a la cantidad y a las diferencias genéticas de los lotes (14 vs 60) e, igualmente, al balance entre factores intrínsecos y extrínsecos, que afectan, de manera primordial, los procesos de reparación y los mecanismos deletéreos del metabolismo en la semillas.

El período de viabilidad de las semillas es extremadamente variable y está determinado genéticamente, aunque factores ambientales y condiciones de almacenamiento tienen un efecto decisivo en la longevidad de la semilla (Carvalho & Nakagawa, 1998). Cabe anotar que las semillas de *T. grandis* se caracterizan por presentar una germinación lenta e irregular (Rocha *et al.* 2011) y los porcentajes de germinación varían considerablemente, con valores entre 10 y 80% (Chaves & Fonseca, 1991), 4 al 78% (Vieira *et al.* 2009) y 28 al 73% (Dias *et al.* 2009). Por otra parte, el 46,7% de los árboles plus de teca, evaluados en este estudio, provienen del municipio de Puerto Libertador (Córdoba), que es clasificado como bosque húmedo tropical (bh-T) (Palencia *et al.* 2006). En este sentido, la alta humedad relativa ($\geq 80\%$) y la temperatura ($\geq 27^\circ\text{C}$) favorecen el envejecimiento acelerado de las semillas, dado que estas variables afectan los procesos bioquímicos relacionados con la germinación (Araméndiz *et al.* 2007). Además, estas semillas pueden bajar su PG hasta un 15% después de un año de almacenamiento (Fonseca, 2004).

Las características alométricas de las semillas AS, LS, RAL y PS no presentaron diferencias significativas entre lotes de semilla. Esto señala poca variabilidad y se evidencia, a través de valores de CV menores del 19%. Los valores promedios en este grupo de variables permiten clasificar a todos los árboles en la categoría alta (CA); excepto para PS, donde solamente el 73,3% de los lotes de semilla estuvo en la categoría alta y el 26,7% restante, en la categoría media (CM). El AS osciló entre 1,21 y 1,60cm; LS entre 1,14 y 1,39cm, RAL entre 0,96 y 1,20 y el PS entre 0,48 y 0,93g (Tabla 1). Estas dimensiones son próximas a las reportadas por Suri (1984) y Caldeira *et al.* (2000), con tamaño de semillas entre 1,12 y 1,57cm; 1,25 a 1,60cm y 1,0cm, respectivamente. Estos resultados permiten determinar que, para los lotes evaluados, el tamaño de la semilla no traería mayores problemas en lotes mezclados, ya que hubo poca variación entre árboles y, por tanto, no serían eliminadas familias enteras al desecharse las semillas de menor tamaño.

Correlaciones fenotípicas (r_F), genéticas (r_G) y ambientales (r_E): La tabla 2 presenta los valores de las correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales. Se observa que para los parámetros de calidad fisiológica (PG, IVG, VG, GDM y Vp),

las r_G fueron altamente significativas, positivas ($r_G \geq 0,91^{**}$) y ligeramente mayores a las r_F ($r_F \geq 0,87^{**}$). Lo anterior sugiere una r_E importante, señalando que los caracteres asociados son beneficiados o perjudicados por las mismas variaciones ambientales y que, además, los genes que controlan tales caracteres presentan efectos pleiotrópicos o existe falta de equilibrio en ligamiento.

Otros autores reportan resultados similares en teca y sugieren que mayores IVG se asocian a los lotes de semilla con mayor PG (Indira *et al.* 2000; Vieira *et al.* 2009; Dias *et al.* 2009). En *Hevea brasiliensis*, se reportan correlaciones lineales simples (fenotípicas) de $r = 0,95^{**}$, entre PG con el IVG (Moreno *et al.* 2006). Las correlaciones fenotípicas y genéticas fueron iguales para el PG vs. GDM y AS vs. RAL. En estas variables, se puede considerar un efecto ambiental nulo sobre la asociación real entre los caracteres, ya que la GDM y RAL son variables compuestas, calculadas a partir de datos o mediciones del PG y del AS, respectivamente.

No se obtuvieron r_G significativas entre los parámetros fisiológicos y los rasgos alométricos AS y LS. Ello, posiblemente, indique que son caracteres con control genético diferente, dado que, además la r_E , tampoco fue significativa. El PS presentó asociación baja, inversa y significativa con el IVG ($r_G = -0,38^{**}$), VG ($r_G = -0,28^{**}$) y VP ($r_G = -0,40^{**}$), sugiriendo que semillas pequeñas tienden a presentar mejores parámetros fisiológicos. Este resultado se podría considerar riesgoso, en caso de constituir un lote mezclado y luego eliminar la semilla pequeña, ello podría incurrir en deriva o erosión genética y, por tanto, se reduciría su variabilidad genética.

El tamaño y peso de semillas de un mismo árbol, por lo general, está asociado con una mayor germinación y desempeño de las plántulas, en razón a que semillas grandes y pesadas contienen mayores cantidades de carbohidratos en el endospermo o cotiledones, que refleja la disponibilidad de una mayor fuente de energía, para estimular la germinación, emergencia, supervivencia y crecimiento de las plántulas (Khurana & Singh, 2001). Estas correlaciones han sido observadas en varios trabajos (Leishman *et al.* 2000; Tenorio-Galindo *et al.* 2008; Huerta-Paniagua & Rodríguez-Trejo, 2011); sin embargo, otras investigaciones no reportan tales asociaciones (Alba-Landa *et al.* 2007), pero la variación en el tamaño promedio de semillas entre árboles latifoliados está explicado por el fenómeno de la doble fertilización, donde existe una mayor participación materna en el endospermo ($2n_{\text{♀}} + 1n_{\text{♂}}$), por lo que su tasa de germinación promedio no guarda relación con el tamaño promedio de su semilla (Murillo, 1998).

Parámetros genéticos: Los parámetros de calidad fisiológica registraron valores de heredabilidad media familiar (h^2) altos, entre 0,87 y 0,92 (Tabla 3), siendo coincidentes con

Tabla 2. Correlaciones fenotípicas (r_F), genéticas (r_G) y ambientales (r_E) para parámetros de calidad fisiológica y dimensiones de semillas de árboles plus de *T. grandis*, seleccionados en el departamento de Córdoba, Colombia.

	r_s	IVG	VG	GDM	Vp	AS	LS	RAL	PS
PG	r_F	0,90**	0,87**	1,00**	0,89**	0,21	-0,08	0,32*	-0,09
	r_G	0,93**	0,91**	1,00**	0,93**	0,23	-0,09	0,34**	-0,10
	r_E	0,72**	0,63**	1,00**	0,56**	0,04	0,02	0,02	0,09
IVG	r_F		0,96**	0,90**	0,99**	-0,09	-0,16	0,04	-0,35**
	r_G		0,98**	0,93**	1,00**	-0,09	-0,17	0,05	-0,38**
	r_E		0,83**	0,72**	0,94**	0,04	0,10	-0,04	0,20
VG	r_F			0,87**	0,95**	-0,04	-0,15	0,09	-0,25
	r_G			0,91**	0,97**	-0,04	-0,18	0,11	-0,28*
	r_E			0,63**	0,82**	0,00	0,25	-0,20	0,20
GDM	r_F				0,89**	0,21	-0,08	0,32*	-0,09
	r_G				0,93**	0,23	-0,09	0,34**	-0,10
	r_E				0,56**	0,04	0,02	0,02	0,09
Vp	r_F					-0,10	-0,17	0,03	-0,37**
	r_G					-0,11	-0,19	0,04	-0,40**
	r_E					0,04	0,20	-0,12	0,24
AS	r_F						0,50**	0,76**	0,78**
	r_G						0,51**	0,76**	0,79**
	r_E						0,49**	0,70**	0,37**
LS	r_F							-0,17	0,50**
	r_G							-0,17	0,51**
	r_E							-0,29*	0,24
RALs	r_F								0,50**
	r_G								0,51**
	r_E								0,23

PG: porcentaje de germinación (%); IVG: índice de velocidad de germinación; VG: valor de germinación; GDM: germinación diaria media; Vp: valor pico; AS: ancho de semilla (cm); LS: largo de semilla (cm); RAL: relación ancho/largo de semilla; PS: peso fresco de semilla (g); *significativo (5%); ** altamente significativo (1%).

las r_G y r_F registradas en la tabla 2. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Vallejo *et al.* (2010), debido a que caracteres con alta heredabilidad, presentan, por lo general, valores de correlación fenotípica y genética estrechas o similares.

La heredabilidad media familiar de PG obtenida fue de 0,87, cuyo valor es similar a la reportada para este mismo carácter ($h^2 = 0,89$) por Costa *et al.* (2009) en teca y Rego *et al.* (2005), en semillas de *Albizia lebbbeck* ($h^2=0,79$). Altos

valores de heredabilidad indican bajos efectos ambientales en la expresión de los caracteres, control genético por genes mayores y eficiencia en procesos de selección. De igual forma, para los caracteres considerados, la exactitud (Acprog) en la estimación de parámetros genéticos (Tabla 3) fue alta ($\geq 0,93$). Al respecto, Resende *et al.* (1995), Costa *et al.* (2000) y Costa *et al.* (2005) señalan que a mayor magnitud en Acprog, mayor será la confiabilidad de los parámetros genéticos obtenidos, así como para su interpretación y selección de materiales.

Tabla 3. Parámetros genéticos estimados para caracteres alométricos y de calidad fisiológica en semillas de *T. grandis*, en el departamento de Córdoba.

	PG	IVG	VG	GDM	Vp	AS	LS	RAL	PS
h^2	0,87	0,92	0,88	0,87	0,91	0,97	0,96	0,97	0,98
Acprog	0,93	0,96	0,94	0,93	0,95	0,98	0,98	0,98	0,99
CVgi %	131,09	180,89	284,02	130,8	174,02	15,42	10,07	12,94	36,96
CVr	1,29	1,67	1,37	1,29	1,59	2,77	2,45	2,71	3,55

PG: porcentaje de germinación; IVG: índice de velocidad de germinación; VG: valor de germinación; GDM: germinación diaria media; Vp: valor pico; AS: ancho de semilla; LS: largo de semilla; RAL: relación ancho/largo de semilla; PS: peso fresco de semilla; h^2 : heredabilidad media familiar; Acprog: exactitud de la selección de progenie; CVgi: coeficiente de variación genética aditiva individual; CVr: coeficiente de variación relativa.

Para los parámetros de calidad fisiológica, el coeficiente de variación genética aditiva individual (CVgi) fue alto en la mayoría de los rasgos evaluados, siendo mayores a 130,8%. De acuerdo con Costa *et al.* (2009), estos CVgi expresan la cantidad de variación genética individual existente. Por tanto, valores altos del CVgi denotan que, en futuras evaluaciones en campo, podría haber mayor expresión de variación genética para otros caracteres asociados, con buenas perspectivas de variabilidad, para ser aprovechada a lo largo de un programa de mejoramiento genético.

En cuanto al parámetro coeficiente de variación relativa (CVr), el cual, es la relación entre el CV genético y el CV fenotípico, los valores obtenidos en este parámetro oscilaron entre 1,29 y 1,67 (Tabla 3). Resultados similares reportan Costa *et al.* (2009), para este grupo de parámetros fisiológicos, en teca. Según Resende & Duarte (2007), estos CVr indican una buena oportunidad de ganancia genética al seleccionar en lotes de semillas, por tanto, el carácter tiene potencial para ser mejorado genéticamente.

Lotes mezclados de semillas: En una mezcla balanceada (MBS) ordinaria o convencional, se asume que cada lote de semillas (familias) aporta igual cantidad de semilla al lote compuesto o mezclado; sin embargo, bajo este parámetro y sin considerar la calidad fisiológica de cada semilla, lotes con alta germinación (por su valor adaptativo) estarían realmente aportando varias veces más plántulas efectivas que aquellos que presentan baja germinación, tal y como reporta Murillo (1998), en un estudio con lote mezclado, a partir de 50 familias de *Alnus acuminata*.

Este estudio determinó (Tabla 4) que lotes de semillas pertenecientes a categorías de germinación media aportan en promedio 2,8 veces (200/71) más plántulas que lotes de semilla de baja germinación dentro del lote originado de la

mezcla de igual número de semilla (MBS ordinaria). Mientras que, en la mezcla balanceada ajustada (MBS ajustada) al PG, el número de plántulas a obtener por lote de semillas sería teóricamente el mismo para todas las familias.

Este tipo de lote de semilla mezclado con base a un mismo número de semillas por árbol, evidencia una participación desigual de las familias de semilla en un hipotético lote balanceado de manera convencional, dado que no todas las semillas de cada árbol presentan la misma capacidad germinativa. Por ello, es muy probable que después de un costoso y laborioso esfuerzo en el trabajo de campo, donde se ha colectado semilla de un número representativo de árboles, la composición o la variabilidad de la población de plántulas que se obtendría al final de la fase de vivero para llevar a plantación, podría representar un número muy inferior de individuos a los que se les colectó la semilla (Davidson *et al.* 1996; Murillo, 1998; Rocha *et al.* 2011; Ferreira *et al.* 2012 y Silva *et al.* 2012).

Fofana *et al.* (2009) señalan que en teca la drástica reducción de la variabilidad genética se debe, entre otros aspectos, a la propagación vegetativa, basada en los árboles existentes en las plantaciones o con semillas mezcladas de pocos árboles provenientes de estas fuentes. Así también, es común que se presenten en las plantaciones individuos con mayor producción de semilla que otros. Por ello, autores como Varghese *et al.* (2006) proponen poner límites a la cantidad de semillas que pueden ser recogidos por árbol (genotipo), lo cual, podría ser útil en el control de la sobre-representación de los clones altamente reproductivos, aumentando, con esto, la variabilidad genética del lote mezclado.

Con base en los resultados obtenidos en este estudio, se puede inferir lo siguiente: i) la eliminación o descarte de semillas pequeñas o de poco peso en un lote mezclado, podría generar un efecto negativo sobre la variabilidad genética y la

Tabla 4. Distribución de lotes de semilla de acuerdo con su porcentaje de germinación y su contribución hipotética (si se mezclara la semilla), a una producción conjunta aproximada de 1.111 plántulas requeridas, para el establecimiento de una hectárea de *T. grandis*, sembrada a 3m x 3m.

Categorías de germinación	Lotes por categoría de germinación			MBS ordinaria				MBS ajustada			
				+Contribución de plántulas/categoría de germinación		+Contribución media de plántulas/lote de semillas		++Contribución de plántulas/categoría de germinación		++Contribución de plántulas/lote de semillas	
	No.	%	Acumulado	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Baja: <33,3%	14	93,3	14 (93,3%)	925	82,2	71	6,3	1040	92,9	80	7,1
Media: 33,33% - 66,6%	1	6,7	15 (100%)	200	17,8	200	17,8	80	7,1	80	7,1
Alta: >66,6%	0										
Total	15	100		1125	100			1120	100		

MBS ordinaria: mezcla balanceada de semillas basada en la contribución de igual número de semillas por lote; MBS ajustada: mezcla balanceada de semillas basada en la contribución de un número de semillas por lote, de acuerdo a su porcentaje de germinación; + para una producción conjunta hipotética de 1125 plántulas en base a 500 semillas por lote; ++ para una producción conjunta hipotética de 1120 plántulas en base a la obtención de 80 plántulas por lote.

representatividad de los individuos de interés a nivel de vivero y futura plantación; ii) la creación de lotes semillas mezclados con base en la capacidad germinativa de la semilla de cada uno de los individuos que lo componen (árboles o clones), contribuye a la conservación de los recursos genéticos forestales y variabilidad genética de las plantaciones comerciales y iii) los caracteres fisiológicos y alométricos de semilla de teca investigados, muestran una heredabilidad o control genético alto, que demuestran un potencial importante para futuros programas de mejoramiento genético.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ADEWALE, B.D.; OKONJI, C.; OYEKANMI, A.A.; AKINTOBI, D.A.; AREMU, C.O. 2010. Genotypic variability and stability of some grain yield components of cowpea. *African J. Agr. Res.* 5(9):874-880.
2. AGUIAR, I.; PIÑA-RODRIGUES, F.; FIGLIOLIA, M. 1993. *Sementes Florestais Tropicais*. Abrates, Brasília, Distrito Federal. 350p.
3. ALBA-LANDA, J.; RAMÍREZ-GARCÍA, E.; APARICIO-RENTERÍA, A. 2007. Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. Et Cham. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*. 9(1):23-27.

4. ARAMÉNDIZ, H.; CARDONA, C.; JARMA, A.; ROBLES, J.; MONTALVÁN, R. 2007. Efectos del almacenamiento en la calidad fisiológica de la semilla de berenjena (*Solanum melongena* L.). Agr. Col. 25(1):104-112.
5. ARÁOZ, S.; LONGO, O.; KARLIN, O. 2004. Germinación de semillas de *Zizyphus mistol* Grisebach III. Correlaciones paramétricas del tamaño y peso de drupas, endocarpos y semillas con la germinación y el vigor. Multequina. 13:51-56.
6. BOSHIER, D.; AMARAL, W. 2004. Amenazas a los ecosistemas silvícolas y desafíos para la conservación y uso sostenible de los recursos genéticos silvícolas. En: Vinceti, B.; Amaral, W.; Meilleur, B. (eds.) Desafíos de la ordenación de los recursos genéticos silvícolas para contribuir a la subsistencia: ejemplos de Argentina y Brasil. Ed. IPGRI, (Roma). p.7-32.
7. CADENA FORESTAL DE CÓRDOBA –CFC-. 2011. Acuerdo regional de competitividad: Cadena forestal madera, muebles y productos de madera del departamento de Córdoba 2011-2030. 55p.
8. CALDEIRA, S.; CALDEIRA, S.; DE MENDOÇA, E.; DINIZ, N. 2000. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L.f.) produzidos no Mato Grosso. Rev. Bras. Sementes. 22(1):216-224.
9. CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. 1998. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3ª ed. Fundação Cargill. Campinas (Brasil). 424p.
10. CHAVES, E.; FONSECA, W. 1991. Teca, *Tectona grandis* L.f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. Informe Técnico 179. Turrialba, Costa Rica: Centro Agron. Trop. Invest. y Enseñanza. 47p.
11. COSTA, R.; RESENDE, M.; ARAÚJO, A.; GONÇALVES, P.; SILVA, M. 2000. Maximization of genetic gain in rubber tree (*Hevea*) breeding with effective size restriction. Gen. Mol. Biol. 23(2):457-462.
12. COSTA, R.; GONÇALVES, P.; OLIVEIRA, L.; ARRUDA, E.; ROA, R.; MARTINS, W. 2005. Variabilidade genética e estimativas de heredabilidade para o carácter germinação em matrizes de *Hevea brasiliensis*. Rev. Floresta e Ambiente. 12(1):74-76.
13. COSTA, R.; CHICHORRO, J.; RESENDE, M.; ROA, R.; COTTA, T.; CEZANA, D. 2009. Variabilidade genética para o carácter germinação em matrizes de teca, no Município de Alegre, ES. Pesq. Floresta Bras. 59:57-61.
14. CRUZ, C. 2004. Programa genes. Versão Windows. Aplicativo computacional em genética e estatística. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet en: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (con acceso 05/07/2007).
15. CZABATOR, F. 1962. Germination value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination". Forest. Sci. 8(4):386-396.
16. DAVIDSON, R.; EDWARDS, D.; SZIKLAI, O.; EL-KASSABY, Y. 1996. Genetic variation in germination parameters among populations of pacific silver fir. Silvae Genetica. 45(2-3):165-171.
17. DIAS, J.; CAPRONI, A.; WADT, P.; SILVA, L.; TAVELLA, L.; OLIVEIRA, J. 2009. Quebra de dormência em diásporos de teca (*Tectona grandis* L.f.). Acta Amaz. 39(3):549-554.
18. EDWARDS, D. 1980. Maturity and quality of tree seeds - a state-of-the-art review. Seed Sci. Techn. 8:625-657.
19. FERREIRA, C.D.; SOUTO, P.C.; LÚCIO, A.F.; SOUTO, J.S.; SOUZA, B.V. 2012. Avaliações biométricas e germinação de sementes de Coaçu (*Triplaris surinamensis* Cham). Rev. Bras. Tecn. Apli. Ciên. Agr. 5(1):147-162.
20. FIGLIOLIA, M.; OLIVEIRA, E.; PIÑA-RODRIGUES, F. 1993. Análise de sementes. En: Aguiar, I., Piña-Rodrigues, F., Figliolia, M. eds. Sementes florestais tropicais. Ed. Abrates, (Brasília). p.137-174.
21. FOFANA, I.; OFORI, D.; POITEL, M.; VERHAEGEN, D. 2009. Diversity and genetic structure of teak (*Tectona grandis* L.f) in its natural range using DNA microsatellite markers. New Forests. 37(1):175-195.
22. FONSECA, W. 2004. Manual Para Productores de Teca (*Tectona grandis* L.f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 121p.
23. GALLO, C.; ENRICO, J.M.; CRAVIOTTO, R.; ARANGO, M. 2012. Variabilidad de la viabilidad y vigor de lotes de semillas de soja con presencia de simientes verdes pertenecientes a cultivares de distintos grupos de maduración producidos en dos fechas de siembra. Rev. Invest. Agropec. 38(2):133-140.
24. HOPPE, J.; GENRO, C.; VARGAS, C.; FLORIANO, E.; REIS, E.; FORTES, F.; MÜLLER, I.; FARIAS, J.; CALEGARI, L.; DA COSTA, L. 2004. Produção de se-

- mentes e mudas florestais, Caderno Didático nº 1, 2ª, UFSM-PPGEP, Santa Maria, 388p.
25. HUERTA-PANIAGUA, R.; RODRÍGUEZ-TREJO, D. 2011. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. Rev. Chapingo Serie Ciencias Forestales Ambiente. 17(2):179-187.
 26. INDIRA, E.; BASHA, S.; CHACKO, K. 2000. Effect of seed size grading on the germination and growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings. J. Trop. Forest Sci. 12(1):21-27.
 27. INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING –ISTA. 2009. Edición 2005. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Suiza. 363p.
 28. KHURANA, E.; SINGH, J. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. Current Sci. 80(6):748-757.
 29. LEISHMAN, M.; WRIGHT, I.; MOLES, A.; WESTOBY, M. 2000. The evolutionary ecology of seed size. En: Fenner, M. (ed). Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. CABI Pub. London. p.31-57.
 30. LO, E.; STEFANOVI, S.; RITLAND, K.; DICKINSON, T. 2010. Fine-scale comparisons of genetic variability in seed families of asexually and sexually reproducing *Crataegus* (Hawthorn; Rosaceae). Am. J. Bot. 97(6):1014-1024.
 31. MAGUIRE, D. 1962. Speed of germination-aid. In: Selection and evaluation for seedling emergence and vigour. Crop Sci. 2:176-177.
 32. MORENO, F.; PLAZA, G.; MAGNITSKIY, S. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). Agr. Col. 24(2):290-295.
 33. MURILLO, O. 1998. Variación en parámetros de germinación de una población natural de *Alnus acuminata* de Guatemala e implicaciones para los lotes de semilla mezclada. Boletín de Semillas y Mejoramiento Genético Forestal. (CATIE, Costa Rica) 19:4-8.
 34. MURILLO, O.; ESPITIA, M.; CASTILLO, C. 2012. Fuentes semilleras para la producción forestal. Universidad de Córdoba. Ed. Damar S.A.S (Bogotá). 176p.
 35. NAMKOONG, G. 1997. A gene conservation plan for loblolly pine. Canadian J. Forest Res. 27(3):433-437.
 36. NIEMBRO, A.; RAMÍREZ-GARCÍA, E.; APARICIO-RENTERÍA, A. 2007. Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. Foresta Veracruzana. 9(1):49-53.
 37. PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio agroclimático del departamento de Córdoba. Universidad de Córdoba. Ed. Gráficas el Caribe (Montería). 126p.
 38. PASTORINO, M.; GALLO, L. 2000. Variación geográfica en peso de semilla en poblaciones naturales argentinas de "Ciprés de la Cordillera". Bosque 21(2):95-109.
 39. REGO, F.; COSTA, R.; CONTINI, A.; MORENO, R.; RONDELLI, K.; KUMIMOTO, H. 2005. Variabilidade genética e estimativas de herdabilidade para o caráter germinação em matrizes de *Albizia lebbbeck*. Ciência Rural. 35(5):1209-1212.
 40. RESENDE, M.; ARAÚJO, A.; SAMPAIO, P.; WIECHETECK, M. 1995. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variância de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Rev. Floresta. 24(1):35-45.
 41. RESENDE, M. 2006. O Software Selegen-Reml/Blup. Documentos EMBRAPA, Campo Grande. 305p.
 42. RESENDE, M. 2007. Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético. EMBRAPA, Florestas, 362p.
 43. RESENDE, M.; DUARTE, J. 2007. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. Pesq. Agrop. Trop. 37(3):182-194.
 44. ROCHA, R.; VIEIRA, A.; SPINELLI, V.; VIEIRA, J. 2011. Caracterização de fatores que afetam a germinação de teca (*Tectona grandis*): temperatura e escarificação. Rev. Árvore, Viçosa-MG. 35(2):205-212.
 45. RODRÍGUEZ-RIVAS, G.; MÁRQUEZ, J.; REBOLLEDO-CAMACHO, 2001. Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. y su relación con caracteres morfométricos de frutos. Foresta Veracruzana. 3(1):23-26.
 46. SCHÜHLI, G.; PALÚDZYSZYN FILHO, E. 2010. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. Pesq. Florestal Bras. Colombo. 30(63):217-230.

47. SHIMELIS, H.; SHIRINGANI, R. 2010. Variance components and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. *Euphytica*. 176(3):383-389.
48. SILVA, K.B.; ALVES, E.U.; MATOS, V.P.; BRUNO, R.L. 2012. Caracterização morfológica de frutos, sementes e fases da germinação de *Pachira aquatica* Aubl. (Bombacaceae). *Rev. Ciênc. Agr.* 33(3):891-898.
49. STEEL, R.; TORRIE, J. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill. New York, United States. 633p.
50. SURI, S. 1984. Analytical study of teak provenance tests in North Raipur Division of Madhya Pradesh. *Indian Forester*. 110(4):345-363.
51. TENORIO-GALINDO, G.; RODRÍGUEZ-TREJO, D.; LÓPEZ-RÍOS, G. 2008. Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae). *Agrociencia*. 42:585-593.
52. VALLEJO, F.; ESPITIA, M.; ESTRADA, E.; RAMÍREZ, H. 2010. *Genética vegetal*. Ed. U. N. Colombia, sede Palmira (Palmira). 384p.
53. VARGHESE, M.; NICODEMUS, A.; NAGARAJAN, B.; LINDGREN, D. 2006. Impact of fertility variation on gene diversity and drift in two clonal seed orchards of teak (*Tectona grandis* Linn. f.). *New Forests*. 31(3):497-512.
54. VENABLE, D.; PAKE, C. 1999. Population ecology of desert plants. In: *Ecology of Desert Plants*. Robichaux R.H. (ed). The University of Arizona Press. p.115-142.
55. VIEIRA, A.; ROCHA, R.; REBELO, A. 2009. Avaliação de métodos para a superação de dormência de diásporos de teca (*Tectona grandis* L.f.). *Floresta*. Curitiba, PR. 39(2):273-278.

Recibido: Marzo 11 de 2013

Aceptado: Octubre 1 de 2013

Como citar:

Correa, E.; Espitia, M.; Araméndiz, H.; Murillo, O.; Pastrana, I. 2013. Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f. En la conformación de lotes mezclados en córdoba, colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 379-389.

DAÑO OCASIONADO POR EL FALSO GUSANO ALAMBRE *Eleodes pos. omissoides* Blaisdell (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE) EN SEMILLAS DE GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS

DAMAGE OF THE FALSE WIREWORM *Eleodes pos. omissoides* Blaisdell (Coleoptera: Tenebrionidae) UPON SEEDS OF GRASSES AND LEGUMES

Daniel Quiroga-Murcia¹, Francisco Javier Posada-Flórez²

¹ Joven investigador, Estudiante de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C., Colombia, quirogaedaniel@hotmail.com; ² Ing. Agrónomo, Ph.D. Profesor Entomólogo. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A hasta Junio de 2012, fjavierposada@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 391-400, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Tanto los adultos como las larvas del falso gusano alambre (*Eleodes pos. omissoides*) viven en el suelo y se alimentan de semillas, causando faltantes en los cultivos. Esto afecta los rendimientos e incrementa los costos de producción, debido a las medidas de manejo. Se evaluó el daño que causan las larvas sobre las semillas de arveja, de maíz y de trigo, secas e hidratadas, haciendo observaciones cada seis horas hasta las setenta y dos, para determinar el tipo de lesión. En cada observación, se registró si la semilla permanecía intacta, si era atacado su endospermo, si su embrión era destruido completamente. Los resultados indicaron que todas las semillas sufrieron lesiones; inmediatamente, se colocaron en el suelo. La afectación fue variable dependiendo de si la semilla estaba seca o hidratada. Las semillas de la arveja presentaron menor daño, seguidas por las del maíz y las del trigo, tanto secas como hidratadas. Por tipo de lesión, el ataque al embrión presentó el mayor valor, seguido por el causado al endospermo y, en menor cantidad, la destrucción total de la semilla. En general, el daño de las semillas alcanzó un promedio de 50,64%. Aunque germinaron las semillas cuyo endospermo estaba afectado, se presentó la colonización de este por hongos.

Palabras clave: Suelo, siembra, pérdida, germinación, hongos.

SUMMARY

Adults and larvae of the false wireworm *Eleodes pos. omissoides* live in the soil and feed on seeds. This habit

cause losses on the crops, decreases yield and increases the production cost as control actions needs to be applied. The damage caused by the larvae on pea, corn and wheat seeds were evaluated, offering dry and during 24 hours water hydrated seeds before exposition to the larvae. Evaluation to record the damage type was done every six hours for a period of 72 hours. During the evaluations it was established if the seed remained free of damage, if the endosperm was attacked, if the embryo or the whole seed was consumed. The results showed that all seeds were attacked as soon as they were exposed to the larvae in the soil. The response to the damage was variable, depending on the exposure of dry or hydrated seeds. The pea seeds presented the lowest damage, followed by corn, being the most susceptible ones wheat, both dry and hydrated. Regarding the type of damage the attacked embryo showed the highest value, followed by the damage to the endosperm and in lesser amount the destruction of the whole seed. Overall, the damage of the seeds reached on average 50.64%. Seeds that had suffered endosperm damage germinated, but showed fungal development.

Key words: Soil, seeding, losses, germination, fungi.

INTRODUCCIÓN

El falso gusano alambre (*Eleodes pos. omissoides* Blaisdell (Coleoptera: Tenebrionidae) es una especie plaga registrada en el país, en Cundinamarca y en Boyacá, como lo demuestran las referencias adjuntas en Notas y Noticias Entomológicas (Vergara & Varela, 1977; Posada *et al.* 1980; Zenner de

Polanía & Borrero, 1992; López *et al.* 1995). La zona donde se ha observado este insecto pertenece a la formación vegetal de bosque seco tropical montano bajo (bs-MB) (Espinal & Montenegro, 1977), cuyas condiciones ecológicas favorecen, aparentemente, a las poblaciones de esta especie.

La mayor diversidad de insectos de la familia Tenebrionidae, se presenta en zonas secas y en suelos de textura arenosa en el medio oeste de los Estados Unidos, donde estos escarabajos son conocidos como los coleópteros del desierto (Doyen & Tschinkel, 1974; McIntyre, 1998). En Colombia, la fauna de Tenebrionidae es escasamente estudiada y se desconoce la mayor parte de los aspectos de biología, de ecología e importancia económica en la agricultura.

Los registros de *E. pos. omissoides* en el país indican que ataca las semillas en la época de siembra y el daño es causado, tanto por la larva como por el adulto. Cuando se presenta en invernaderos causa pérdidas de semillas de arveja y de maíz, que alcanzan el 80 % (Quiroga & Posada, datos aún no publicados). En campo, se han registrado pérdidas en cultivos de maíz del 20%; además, los adultos se han observado atacando hortalizas, como el tomate, la cebolla, la espinaca y la papa (Posada *et al.* 1980; Zenner de Polanía & Borrero, 1992; Zenner de Polanía, 1994b; López *et al.* 1995; Zenner de Polanía *et al.* 1999); también consumen follaje de papa y de arveja en el estado de plántulas (Posada *et al.* 1990b; Zenner de Polanía & Borrero, 1992; Zenner de Polanía, 1994a).

Los hábitos alimenticios de las larvas y de los escarabajos son muy variados. Adicional a que son fitófagos, se ha notado que sobreviven sin alimento, consumiendo materia orgánica del suelo, como detritívoros (Posada *et al.* 1987; 1988;

McIntyre, 1998). Además, se ha observado que son depredadores de otros insectos y moluscos presentes en el suelo y muestran comportamientos canibalísticos, en los cuales, las larvas se atacan entre sí y los adultos consumen larvas y huevos de la misma especie (Quiroga & Posada, datos aún no publicados).

Los adultos pueden invadir viviendas y se ocultan en sitios oscuros, donde la presencia y el olor que secretan causan malestar a los habitantes. Igualmente, en cultivos de consumo fresco, como la lechuga en época de cosecha, afectan la comercialización en campo, cuando los compradores observan las altas poblaciones de este insecto en el cultivo (Posada *et al.* 1988).

Los falsos gusano alambre son considerados como tierra-ros, que se alimentan de las semillas y de las raíces tiernas de las plantas; no obstante, en la etapa adulta, se apartan de este comportamiento, ya que actúan más como ladrones de semilla, porque las remueven del sitio de siembra y las desplazan a otro lugar, donde las utilizan como alimento. Igualmente, las larvas, cuando encuentran las semillas, las profundizan en el suelo hasta que las consumen totalmente (Quiroga & Posada, datos aún no publicados) y crean los faltantes en el cultivo, que obligan a la resiembra, lo que genera incremento de costos, por el valor de la semillas y la mano de obra que se requiere para la labor.

Los adultos (Figura 1) son de tamaño grande ($2,21 \pm 0,18\text{cm}$), de color negro, de hábitos gregarios y no vuelan; son muy activos en la noche y en el día permanecen refugiados bajo residuos vegetales o escombros (Quiroga & Posada, datos aún no publicados). Comúnmente, los adultos se conocen como escarabajos olorosos o bombarderos,



Figura 1. Larva y adulto del falso gusano alambre *Eleodes pos. omissoides*, en su hábitat natural, el suelo.

porque cuando se disturban, secretan una sustancia de olor nauseabundo, probablemente, para protegerse de los depredadores (McIntyre, 1998).

Las larvas (Figura 1) habitan dentro del suelo; se sabe que son fotofóbicas, porque cuando se exponen a la luz buscan enterrarse rápidamente. La denominación de falso gusano alambre, se debe a que las larvas son muy similares a las del gusano alambre, que pertenece a los coleópteros de la familia Elateridae; se presentan en el suelo atacando gran diversidad de cultivos, actuando como tierreros y tienen amplia distribución geográfica (Metcalf & Flint, 1962; Posada, 1989; Toba, 1985).

El insecto ha mostrado preferencia por atacar semillas de maíz, de arveja y de trigo. El suministro de estas semillas a adultos en el laboratorio colocados en recipientes con tierra permitió la cría masiva de este insecto. Los adultos son insectos muy longevos, en cautiverio se han logrado mantener vivos por dos años en cajas con suelo húmedo y alimentados con semillas de trigo (Posada *et al.* 1990a; Quiroga & Posada, datos aún no publicados).

El conocimiento apropiado del daño causado por los insectos y su evaluación es uno de los pilares del manejo integrado de plagas. Debido a la escasa información sobre el falso gusano alambre, como insecto plaga, en este trabajo se tuvo como objetivo, evaluar el daño ocasionado por las larvas del gusano alambre sobre semillas de arveja, maíz y trigo, secas e hidratadas, colocadas en el suelo. Además, se evaluó la sobrevivencia de las semillas luego de la afectación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se realizó en el laboratorio de entomología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A, localizada en el norte de la sabana de Bogotá, con coordenadas N 4°47'57"- W 74°02'40", temperatura media anual de 14,5°C, precipitación media anual de 860 mm con régimen bimodal y altura de 2570 msnm.

Semillas: Se tomaron cuarenta semillas secas e hidratadas (durante 24 horas) de arveja (*Pisum sativum* L., Fabaceae), variedad Santa Isabel; de maíz (*Zea mays* L., Poaceae), híbrido ICA355 y de trigo (*Triticum aestivum* L., Poaceae), ICA Yacuanquer y se expusieron a larvas del insecto, para estimar el daño. Se realizó un lavado previo de todas las semillas, para eliminar residuos de químicos e insecticidas que pudiesen afectar a las larvas.

Larvas del gusano alambre: Se colectaron adultos del insecto en la sede El Remanso de la U.D.C.A, donde se presentan abundantemente como plaga de cultivos, en especial, de maíz y de arveja. Los individuos colectados, se trasladaron

al laboratorio de entomología y se colocaron en cajas plásticas (Viniplast 25x30x12cm), en las cuales, se les adicionó un kilo de suelo orgánico, que se mantuvo húmedo, para recrear las condiciones ambientales, donde ellos se mantuvieron, facilitando la alimentación y la reproducción. La cría y la evaluación de las semillas, se desarrollaron en condiciones del laboratorio, con temperatura promedio de 15°C. De las posturas colocadas por estos coleópteros en el laboratorio, se obtuvieron las larvas, que se conservaron en suelo orgánico y se les adicionó semillas de trigo, como alimento, hasta que alcanzaron un tamaño medio de dos centímetros, para ser utilizadas en el experimento.

Evaluación del daño. Las semillas, se revisaron cada seis horas, para establecer el tipo de lesión y determinar el número de semillas dañadas y el tiempo en que eran afectadas por la alimentación de las larvas y si los remanentes de las semillas mostraban capacidad de germinación o de crecimiento de hongos, por efecto del daño. Se evaluó como cero, si la semilla permanecía en perfecto estado; uno, si el embrión presentaba lesión; dos, si el endospermo era dañado y tres, si la semilla era consumida totalmente (Figura 2). El tiempo de evaluación de las semillas se extendió por 72 horas, lapso en el que se realizaron, cada seis horas, 13 evaluaciones, incluyendo el tiempo cero o inicio del experimento, en el que todas las semillas estaban ilesas. En total, por cada tratamiento y tiempo de evaluación, se realizaron 260 observaciones y para todo el experimento, un total de 1.560.

Experimento: Se evaluaron seis tratamientos con tres tipos de semillas (arveja, maíz y trigo) expuestas secas o hidratadas (por 24 horas). Se organizó en un diseño completamente al azar, con 10 repeticiones, cada una conformada por dos larvas y dos semillas, colocadas en recipientes de plástico (AcmeLeon D30482), con 6g de suelo húmedo, que cubrió las semillas y las larvas. En total, por cada tratamiento, se evaluaron 20 semillas y 20 larvas.

Los resultados, se analizaron estadísticamente, utilizando SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc. 2009). En el análisis de varianza, se utilizó el Proc Glimix, que normaliza los datos y cuando se encontraron diferencia significativas, se evaluaron los contrastes, estimando la media de los mínimos cuadrados (Lsmeans = least square means) de los tratamientos. La diferencia entre los tratamientos, se consideró significativa, cuando $P < 0.05$. Adicionalmente, se calculó la frecuencia y construyeron tablas de contingencia, utilizando Chi cuadrada por semilla, estado (seca e hidratada) y del tipo lesión. Los tiempos de evaluación por semilla y estado se graficaron, para establecer la intensidad del daño y conocer el tiempo crítico, para tomar decisiones de resiembra.

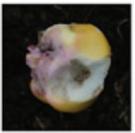
Semilla	Sin daño	Daño Endospermo	Daño Embrión	Con Daño Completo	Daño secundario
	0	1	2	3	
Arveja					
Maíz					
Trigo					

Figura 2. Escala para la evaluación del daño de las larvas del falso gusano alambre *Eleodes pos. Omissoides*, sobre semillas de arveja, de maíz y de trigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las semillas de arveja, de maíz y de trigo expuestas a las larvas del falso gusano alambre sufrieron daño (Figura 3, Tablas 1 y 2) y, en general, en el análisis de varianza por semilla, se encontró diferencias significativas (GL = 2, 1548, F = 9.11, P = 0.0001). El trigo presentó la mayor cantidad de semillas afectadas (promedio ± error estándar), 63,1 ± 1,97, seguido por el maíz. 51,3 ± 1,97 y la arveja, 37,5 ± 1,97. Igualmente, en general, la evaluación del daño de las semillas por estado, secas e hidratadas, presentó diferencias significativas (GL = 1, 1548, F = 4,14, P= 0,0421), en las semillas secas fue mayor, que llegó a 53,3 ± 1,61, mientras que en las hidratadas alcanzó el 47,9 ± 1,61 % (Tabla 2).

En la interacción del daño sobre las semillas y el estado (secas o hidratadas), se presentaron diferencias significativas (GL=2, 1548, F=6,01, P= 0,0025) y se evidenció gran variación, ya que fluctuó entre 25 ± 2,78, para la arveja seca y 70,4 ± 2,78, para el trigo seco (Tabla 2). De estos resultados, se puede inferir que las larvas del falso gusano alambre presentaron preferencia por semillas de trigo y de maíz y, adicionalmente, el estado de estas, también influye en el comportamiento del daño, puesto que las semillas secas mostraron mayores ataques.

El análisis por cada tiempo en que se realizaron las observaciones presentó una respuesta diferente por la semilla y el estado (seca e hidratada). Tan pronto como las semillas se

colocaron y se cubrieron con el suelo, los insectos comenzaron a alimentarse de éstas (Figura 3). El daño sobre la arveja frente al maíz y el trigo estuvo influenciada por el estado de la semilla; sin embargo, en el análisis de varianza no se presentó diferencia significativa para las interacciones de la semilla por estado y por cada tiempo de evaluación (GL= 2, 1548, F = 2,34, P = 0,0965) (Tabla 3). El tiempo o rapidez con que se presentó el daño por semilla y estado (Figura 3) mostró que la arveja seca sufrió, inicialmente, menos que la hidratada, aunque al final (72 horas), se presentó igual cantidad de daño (60%). Lo contrario ocurrió para las semillas de maíz y de trigo, donde las secas sufrieron mayor y más rápido el daño, lo que indica que las Gramíneas o Poaceas son más susceptibles que las leguminosas o Fabaceas bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Comparando el daño al tiempo inicial y final, se encontró que a las seis horas las semillas de arveja, seca e hidratada, presentaron 10 y 40% de daño y a las 72 horas alcanzó el 60%, para ambas. En las semillas de maíz, secas e hidratadas, a las seis horas, el 25 y 35%, respectivamente, estaban afectadas y, a las 72 horas, presentó niveles de 90 y 45%. En las semillas de trigo, el daño a las seis horas, alcanzó 50 y 55%, respectivamente y, a las 72 horas, reveló niveles de 90 y 65%. En general, el ataque del falso gusano alambre presentó la tendencia a ser más severa sobre las semillas de maíz y de trigo secas, al contrario de la arveja, donde las semillas sufrieron el daño más rápido y severo (pérdida de las semillas) (Figura 2, Tabla 2). También, se encontró que las

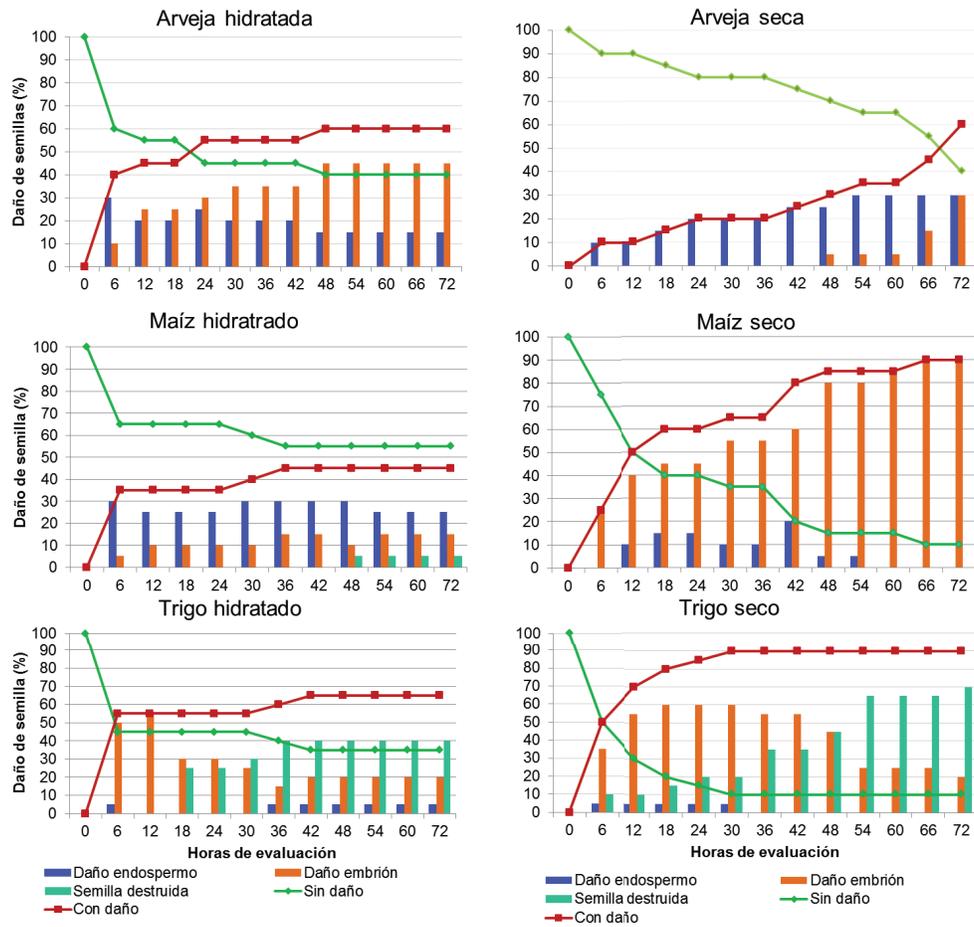


Figura 3. Evaluación del tiempo de daño causado por larvas del falso gusano alambre, sobre semillas de arveja, de maíz y de trigo, expuestas secas e hidratadas.

semillas secas mostraron la tendencia a sufrir, inicialmente, menos que las hidratadas, pero al final de la evaluación las de maíz y de trigo secas fueron las más afectadas. El comportamiento de la respuesta al daño dependiendo del estado de la semilla es un aspecto que merece mayor investigación, para establecer si esta puede ser influenciada por la variedad de la semilla y las condiciones de materia orgánica y humedad del suelo.

En maíz y en trigo, la hidratación de las semillas tuvo un efecto positivo, reduciendo la cantidad de semillas dañadas y desaparecidas, por el ataque de las larvas. La evaluación demostró que en estas semillas, la hidratación puede disminuir la incidencia en 45 y 30%, respectivamente, en relación con las secas, lo cual, en la práctica, puede ser una recomendación técnica para el manejo del falso gusano alambre, en cultivos de gramíneas, cuando el suelo de los lotes presenta, históricamente, larvas del falso gusano alambre (Figura 3, Tabla 1,3).

En la evaluación del daño sobre las partes de las semillas atacadas, considerando el estado, secas e hidratadas, se encontró que en las semillas de arveja (seca e hidratada) y en las de maíz (secas), el daño solamente se causó sobre el endospermo y el embrión, mientras que en las de maíz (hidratado) y en las de trigo (seco e hidratado), se presentó pérdida de endospermos, del embrión y la destrucción total de las semillas (Figura 3, Tabla 1).

En la arveja seca, la lesión sobre el endospermo reveló una tendencia creciente y alcanzó el mayor valor (60%), a las 72 horas. Sobre el embrión, solamente se inició el daño al cabo de las 48 horas (5%) y, a las 72 horas, llegó al (30%). En las semillas de arveja hidratadas, el daño sobre el endospermo y el embrión, se presentó a partir de las seis horas, donde en el endospermo fue mayor (30%) y decreció hasta las 72 horas (15%). Lo contrario ocurrió con el daño del embrión, que mostró una tendencia a aumentar hasta las 72 horas (45%).

Tabla 1. Evaluación de la frecuencia del daño de las semillas de arveja, de maíz y de trigo expuestas secas e hidratadas, a larvas del falso gusano alambre por 72horas.

Semilla x estado	Daño				
	Sin daño 0	Daño endospermo 1	Daño embrión 2	Con Daño completo 3	Total
Arveja Hidratada	130	46	84	0	260
Porcentaje	8,33	2,95	5,38	0,00	16,67
Porcentaje línea	50,00	17,69	32,31	0,00	
Porcentaje columna	16,88	23,71	19,44	0,00	
Arveja Seca	195	53	12	0	260
Porcentaje	12,50	3,40	0,77	0,00	16,67
Porcentaje línea	75,00	20,38	4,62	0,00	
Porcentaje columna	25,32	27,32	2,78	0,00	
Maíz Hidratado	161	65	29	5	260
Porcentaje	10,32	4,17	1,86	0,32	16,67
Porcentaje línea	61,92	25,00	11,15	1,92	
Porcentaje columna	20,91	33,51	6,71	3,05	
Maíz Seco	92	18	150	0	260
Porcentaje	5,9	1,15	9,62	0,00	16,67
Porcentaje línea	35,38	6,92	57,69	0,00	
Porcentaje columna	11,95	9,28	34,72	0,00	
Trigo Hidratado	115	8	65	72	260
Porcentaje	7,37	0,51	4,17	4,62	16,67
Porcentaje línea	44,23	3,08	25,00	27,69	
Porcentaje columna	14,94	4,12	15,05	43,90	
Trigo seco	77	4	92	87	260
Porcentaje	4,94	0,26	5,90	5,58	16,67
Porcentaje línea	29,62	1,54	35,38	33,46	
Porcentaje columna	10,00	2,06	21,30	53,01	
Total	770	194	432	164	1560
	49,36	12,44	27,69	10,51	100,00

Freq. Proc. $\chi^2 = 648,56$; G.L. = 15; P= 0,0001).

En maíz, con las semillas secas, las larvas mostraron mayor preferencia por atacar el embrión que el endospermo, contrario a las semillas hidratadas. En las semillas secas, el daño al embrión empezó a las seis horas (25%) y se incrementó hasta las 72 horas (90%), mientras que sobre el endospermo solamente se empezó a presentar a las 12 horas (10%) y se extendió hasta las 54 horas (5%). En las semillas hidratadas, el daño del endospermo y del embrión, se evidenció a partir de las seis horas y se mantuvo casi constante hasta las 72 horas, con valores de 25%, para el endospermo y 15%, para el embrión. En las semillas hidratadas, la pérdida total de semillas se detectó a partir de las 48 horas.

En trigo, la mayor incidencia se observó sobre el endospermo, el embrión y, además, ocurrió la pérdida total de la semilla, lo que puede indicar mayor preferencia de las larvas

del insecto por las semillas de trigo, frente a las demás evaluadas. En las semillas de trigo secas, se detectaron todos los tipos de lesión, a partir de las seis horas. El daño sobre el endospermo fue el más bajo (5%) y se mantuvo constante hasta las 24 horas; sobre el embrión, inicialmente, alcanzó un nivel de 35%, se incrementó rápidamente hasta el 60%, a las 24 horas y decreció hasta 20%, a las 72 horas, esto se explica porque cambiaba la catalogación de la lesión y pasaba a grado 3 (pérdida total). La pérdida total de la semilla, a las seis horas, presentó un 10% y se incrementó hasta un 70%, a las 72 horas. Igualmente, las semillas hidratadas sufrieron todos los tipos de lesión, pero exhibieron diferente respuesta. A las seis horas, únicamente se había presentado daño en el endospermo (5%), que se mantuvo hasta las 72 horas y en el embrión (50%). El mayor porcentaje de daño en el embrión (55%), se presentó a las 12 horas y decreció a las 72 horas,

Tabla 2. LSmeans* de la respuesta general del daño causado por larvas del falso gusano alambre, por semillas, por estado, seca e hidratada y por la interacción de semilla por estado.

LSmean de las Semillas						
Semilla		Media ± E.E.**.	G.L.	Valor de t	Pr > t 	letras
Arveja		37,5 ± 1,97	1548	19,06	< 0,0001	C
Maíz		51,3 ± 1,97	1548	26,09	< 0,0001	B
Trigo		63,1 ± 1,97	1548	32,06	< 0,0001	A
LSmean por Estado de la semilla						
Estado		Media ± E.E.	G.L.	Valor de t	Pr > t 	letras
Seca		53,3 ± 1,61	1548	33,2	< 0,0001	A
Hidratada		47,9 ± 1,61	1548	28,84	< 0,0001	B
LSmean de las Semillas x Estado (secas e hidratadas)						
Semilla	Estado	Media ± E.E.	G.L.	Valor de t	Pr > t 	letras
Arveja	Seca	25,0 ± 2,78	1548	8,98	< 0,0001	D
Arveja	Hidratada	50,0 ± 2,78	1548	19,97	< 0,0001	B
Maíz	Seca	64,6 ± 2,78	1548	23,22	< 0,0001	A
Maíz	Hidratada	38,1 ± 2,78	1548	13,68	< 0,0001	C
Trigo	Seca	70,4 ± 2,78	1548	25,29	< 0,0001	A

*LSmeans (mínimo de los cuadrados de la media) Proc Glimmx, P=0.05. Números seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas.

** E. E. Error Estándar

con valores de (20%). La destrucción de las semillas se empezó a presentar a partir de las 18 horas (25%) y aumentó hasta las 72 horas, con valores del 40%.

En la evaluación de la germinación, luego de presentarse el daño, se observó que las semillas que sufrieron lesiones en el endospermo, alcanzaron a germinar; sin embargo, el daño puede inducir desórdenes sanitarios, por el ataque de hongos patógenos o saprofitos o la pérdida de vigor de la planta. Dependiendo de la intensidad de la lesión sobre el endospermo, el daño puede ser tolerable, si es pequeño y, en bajas proporciones, en el lote de semillas. La lesión se consideró grave, cuando se presentó sobre el embrión o el ataque causa la destrucción completa de la semilla, ya que en ambos casos se evidenció la pérdida total. En conjunto, considerando las partes de la semilla atacadas (embrión y destrucción de la semilla), alcanzaron valores de 38,2% (Tabla 1), que se considera de importancia económica, por la pérdida de producción o por los costos de resiembra y valor

de estas labores y remplazo de la semilla y demás insumos utilizados en la siembra.

En esta investigación, la evaluación demostró que las semillas más susceptibles al daño ocasionado por las larvas del falso gusano alambre fueron las de trigo, seguido por las semillas de maíz y, finalmente, las de arveja, como lo indica la frecuencia de las observaciones. Por estado de las semillas, secas e hidratadas, las más susceptibles fueron las de trigo y de maíz secas, seguidas por las de trigo y de maíz hidratadas y las menos susceptibles fueron las de arveja secas e hidratadas (Tabla 3).

Si bien el estado de la semilla de maíz y de trigo hidratadas puede contribuir a la rápida germinación de la semilla y a recibir una menor proporción del daño, igualmente, es posible que el estímulo de la rápida germinación contribuya a que reciba mayor ataque, ya que en el proceso de germinación las semillas liberan compuestos volátiles, que le permiten a

Tabla 3. LSmeans* de la respuesta general del daño sobre las semillas por estado, secas e hidratadas, a diferentes tiempos de evaluación.

Semilla		Arveja		Maíz		Trigo	
Horas	N	Seca Media ± E.E.	Hidratada Media ± E.E.	Seca Media ± E.E.	Hidratada Media ± E.E.	Seca Media ± E.E.	Hidratada Media ± E.E.
0	20	0 ± 0,0 D	0 ± 0,0 B	0 ± 0,0 E	0 ± 0,0 B	0 ± 0,0 C	0 ± 10,0 B
6	20	10 ± 6,9 CD	40 ± 11,2 A	25 ± 9,9 DE	35 ± 10,9 A	50 ± 11,5 BC	55 ± 11,4 A
12	20	10 ± 6,9 CD	45 ± 11,4 A	50 ± 11,5 CD	35 ± 10,9 A	70 ± 10,5 BC	55 ± 11,4 A
18	20	15 ± 8,2 CD	45 ± 11,4 A	60 ± 11,2 BC	35 ± 10,9 A	80 ± 9,2 A	55 ± 11,4 A
24	20	20 ± 9,2 BCD	55 ± 11,4 A	60 ± 11,2 BC	35 ± 10,9 A	85 ± 8,2 A	55 ± 11,4 A
30	20	20 ± 9,2 BCD	55 ± 11,4 A	65 ± 10,9 ABC	40 ± 11,2 A	85 ± 8,2 A	55 ± 11,4 A
36	20	20 ± 9,2 BCD	55 ± 11,4 A	65 ± 10,9 ABC	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	60 ± 11,2 A
42	20	25 ± 9,9 BCD	60 ± 11,4 A	80 ± 9,2 AB	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A
48	20	30 ± 10,5 BC	60 ± 11,2 A	85 ± 8,2 AB	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A
54	20	35 ± 10,9 ABC	60 ± 11,2 A	85 ± 8,2 AB	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A
60	20	35 ± 10,9 ABC	60 ± 11,2 A	85 ± 8,2 AB	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A
66	20	45 ± 11,4 AB	60 ± 11,2 A	90 ± 8,9 A	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A
72	20	60 ± 11,2 A	60 ± 11,2 A	90 ± 6,9 A	45 ± 11,4 A	90 ± 6,9 A	65 ± 10,9 A

*LSmeans (mínimo de los cuadrados de la media) Proc Glimmx, P=0,05. Números seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas.

los insectos ubicarlas, lo cual, se ha demostrado para insectos trozadores, como el gusano alambre (Doane *et al.* 1975; Doyen & Tschinkel, 1974; Horton & Landolt, 2002); sin embargo, sobre las semillas que alcanzaron a germinar y tenían algún daño, se desarrollaron hongos, como *Fusarium sp.* y *Pencilciliium sp.* (Figura 2), que pueden llegar a ser responsables de pérdida de vigor de las plántulas, por competencia por nutrientes, contribuir al desarrollo de micotoxinas o evitar el establecimiento de endófitos, que contribuyen a la protección de la planta (Bacon *et al.* 2001). Estos aspectos justifican dedicar mayores esfuerzos de investigación para alcanzar una visión completa del efecto del daño ocasionado por el falso gusano alambre sobre las semillas-plántulas de arveja, de maíz y de trigo evaluadas.

Los resultados indican que las larvas del falso gusano alambre, se alimentan de las semillas, inmediatamente éstas se colocan el suelo y no les dan tiempo de hidratarse y de ger-

minar, por lo que en suelos, con presencia de este insecto, las pérdidas de la población de plantas puede llegar a afectar severamente el desarrollo de los cultivos.

Para el manejo de este insecto, se debe considerar que el daño que sufren las semillas, por el ataque de las larvas, puede alcanzar importancia económica, por la pérdida total de la semilla o porque afecta el desarrollo de la planta. El daño, se encontró que afecta severamente las semillas de trigo y de maíz y, moderadamente, a las semillas de arveja.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta la pérdida de vigor de las plantas por acción directa del insecto y las consecuencias, como stress hídrico o volcamiento por la pérdida del sistema radicular. A causa de esto, en los lotes, con historia de la presencia del falso gusano alambre, se puede tomar la decisión de ser sembrados con semilla de óptima calidad (certificada), tratada con un insecticida, emplear cebos en-

venenados (tóxicos) (Zenner de Polanía *et al.* 1999) y realizar una adecuada preparación del suelo, complementada con medidas de labores culturales, como el aseo del lote (remoción de escombros, residuos vegetales de cosechas o de control de malezas), para prevenir que los adultos encuentren sitios donde refugiarse y reproducirse (Quiroga & Posada, datos aún no publicados).

Agradecimientos. Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, por el apoyo brindado a esta investigación realizada dentro del semillero *Entomi dedicati*, adscrito al grupo de investigación de Fitosanidad. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- BACON, C.W.; YATES, I.E.; HINTON, D.M.; MEREDITH, F. 2001. Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. *Environm. Health Perspect.* 109(2):325-332.
- DOANE, J.F.; LEE, Y.W.; KLINGLER, J.; WESTCOTT, N.D. 1975. The orientation response of *Ctemcera destructor* and other wire worms (Coleoptera: Elateridae) to germinating grain and to carbon dioxide. *Can. Entomol.* 107(12):1233-1252.
- DOYEN, J.T.; TSCHINKEL, W.F. 1974. Population size, microgeographic distribution and habitat separation in some tenebrionid beetles (Coleoptera). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67:617-626.
- ESPINAL T., L.S.; MONTENEGRO M., E. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Departamento Agrológico, Bogotá. 238p.
- HORTON, D.R.; LANDOLT, P.J. 2002. Orientation response of Pacific coast wireworm (Coleoptera: Elateridae) to food baits in laboratory and effectiveness of baits in field. *Can. Entomol.* 134(3):357-367.
- LÓPEZ A., A.; ESPITIA M., E.; RONDÓN C., G.; ARRIETA H., J.M. 1995. La de todos los años. NOTAS Y NOTICIAS ENTOMOLOGICAS Boletín del Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas. CORPOICA. 1(2) 13.
- McINTYRE, N.E. 1998. Pitfall Trapping of Male Darkling Beetles Not Induced by Females. *The Prairie Naturalist* 30(2): June 1998. Disponible desde internet en: http://www.biol.ttu.edu/faculty/nmcintyre/research/prairienat30_2_1998.pdf (con acceso 23/12/12).
- METCALF, C.L.; FLINT, W.P. 1962. Destructive and useful insects: their habit and control. New York: London: Mc Graw Hill, 1087p.
- POSADA, L.; ZENNER DE POLANÍA, I.; CALVACHE G., H.; BORRERO F., F. 1988. Impacto visual. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Enero – Febrero 1988:4.
- POSADA, L.; ZENNER DE POLANÍA, I.; CALVACHE G., H.; RODRÍGUEZ S., D.A. 1987. Falso gusano alambre. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Mayo – Junio 1987:3.
- POSADA O, L.; ZENNER DE POLANÍA, I.; LÓPEZ, A.; RUIZ, N. 1980. Al fin se conoce huésped. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Julio – Agosto 1980:2.
- POSADA O., L.; ZENNER DE POLANÍA, I.; BORRERO F., F. 1990a. Ya se acerca. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Septiembre – Octubre 1990:1.
- POSADA O, L.; ZENNER DE POLANÍA, I.; BORRERO F., F. 1990b. Si son plagas. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Mayo – Junio 1990:1.
- POSADA O., L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario, Bol. Técn. No. 43. 662p.
- SAS INSTITUTE. 2009. SAS user's guide: statistics, version. 9.1.3. SAS Institute, Cary, NC.
- TOBA, H.H. 1985. Damage to potato tubers by false wireworm larvae. *J. Agric. Entomol.* 2(1):13-19. Disponible desde internet en: <http://scentsoc.org/Volumes/JAE/v2/1/00021013.pdf> (con acceso 23/12/12).
- VERGARA, R.; VARELA, A.L. 1977. Plaga potencial? Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Septiembre – Octubre. 1977:18.

18. ZENNER DE POLANÍA, I. 1994a. Por punta y punta. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Enero-Junio 1994:1.
19. ZENNER DE POLANÍA, I. 1994b. También le hala. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Enero-Junio 1994:2.
20. ZENNER DE POLANÍA, I.; BORRERO F., F. 1992. Hábito adicional. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). Programa de Entomología. I.C.A. Marzo-abril. 1992:19.
21. ZENNER DE POLANÍA, I.; ÁLVAREZ R., A.; DUARTE G., W. 1999. No solo contra trozadores. Notas y Noticias Entomológicas (NNE). SOCOLEN. 27(3):4.

Recibido: Julio 19 de 2013

Aceptado: Octubre 21 de 2013

Como citar:

Quiroga-Murcia, D.; Posada-Flórez, F.J. 2013. Daño ocasionado por el falso gusano alambre *Eleodes pos. omissoides* Blaisdell (Coleoptera: Tenebrionidae) en semillas de gramíneas y leguminosas. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 391-400.

RELACIÓN ESPACIAL ENTRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

SPATIAL RELATION BETWEEN ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND SOME CHEMICAL SOIL PROPERTIES

Diego L. Cortés-D.¹; Jhon H. Pérez-B.²; Jesús H. Camacho-Tamayo³

¹ Ingeniero Agrícola, Estudiante de Maestría en Ingeniería Agrícola, CR 30 45 03, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, E-mail: dlcortésd@unal.edu.co; ² Estudiante de Ingeniería Agrícola, CR 30 45 03, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, E-mail: jhperezb@unal.edu.co; ³ Ingeniero Agrícola, M.Sc., Ph.D. Profesor Asistente. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia. Cra. 45 No. 45 – 03, Bogotá, Colombia. E-mail: jhcamachot@unal.edu.co *Autor para correspondencia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 401-408, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

El conocimiento de los suelos agrícolas resulta ser el factor predominante para el desarrollo óptimo de las actividades agropecuarias. El objetivo de esta investigación fue determinar la relación entre la conductividad eléctrica y las propiedades químicas del suelo en un Andisol. En un área de 83 hectáreas, se realizó un muestreo por medio de una grilla regular rígida geo-referenciada de 80 x 80m, con el fin de evaluar la variabilidad espacial de las propiedades. Las propiedades medidas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de agua, Na, Mg y Ca. El pH presentó una baja variabilidad representada, con un CV de 6,95%. El contenido de agua, Na y Mg presentaron variabilidad media, con CV de 26,33%, 40,14% y 57,53%, respectivamente, mientras la variabilidad alta corresponde a las variables de CE y Ca, con un CV de 69,86% y 74,36%, respectivamente. Con la información obtenida, se realizaron mapas de contorno de cada variable, verificando alta correlación espacial, entre CE y los cationes. El catión con mayor influencia y correlación con CE fue Na con un nivel de significancia del 99%, por lo cual, se elaboró un modelo lineal entre conductividad y sodio, cuyo coeficiente de determinación fue de 0,79. La correlación de Pearson entre la conductividad eléctrica y los contenidos de Ca y Mg fue baja y no significativa, situación que permite concluir que dichos elementos no afectan la CE y, por tanto, el modelo encontrado entre el Na y la CE puede ser aplicado, aun cuando se usen enmiendas en este suelo.

Palabras clave: Semivariograma, distribución espacial, conductividad eléctrica, kriging.

SUMMARY

Knowledge of agricultural soils results in the predominant factor for an optimal development of agronomic activities. The objective of this work was to determine the relationship between electrical soil conductivity and some chemical properties in an Andisol. An area of 83 hectares was sampled by a rigid regular georeferenced grid of 80x80m in order to evaluate the spatial variability of the properties. The properties measured were: pH, electrical conductivity (EC), moisture content, Na, Mg and Ca. The pH showed a low variability with a coefficient of variation (CV) of 6,95%; the moisture content, Na and Mg presented a medium variability evidencing, respectively, a CV of 26,33%, 40.14% and 57.53%. A high variability corresponded to the EC and Ca, showing CVs of 69.86% and 74.36%, respectively. With this information contour maps were produced for each variable, finding a remarkable spatial relationship between EC and soil cations. The most influential one and correlated cation with EC was Na with a significance level of 99%; therefore a linear model between conductivity and sodium was developed, obtaining a coefficient of determination of 0.79. The Pearson correlation between electrical conductivity and the contents of Ca and Mg was low and not significant, situation that allowed to infer that these elements do not affect the EC. Therefore, the model established between Na and EC may even be adapted when amendments are used in this soil.

Key words: Semivariogram, spatial distribution, electrical conductivity, kriging.

INTRODUCCIÓN

La base de la agricultura de precisión es el conocimiento de la variabilidad espacial de algunos factores de suelo y su relación con la producción, concepción fundamental para establecer sistemas de producción con mayor sostenibilidad y de mayor eficiencia (Valbuena *et al.* 2008), pues la producción de los cultivos se ve influenciada por la variación espacial de algunos factores del suelo (Godwin & Miller, 2003).

En la actualidad, los suelos agrícolas enfrentan serios problemas que afectan, directamente, el desarrollo de los cultivos, los cuales, se relacionan, entre otros, con el contenido de sales, la acidez y la cantidad de nutrientes disponibles. La salinidad del suelo en exceso afecta la productividad agrícola, además de causar la degradación del suelo. Esto, sumado a los graves problemas de contaminación originados por prácticas agrícolas inadecuadas, provocan una disminución en el desarrollo y la producción de diferentes cultivos, lo cual, trae repercusiones a nivel socio-económico, sobre todo en aquellos países que tienen un marcado enfoque agrícola (Rueda *et al.* 2011).

El control y el manejo apropiado de los diversos tipos de suelos permite el aprovechamiento eficiente y seguro de los insumos. Esto se puede llevar a cabo mediante técnicas, como la agricultura de precisión, que presenta nuevas tecnologías para el manejo de cultivos (Molin *et al.* 2008) y que, a su vez, satisface el concepto de agricultura sostenible, que se basa en la búsqueda del equilibrio entre la maximización de la productividad de cultivos y la estabilidad económica, reduciendo al mínimo, tanto la utilización de recursos naturales como el impacto ambiental (Corwin *et al.* 1999).

A través de la medición de ciertas características del suelo, como es el caso de la conductividad eléctrica (CE) y su posterior mapeo, se permite establecer la factibilidad, la viabilidad y el buen desarrollo de un producto en un suelo específico, ya que se considera un método rápido y económico de indicar su productividad (McBride *et al.* 1990). Además, la CE se ve influenciada por el contenido de agua, el de arcilla y la presencia de iones intercambiables en el suelo (Corwin *et al.* 1999), capaces de conducir la corriente eléctrica y que inciden en las características nutritivas del suelo. Estas propiedades están claramente asociadas con la salinidad del suelo y su estimación y predicción espacial representan un especial interés científico, para nuevas aplicaciones agrícolas o ambientales (Allaire *et al.* 2012).

De acuerdo con Parr *et al.* (1992), diferentes atributos químicos, físicos y biológicos interactúan de manera compleja y su entendimiento es esencial para favorecer la sostenibilidad y mejorar la capacidad productiva del suelo. Tales atributos varían en el espacio y en el tiempo, donde algunos atribu-

tos no pueden ser medidos intensivamente de forma rápida, sencilla o a bajo costo, siendo la geoestadística una herramienta para hacer frente a esta situación, para optimizar las distancias de muestreo y definir las variaciones espaciales de los atributos (Juan *et al.* 2011).

Por las razones expuestas, el objetivo de este estudio fue establecer la relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo, en un Andisol del Centro Agropecuario Marengo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó en el Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca), en las coordenadas geográficas 4° 42' N, 74° 12' W y altitud de 2543m. La zona presenta temperatura media anual de 13,1°C y precipitación media anual 670mm (Carranza *et al.* 2008); pertenece a la cuenca hidrográfica del río Bogotá, que presenta suelos de la serie Marengo y corresponde a la unidad taxonómica Typic Melanudand, con texturas franco limosas y franco arcillosas y con pendientes inferiores al 1%. El suelo es un Andisol con un horizonte A espeso y oscuro, originado de sedimentos lacustres, con aspersiones de cenizas volcánicas y aportes de arcillas aluviales (Malagón, 2003), con un drenaje natural entre pobre e imperfecto, problemas de salinidad y bajos contenidos de sodio.

En un área cercana de 90ha, se estableció una red rígida de 80m de largo, obteniendo 120 puntos de muestreo, el cual, se realizó entre el primero y el 5 de mayo de 2012. Cada punto fue geo-referenciado, utilizando el receptor GPS Garmin 60CSx y se tomaron cerca de 250g de suelo en los primeros 20cm de profundidad, en cada punto.

Las pruebas físico-químicas del suelo, se realizaron sobre muestras secadas por un periodo de 48 horas, a 35°C, a partir de las cuales, se determinaron el pH, mediante potenciómetro; la conductividad eléctrica (CE), mediante la metodología de extracto de pasta de saturación y lectura en conductímetro y Na, Mg y Ca, mediante absorción atómica. De acuerdo con Friedman (2005), estos elementos corresponden a atributos relevantes de la solución del suelo, de donde se define la relación de absorción de sodio en suelos con pH altos, así como relacionados directamente con la capacidad de intercambio catiónica. Se consideró realizar una corrección de la conductividad eléctrica por el contenido de agua de las muestras, a partir del modelo empírico propuesto por Vogeler & Clothier (1996), dado que varios autores coinciden en que este modelo permite un buen ajuste (Abbasi *et al.* 2006; Magesan *et al.* 2003). El modelo es definido por la siguiente ecuación:

$$\sigma = 2,5667 \times \theta \times \sigma_w \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde θ es el contenido de agua y σ_w es la conductividad eléctrica en dS m^{-1} . El factor 2,5667, se determinó mediante el uso de la herramienta SOLVER de Excel.

Mediante el paquete SPSS v. 20, se realizó el análisis estadístico, en el que se evaluaron y se descartaron los datos atípicos, mediante el análisis del histograma y de diagramas box-plot. Además, se determinaron los estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, para poder apreciar su comportamiento y su distribución. La variabilidad, se evaluó con base en el coeficiente de variación (CV) que, de acuerdo con Warrick & Nielsen (1980), atributos con CV menor al 12%, presenta baja variabilidad; media, entre 12% y 60% y para parámetros con alta variabilidad, se tiene coeficientes de variación superiores al 60%. Igualmente, se estudió la relación entre propiedades del suelo, a través de la correlación de Pearson, con el fin de observar el catión con mayor influencia en la conductividad eléctrica y, de esta manera, establecer un modelo matemático, que permitiese especificar, de forma rápida y económica, la concentración de tal catión, mediante la medición de la CE.

Adicionalmente, se evaluó la dependencia espacial de las propiedades en estudio, a través de la teoría de variables regionalizadas, la cual, dispone de diferentes métodos de análisis de variación espacial, siendo una de ellas el semivariograma (Webster & Oliver, 2007). A partir del ajuste de los modelos, se determinó la pepita (C_0), la meseta (C_0+C) y el rango o alcance (A), además del grado de dependencia espacial (GDE), como la razón entre la pepita y la meseta (C/C_0+C), siendo considerada fuerte para GDE, superior de 0,75; moderada para GDE, entre 0,25 y 0,75 y débil para GDE, inferior a 0,25 (Cambardella *et al.* 1994). Los semivariogramas, se calcularon con el programa GS+ v.9 (Gamma Design Software).

Para la selección de los modelos teóricos de semivariograma, se consideró el menor valor de la suma de los cuadrados residuales, el coeficiente de determinación (R^2) de la

ecuación de ajuste y los valores semejantes, obtenidos entre el valor real y el valor estimado, que se obtienen en la validación cruzada, indicadores apropiados, para tal fin (Garzón-Gutiérrez *et al.* 2010). A partir de estos resultados, se elaboraron mapas de distribución espacial, usando el programa Surfer 10.0 (Golden Software Inc., Golden, CO), mediante kriging ordinario, para cada una de las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, a partir del análisis de estadística descriptiva, permiten verificar que se cuenta con distribuciones simétricas, con valores de media y mediana, similares para cada profundidad analizada (Tabla 1). Si bien los valores de asimetría y curtosis para Na y Mg son distantes de cero, alejándose del comportamiento normal, es conveniente verificar que la distribución normal no presente colas largas, que comprometan los resultados (Cressie, 1993), especialmente, cuando se realiza kriging, donde las estimaciones son basadas en valores medios (Warrick & Nielsen, 1980). Otro factor significativo es la ocurrencia del efecto proporcional entre la media y la varianza de los datos en el espacio, para estimar mesetas bien definidas, en los modelos teóricos de semivariogramas.

Los valores de las propiedades en estudio, se encuentran en los rangos reportados para andisoles, por Garzón-Gutiérrez *et al.* (2010) y Sánchez *et al.* (2011), con medias inferiores, debido a la alta precipitación ocasionada por el fenómeno de La Niña, que ocasionó un lavado de los cationes, debido a la presencia de un nivel freático superficial, por periodos mayores a los usualmente registrados para la zona, impidiendo también el uso del suelo de forma adecuada. Juan *et al.* (2011) indican que la alta precipitación esta aparentemente asociada a las bajas concentraciones de estos elementos, debido a la posible lavado de los horizontes superiores.

De acuerdo con los estadísticos descriptivos, se observa que la menor variabilidad la presentó el pH (CV=6,95%), comportamiento típico para esta propiedad, en diferentes tipos de suelos (Cruz *et al.* 2011; Garzón-Gutiérrez *et al.* 2010;

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del contenido de agua (C_A), pH, conductividad eléctrica (CE), Na, Mg y Ca.

Propiedad	Media	Mediana	C.V. %	Mínimo	Máximo	Asimetría	Curtosis
C_A (g g^{-1})	0,369	0,348	26,33	0,254	0,709	1,84	3,71
pH	5,870	5,810	6,95	5,000	6,700	0,26	-0,56
CE (dS m^{-1})	0,014	0,012	69,86	0,003	0,043	1,34	1,39
Na (mg g^{-1})	0,504	0,466	40,14	0,240	1,286	2,03	5,68
Mg (mg g^{-1})	0,734	0,637	57,53	0,269	2,759	2,88	11,95
Ca (mg g^{-1})	1,989	1,746	74,36	0,245	5,833	0,63	-0,25

Najafian *et al.* 2012). El contenido de agua y la concentración de Na y Mg presentaron variabilidad media (Tabla 1). La alta variabilidad observada para CE y la concentración de Ca, no es comúnmente reportada por diferentes autores, pues es señalado que estas propiedades presentan, generalmente, baja o media variabilidad (Sánchez *et al.* 2011; Najafian *et al.* 2012). La variabilidad de estas propiedades puede ser natural, debida, especialmente, al relieve, material parental y condiciones climáticas o inducida por diferentes actividades en la zona de estudio, es decir, manejo de diferentes cultivos (maíz, hortalizas, papa, frutales, entre otros) y ganadería. Wei *et al.* (2009) atribuyen el comportamiento de altas variaciones a aplicaciones desiguales de enmiendas o fertilizantes e ineficacia de las prácticas de manejo sobre el terreno.

Se identificaron dos datos atípicos. En el caso 55, la variable motivo de anomalía fue el sodio, debido a su mayor concentración, respecto a los otros puntos de muestreo (Tabla 2); sin embargo, al observarse las demás variables, en estas se encuentran valores que no se alejan de la media, razón por

la cual, esta propiedad es descartada para el análisis de dependencia espacial de la misma. Para el caso 57, se observa una alta concentración de magnesio, a la vez, que la conductividad eléctrica y las concentraciones de sodio y de calcio son igualmente altas, por lo tanto, se conserva este punto del muestreo. La tabla 3 muestra la matriz de correlación de Pearson obtenida.

De acuerdo a la matriz de correlación, se observa que el catión que más incide en la conductividad eléctrica es el sodio, con un coeficiente de correlación de 0,59 y un nivel de significancia del 99%. Este comportamiento, se confirma en el modelo exponencial ajustado, donde se observa que el contenido de Na del suelo se puede obtener a partir de CE (Figura 1), a pesar de la alta dispersión encontrada, debido a los bajos valores de CE y de los contenidos de Na.

Posteriormente, se verificó la dependencia especial de cada propiedad analizada, obteniendo los parámetros geoestadísticos (Tabla 4). De acuerdo con el criterio de Cambardella *et*

Tabla 2. Valores de las propiedades en las muestras atípicas.

Caso	55	57
Variable de motivo	Na	Mg
Impacto de la variable	0,531	0,326
Valor de la variable	1,120	2,760
Norma de la variable	0,442	0,805
C _A (g g ⁻¹)	0,370	0,460
pH	6,200	6,570
CE (dS m ⁻¹)	0,005	0,040
Na (mg g ⁻¹)	1,116	1,286
Mg (mg g ⁻¹)	1,242	2,759
Ca (mg g ⁻¹)	4,510	1,426

Tabla 3. Correlación de Pearson del contenido de agua (C_A), pH, conductividad eléctrica (CE), Na, Mg y Ca.

	C _A	pH	CE	Na	Mg	Ca
C _A	1					
pH	0,030	1				
CE	0,423**	0,030	1			
Na	0,362*	0,070	0,590**	1		
Mg	0,280	0,210	0,300	0,641**	1	
Ca	0,070	-0,240	-0,010	-0,130	0,331*	1

*La correlación es significativa al nivel 95%; **La correlación es significativa al nivel 99%.

al. (1994), el calcio presentó una fuerte dependencia espacial, mientras el pH y el Mg expresaron una moderada dependencia, con valores cercanos a 0,5.

En cuanto al rango, se encuentra que el magnesio y el calcio presentan los mayores valores y, de manera simultánea, el

sodio exhibe un rango significativamente bajo. Caso contrario el pH, el cual, presenta uno de los rangos más bajos y que acompañado de un R², dependencia espacial y un coeficiente de validación cruzada (CVC), significativamente bajos, se infiere que los datos obtenidos no son suficientemente representativos (Medina *et al.* 2012).

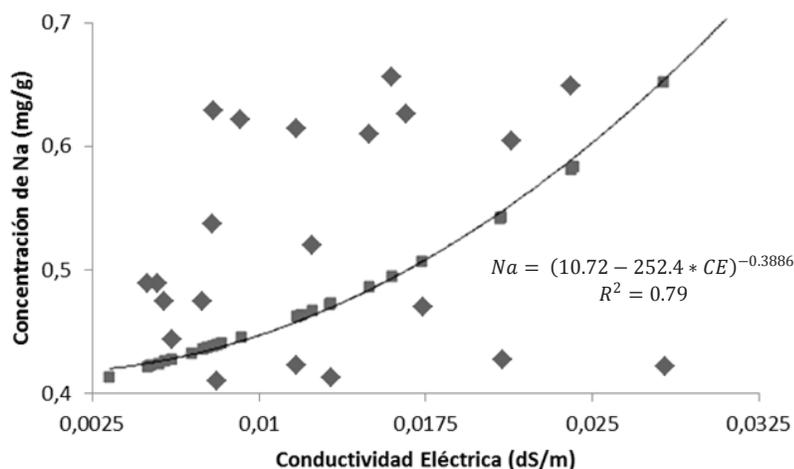


Figura 1. Modelo obtenido para la determinación de Na, a partir de la conductividad eléctrica.

El calcio fue el que mayor CVC presentó, lo cual, representa que los valores estimados, según el modelo encontrado, se ajustan muy bien a los datos reales, soportado por un elevado coeficiente de determinación y una fuerte dependencia espacial, mientras que los menores valores de CVC, se presentaron en el pH y en el Magnesio.

En concordancia con Morales *et al.* (2009), a menudo se registra que los modelos que mejor se ajustan al pH son los esféricos. De igual manera, la CE también reflejó ajuste a un modelo esférico, como también es reportado por Heil &

Schmidhalter (2012). El ajuste de una propiedad a un modelo de semivariograma muestra la aleatoriedad, homogeneidad o tendencia espacial de ésta, que depende de factores naturales o inducidos, por lo cual, su distribución en el espacio depende de condiciones edafoclimáticas en el tiempo o por la acción del hombre, conduciendo, incluso, a diferentes modelos espaciales en periodos relativamente cortos, en el estudio de una propiedad en la misma zona (Li *et al.* 2007).

Al encontrarse un rango alto en el magnesio y en el calcio, se puede inferir que este es resultado de la aplicación con

Tabla 4. Parámetros de los modelos ajustados de semivariogramas para contenido de agua (C_A), pH, conductividad eléctrica (CE), Na, Mg y Ca.

Propiedad	Modelo	Co	Co + C	Rango, m	R ²	C/(Co+C)	CVC
C _A	Esférico	0,001	0,007	515,0	0,722	0,814	0,756
pH	Esférico	0,066	0,156	404,0	0,774	0,577	0,685
CE	Esférico	7,5E-6	5,69E-5	414,0	0,787	0,868	0,877
Na	Exponencial	1,59E-4	0,014	264,0	0,405	0,887	0,822
Mg	Gaussiano	0,035	0,078	800,2	0,657	0,548	0,658
Ca	Gaussiano	0,330	3,670	1269,6	0,964	0,910	1,006

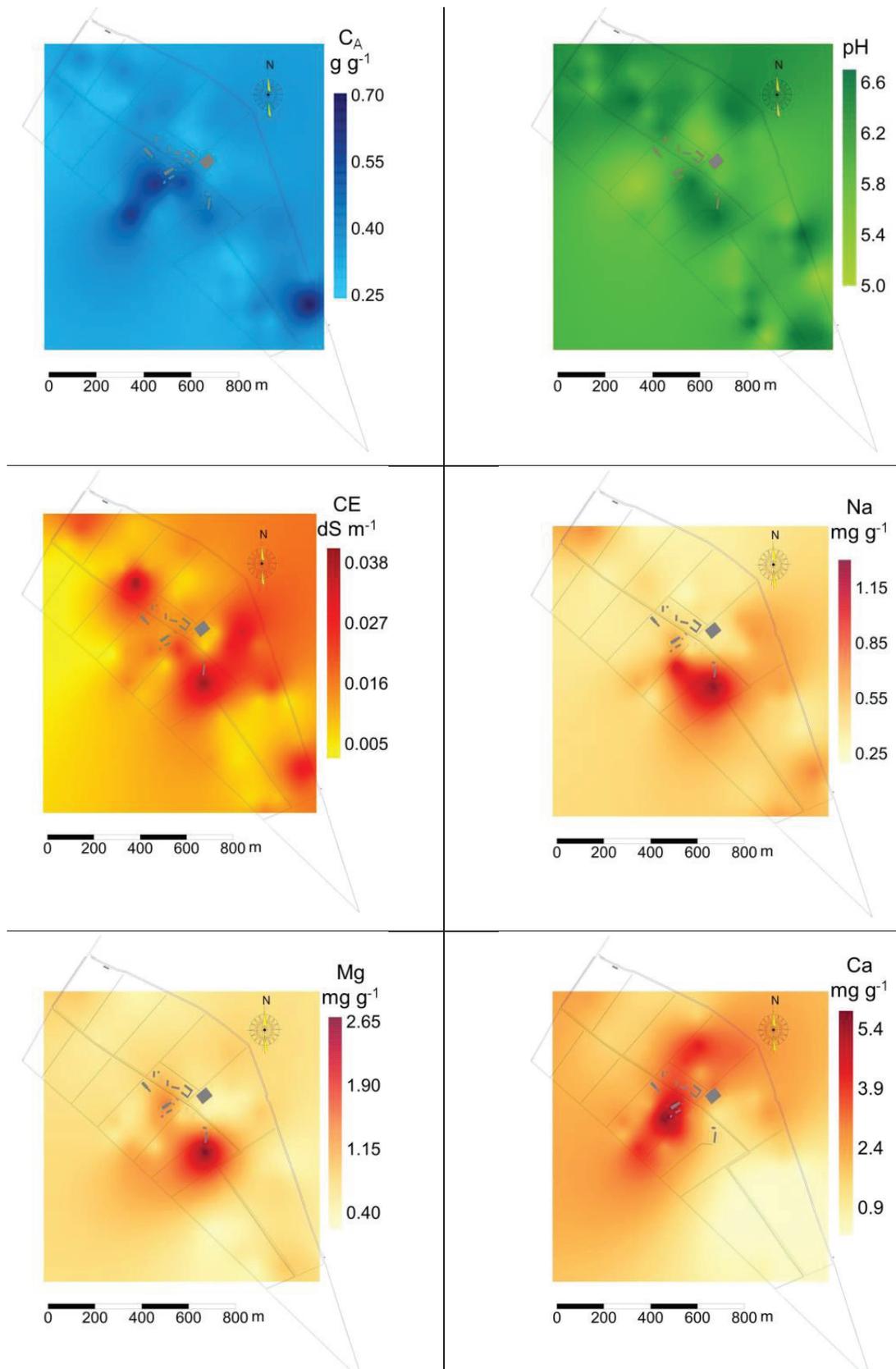


Figura 2. Mapas de distribución del contenido de agua (A), pH (B), conductividad eléctrica (C), Na (D), Mg (E) y Ca (F) (sobrepuesto al mapa de la localización de la zona de estudio).

cal dolomita en el manejo de pasturas y en la producción agrícola, al ser estos cationes los predominantes del suelo, aun cuando la dependencia espacial del magnesio se hace moderada.

La obtención de coeficientes de validación cruzada cercanos a uno para el sodio y la conductividad eléctrica, se valida la confiabilidad de los datos usados para la construcción del modelo, que correlaciona estos dos atributos, además de que presentan una fuerte dependencia espacial, de acuerdo a la clasificación dada por Cambardella *et al.* (1994).

Observando los mapas, se encuentra que la correlación de la conductividad eléctrica y la concentración de sodio también se evidencian espacialmente (Figura 2), proporcionando mayor validez del modelo de correlación registrado, lo que permite, de manera fácil, rápida y económica, tomar decisiones inmediatas, para las labores de manejo y de fertilización.

En general, se observa también relación espacial de la conductividad eléctrica junto con los cationes analizados, donde zonas con altos valores de CE, corresponden con zonas de altos contenidos de Ca, Mg y Na.

Esta metodología permitió analizar la CE, su relación con otras propiedades del suelo, donde los contenidos de Na presentan una relación directa y significativa con esta propiedad, relación que es verificada en la obtención del modelo exponencial, así como en la correlación lineal y en la correspondencia visual entre los mapas de estas propiedades del suelo. De igual manera, es conveniente considerar la variabilidad espacial de estas propiedades para el manejo localizado, que en el futuro se realice en el manejo de pasturas y de cultivos.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABBASI, F.; JAVAUX, M.; VANCLOOSTER, M.; FEYEN, J.; WYSEURE, G.; NZIGUHEBA, G. 2006. Experimental study of water flow and sulphate transport at monolith scale. *Agric. Water Manag.* 79(1):93-112.
2. ALLAIRE, S.E.; LANGE, S.F.; LAFOND, J.A.; PELLETIER, B.; CAMBOURIS, A.N.; DUTILLEUL, P. 2012. Multiscale spatial variability of CO₂ emissions and correlations with physico-chemical soil properties. *Geoderma (Netherlands)*. 170:251-260.
3. CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONO-
PKA, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58(5):1501-1511.
4. CARRANZA, C.; LANCHERO, O.; MIRANDA, D.; SALAZAR, M.R.; CHAVES, B. 2008. Modelo simple de simulación de distribución de masa seca en brócoli (*Brassica sp.*) variedad Coronado y repollo (*Brassica oleracea*) híbrido Delus cultivados en la Sabana de Bogotá. *Agron. Col.* 26(1):23-31.
5. CORWIN, D.L.; LOAGUE, K.; ELLSWORTH, T.R. 1999. Introduction: Assessing non-point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies. In: Corwin, D.L.; Loague, K.; Ellsworth, T.R. eds. *Assessment of Nonpoint Source Pollution in the Vadose Zone. Geophysical Monograph Series. Vol. 108.* AGU, Washington, D.C., USA, p.1-20.
6. CRESSIE, N. 1993. *Statistics for spatial data*, John Wiley & Sons (New York). 928p.
7. CRUZ, J.S.; ASSIS JUNIOR, R.N.; MATIAS, S.S.R.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. 2011. Spatial variability of an Alfisol cultivated with sugarcane. *Cienc. Inv. Agr. (Chile)*. 38(1):155-164.
8. FRIEDMAN, S.P. 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Comp. Electron. Agric. (USA)*. 46(1-3):45-70.
9. GARZÓN-GUTIÉRREZ, C.A.; CORTÉS, C.A.; CAMACHO-TAMAYO, J.H. 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de un entisol. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia)*. 13(1):87-95.
10. GODWIN, R.; MILLER, C. 2003. Review of the technologies for mapping within-field variability. *Biosys. Eng. (United Kingdom)*. 84(4):393-407.
11. HEIL, K.; SCHMIDHALTER, U. 2012. Characterisation of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. *Comput. Geosci. (USA)*. 39:98-110.
12. JUAN, P.; MATEU, J.; JORDAN, M.M.; MATAIX-SOLERA, J.; MELÉNDEZ-PASTOR, I.; NAVARRO-PEDREÑO, J. 2011. Geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil salinity. *J. Geochem. Explor. (USA)*. 108(1):62-72.
13. LI, Y.; SHI, Z.; LI, F. 2007. Delineation of Site-Specific Management Zones Based on Temporal and Spa-

- tial Variability of Soil Electrical Conductivity. Pedosphere (China). 17(2):156-164.
14. MAGESAN, G.N.; VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R.; LEE, R. 2003. Solute Movement through an Allophanic Soil. J. Environ. Qual. (USA). 32(6):2325-2333.
 15. MALAGÓN, D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos colombianos - Énfasis en génesis y aspectos ambientales. Rev. Acad. Col. Cienc. Exact. Fis. Nat. 27(104):319-341.
 16. McBRIDE, R.A.; GORDON, A.M.; SHRIVE, S.C. 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 54(1):290-293.
 17. MEDINA, B.C.; CAMACHO-TAMAYO, J.H.; CORTES, C.A. 2012. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. Eng. Agríc. (Brasil). 32(1):91-101.
 18. MOLIN, J.P.; NUNES, C. 2008. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. Sci. Agric. (Brasil). 65(6):565-573.
 19. MORALES, L.A.; PAZ FERREIRO, J. 2009. Geostatistical analysis of pH and redox potential (Eh) variability over a rice field in successive crop stages. En: Silva, O.; Carrera, J. (eds.) Estudios en la zona no saturada del suelo. Vol IX, 9p.
 20. NAJAFIAN, A.; DAYANI, M.; MOTAGHIAN, H.R.; NADIAN, H. 2012. Geostatistical Assessment of the Spatial Distribution of Some Chemical Properties in Calcareous Soils. J. I. A. (China). 11(10):1729-1737.
 21. PARR, J.F.; HORNICK, S.B.; PAPENDICK, R.I. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. Amer. J. Altern. Agric. 7(1-2):5-11.
 22. RUEDA SAA, G.; RODRÍGUEZ VICTORIA, J.A.; MADRIANAN MOLINA, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia. Acta Agron. 60(3):203-217.
 23. SÁNCHEZ T., J.D.; LIGARRETO, G.A.; LEIVA, F.R. 2011. Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yields: a case study in maize (*Zea mays* L.) on the Bogota Plateau. Agron. Col. 29(2):456-466.
 24. VALBUENA, C.A.; MARTÍNEZ, L.J.; GIRALDO, R. 2008. Variabilidad espacial del suelo y su relación con el rendimiento de mango (*Mangifera indica* L.). Rev. Bras. Frutic. (Brasil). 30(4):1146-1151.
 25. VOGELER, I.; CLOTHIER, B.E. 1996. Characterizing water and solute movement by TDR and disk permeametry. Soil. Sci. Soc. Am. J. 60(1):5-12.
 26. WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. Spatial variability of soil physical properties in field. In: Hillel, D. (ed). Applications of soil physics. Academic Press (New York). p.319-344.
 27. WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. 2007. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ. 332p.
 28. WEI, Y.; BAI, Y.; JIN, J.; ZHANG, F.; ZHANG, L.; LIU, X. 2009. Spatial variability of soil chemical properties in the reclaiming marine foreland to yellow sea of china. Agr. Sci. China. 8(9):1103-1111.
- Recibido: Noviembre 29 de 2012
Aceptado: Agosto 26 de 2013

Como citar:

Cortés-D., D.L.; Pérez-B., J.H.; Camacho-Tamayo, J.H. 2013. Relación espacial entre la conductividad eléctrica y algunas propiedades químicas del suelo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 401-408.

MEJORAMIENTO QUÍMICO DE SUELOS ÁCIDOS MEDIANTE EL USO COMBINADO DE MATERIALES ENCALANTES

CHEMICAL IMPROVEMENT OF ACIDIC SOILS THROUGH THE USE OF COMBINED LIMING MATERIALS

Hugo Castro¹, Óscar Munevar²

¹ I.A., M.Sc., Profesor Titular, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat-Uptc. Avenida Central del Norte, Tunja, Boyacá, Colombia, hcastrofranco@yahoo.com.mx; ² I.A., Investigador Gissat-Uptc, oscarmunev@hotmail.com

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 16(2): 409-416, Julio Diciembre, 2013

RESUMEN

Con el propósito de contribuir, mediante la técnica del encalado, al mejoramiento de la fertilidad química de suelos ácidos del Altiplano Boyacense (Colombia), se estimaron los requerimientos de cal ($t\ ha^{-1}CaCO_3$), para controlar la acidez, a partir de curvas de encalamiento, obtenidas de someter el suelo a pruebas de incubación. Según el carácter ácido del suelo, se exploraron experimentalmente dosis de $CaCO_3$, incorporadas en forma pura y mediante combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y escorias Thomas), bajo una relación porcentual 50:40:10, respectivamente. Se evaluó el efecto correctivo en dos suelos con diferentes procesos de acidificación: un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI) de origen orgánico y un suelo mineral (Horizonte Óxico). Los parámetros examinados para calificar el grado de mejoramiento químico del suelo fueron pH, Al^{3+} , S y P. Los resultados muestran que los requerimientos de encalado están relacionados directamente con los procesos químicos, que caracterizan la acidez de cada suelo. El mejor efecto correctivo de la acidez, se presentó con $16t\ ha^{-1}CaCO_3$, en SSAI y $4t\ ha^{-1}CaCO_3$, para el suelo de características óxicas, dosis con las cuales fue posible, en los suelos estudiados, neutralizar el aluminio y llevar el pH a valores cercanos a 5,5. Para similares efectos en el control de acidez, disminuyeron las necesidades de encalamiento, cuando las dosis de $CaCO_3$ exploradas fueron suministradas mediante la combinación de materiales encalantes comerciales; de esta manera, se comprobó la acción más efectiva de las enmiendas complejas en el mejoramiento de suelos ácidos desaturados, limitados en su fertilidad.

Palabras clave: mejoramiento suelos, incubación, encalado, acidez, equivalente químico.

SUMMARY

With the aim of contributing to the improvement of the chemical fertility of the acid soils on the Altiplano Boyacense (Colombia) through liming techniques, the lime ($t\ ha^{-1}CaCO_3$) requirements for controlling acidity were estimated, using liming curves obtained by submitting the soils to incubation tests. According to the acidic character of the soils, $CaCO_3$ doses were explored in the present study, incorporated in a pure form and combined with commercial liming materials (quicklime, dolomite and Thomas slag) at a ratio of 50:40:10, respectively. The corrective effect was evaluated in two soils with different acidification processes: an unproductive acid sulfate soil (UASS) of an organic origin and a mineral soil (Oxic Horizon). The following parameters were examined to describe the degree of chemical soil improvement: pH, Al^{3+} , S and P. The results demonstrate that liming requirements are directly related to the chemical processes that characterize the acidity of each soil. The two greater corrective effects on acidity were seen with $16t\ ha^{-1}CaCO_3$ in the UASS and $4t\ ha^{-1}CaCO_3$ in the soil with oxic characteristics, doses that were able to neutralize the aluminum in the studied soils and bring the pH to values close to 5.5. While achieving similar effects in the acidity control, the liming requirements were decreased when the studied $CaCO_3$ doses were applied combined with commercial liming materials; thereby demonstrating the most effective action of the complex supplements in the improvement of the unsaturated acid soils, which have limited fertility.

Key words: Soil improvement, incubation, liming, acidity, chemical equivalent.

INTRODUCCIÓN

Una de las limitaciones más comunes en los suelos colombianos está relacionada con los fenómenos ocurridos por la acidez, lo cual, es consecuencia de la toxicidad generada, principalmente, por el aluminio de cambio y en otros casos, como en los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), por la demanda de ácido sulfúrico y hierro. Las interacciones químicas derivadas de la acidez repercuten sobre la fertilidad del suelo, por alterar su equilibrio iónico e inhibir en diferente grado la absorción de importantes nutrientes, como calcio, magnesio y fósforo (Gómez *et al.* 2005).

En zonas agrícolas del Altiplano Boyacense (Colombia), la ocurrencia de diferentes tipos de suelos ácidos obedece a los estados y los procesos de degradación química, involucrados con la génesis de cada suelo (IGAC, 2005). Para los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), estos procesos son producto de la oxidación primaria de sulfuros de hierro (FeS_2) y de la generación de ácido sulfúrico, con la consecuente destrucción de minerales primarios e hidrólisis secundaria del aluminio (Dent, 1986). Este cuadro, se evidencia en campo, por la ocurrencia de horizontes sulfúricos y la acumulación de sales sulfatadas metálicas, que originan áreas escaldadas improductivas, como las caracterizadas por Gissat (2006), en el valle de Tundama, Distrito de Riego del Alto Chicamocha. De otra parte, también es frecuente encontrar, superficialmente, horizontes minerales de características óxicas en zonas degradadas del Altiplano, evidenciando suelos altamente meteorizados, con excesos de aluminio y de óxidos de hierro, bajos en materia orgánica, lo que refleja un pobre nivel de fertilidad, comparado con otros suelos de la región (Castro & Gómez, 2010).

Las prácticas de manejo que conllevan al mejoramiento químico de suelos afectados en diferente grado por problemas de acidez deben contemplar el uso de materiales de encalado (Zapata & Restrepo, 2011; Osorno & Osorno, 2011; Oliveira, 2003; Bernal, 2008). Estos materiales que se utilizan como correctivos de acidez son productos comerciales tipificados como fuentes minerales de origen natural o industrial, que portan en su composición carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio o magnesio (Valerio & Molina, 2012). Todos los materiales de encalado difieren en su capacidad de neutralizar la acidez del suelo. Para conocer esta característica, se utiliza el criterio de Efectividad Química, Equivalente Químico (EQ) o Poder de Neutralización, que se define como la capacidad de neutralizar la acidez, que tiene un material con relación al carbonato de calcio (CaCO_3) puro, al cual, se le asigna un valor de 100% (PPIC, 1999; Spera *et al.* 2008).

La elaboración de curvas de encalamiento, enfrentando los parámetros químicos que intervienen en el manejo de la acidez (pH, Al^{3+}), permiten definir dosis óptimas de neutraliza-

ción, que muestran las necesidades de cal expresadas en términos de equivalencia química en CaCO_3 (Castro, 2008; Combatt *et al.* 2009). Este método deducible de pruebas de incubación en laboratorio viene siendo validado y extrapolado a campo, por parte del Gissat, como un enfoque de mayor contenido científico aplicable al manejo de suelos ácidos.

Los requerimientos para la neutralización parcial o total de la acidez pueden ser definidos con un criterio más técnico y preciso, mediante curvas de encalamiento, obtenidas a partir de pruebas de incubación (Alfaro & Bernier, 2008; Epstein & Bloom, 2005). Esta prueba en laboratorio consiste en la adición de dosis crecientes de CaCO_3 expresadas como equivalente químico (EQ), a cantidades constantes de suelo, en donde, como primera medida a la aproximación de las necesidades de encalamiento, se debe tener en cuenta la capacidad buffer del suelo, que puede variar de acuerdo con el material parental, contenido y tipo de arcilla, contenido de materia orgánica y presencia de óxidos e hidróxidos de hierro y de aluminio (Espinosa, 2003).

De acuerdo con las anteriores consideraciones, la presente investigación pretende aportar la experiencia investigativa del Grupo de Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat-Uptc, en el tema de control de acidez y mejoramiento de la fertilidad química de suelos ácidos, mediante el uso combinado de materiales encalantes o enmiendas complejas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de evaluar la neutralización de acidez por efecto del encalamiento, se seleccionaron muestras de suelos, a nivel de capa arable (0 – 25cm), de un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI) de origen orgánico, ubicado en el Distrito de Riego del Alto Chicamocha, clasificado taxonómicamente como *Tipyc sulfohemist* y el horizonte óxico de un suelo mineral altamente evolucionado, ubicado en la superficie de un área erosional periurbana, de la ciudad de Tunja. Mediante un diseño completamente aleatorio, aplicado al tipo de acidez de cada suelo, se definieron tratamientos de incubación expresados como dosis de CaCO_3 . Utilizando 4 réplicas por tratamiento, se evaluó, a nivel de invernadero, el efecto de dosis de CaCO_3 puro (EQ = 100) y de dosis de CaCO_3 , producto de la combinación de materiales encalantes comerciales, incluyendo cal viva (75% CaO ; EQ=134), dolomita (55% CaCO_3 + 33% MgCO_3 ; EQ=94) y escorias Thomas (abono paz del río de composición 48% CaO + 1,2% MgO + 10% P_2O_5 ; EQ=89), utilizados en una relación porcentual 50:40:10, respectivamente.

Las dosis exploradas para el horizonte óxico fueron 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 y 4,0t ha^{-1} de CaCO_3 puro (EQ=100); la combinación de materiales encalantes contempló dosis de 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 y 4,0t ha^{-1} CaCO_3 en relación porcentual 50:40:10.

Adicionalmente, se incluyó un tratamiento satélite de $2t\ ha^{-1}$ $CaCO_3$ relación 50:40:10 + $1t\ ha^{-1}$ de gallinaza, cuyo uso estuvo asociado a la mezcla con escorias Thomas.

Para los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), dado su complejo cuadro de acidez ($Al^{3+} + S + Fe$) y experiencias validadas con anterioridad por el Gissat (2006), se seleccionaron dosis más amplias 0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0 y $30,0t\ ha^{-1}$ $CaCO_3$ puro (EQ=100); la combinación de materiales encalantes contempló, para este caso, dosis de 0,0; 2,0; 4,0; 8,0 y $16,0t\ ha^{-1}$ $CaCO_3$. Adicionalmente, se incluyó un tratamiento satélite de $4t\ ha^{-1}$ $CaCO_3$ relación 50:40:10+ $1t\ ha^{-1}$ de gallinaza, cuyo uso estuvo asociado a la mezcla con escorias Thomas.

Siguiendo la metodología propuesta por Dantas *et al.* (2006) y Gómez *et al.* (2007), cada unidad experimental representada por 200g de suelo, se sometió a pruebas de incubación en invernadero, una vez adicionada las dosis de cal expresadas en EQ $CaCO_3$. El proceso de incubación, se llevó a cabo a temperaturas de $25^{\circ}C$, manteniendo el suelo a capacidad de campo durante 45 días, en recipientes plásticos, herméticamente sellados. Para monitorear los cambios químicos inducidos al suelo por efecto del encalamiento, se realizaron evaluaciones a los parámetros de pH, aluminio (Al^{3+}), azufre (S) y fósforo disponible, con el fin de comparar esta información con las condiciones originales del suelo. Teniendo como referente las curvas de encalamiento obtenidas a partir de pruebas de incubación, se extrapolaron a campo los resultados obtenidos para SSAI, donde mediante la técnica de microparcels ($1m^2$ por tratamiento), sugerida por Martini (1996) y utilizando como cultivo indicador *Avena sativa*, se evaluó la interacción de las variables de pH y aluminio (Al^{3+}) en el suelo y la producción de biomasa fresca en plantas.

Con el fin de predecir la respuesta de las variables analíticas (pH, Al^{3+} , S, P) a la aplicación de dosis de $CaCO_3$, suminis-

tradas al suelo en forma pura o como enmienda complejas, se realizó un análisis de regresión para modelar la relación entre estas variables. La agrupación estadística de esta información, se efectuó utilizando el programa SPSS v.17,0.

Los análisis químicos de los suelos estudiados y el monitoreo de los parámetros de tipo experimental (pH, Al^{3+} , S, P), se realizaron, durante el 2011, en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC, siguiendo los métodos y procedimientos estandarizados y recomendados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones iniciales de los suelos estudiados (Tabla 1), reportaron en su diagnóstico que el pH y el aluminio de cambio (Al^{3+}), son los indicadores de acidez más importantes.

Los suelos minerales de características óxicas presentan reacción muy fuertemente ácida (pH 4,5) y concentraciones de Al^{3+} de $6cmol_c\ kg^{-1}$. Los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), se caracterizan por presentar reacción ultra ácida (pH 3,3) y concentraciones de Al^{3+} de $8,5cmol_c\ kg^{-1}$, su estado de sulfatación está relacionado con los altos contenidos de azufre extractable ($275mg\ kg^{-1}$), que al oxidarse a formas de sulfatos, conforman sales metálicas que impiden, junto a la acidez, el crecimiento vegetal. Por las características mencionadas, los suelos estudiados se pueden agrupar dentro de la connotación de suelos álicos (suelos de reacción extremada a fuertemente ácida con presencia de altas concentraciones de aluminio intercambiable) (Castro & Gómez, 2010).

Las curvas de neutralización de acidez elaboradas para mostrar la interacción pH - Al^{3+} con respecto a la aplicación de dosis crecientes de $CaCO_3$ expresado en forma pura, demos-

Tabla 1. Condiciones químicas originales de los suelos estudiados.

SUELO	pH	MO %	Cmol _c kg ⁻¹						mg kg ⁻¹						Al %	CE dS m ⁻¹	
			Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn			B
Horizonte Óxico	4,5	0,22	6,0	1,8	0,9	0,3	0,06	9,06	3,4	17	139	0,9	0,01	0,9	0,04	66	0,08
Suelo Sulfatado Ácido Improductivo (SSAI)	3,3	30,7	8,5	0,7	0,09	0,21	0,01	9,51	12	275	249	9,2	0,01	3,4	0,63	89	3,4

Métodos analíticos: pH (relación 1:1); Al^{3+} (KCl 1N); Materia Orgánica (Walkey-Black); fósforo disponible (Bray II-colorimetría); Ca-Mg-K-Na (extracto $AcNH_4$ -absorción atómica); Fe-Mn-Cu-Zn (formas extractables con DTPA-absorción atómica); Boro (agua caliente); azufre disponible (fosfato monocálcico-colorimetría); Conductividad eléctrica (extracto de saturación-conductivímetro).

traron que para obtener pH cercanos a 5,5 y disminuir la concentración del aluminio de cambio hasta niveles no tóxicos, se requieren aplicaciones de CaCO₃ puro del orden de

4t ha⁻¹, para el horizonte óxico y 15t ha⁻¹, para el caso de los SSAI (Figura 1).

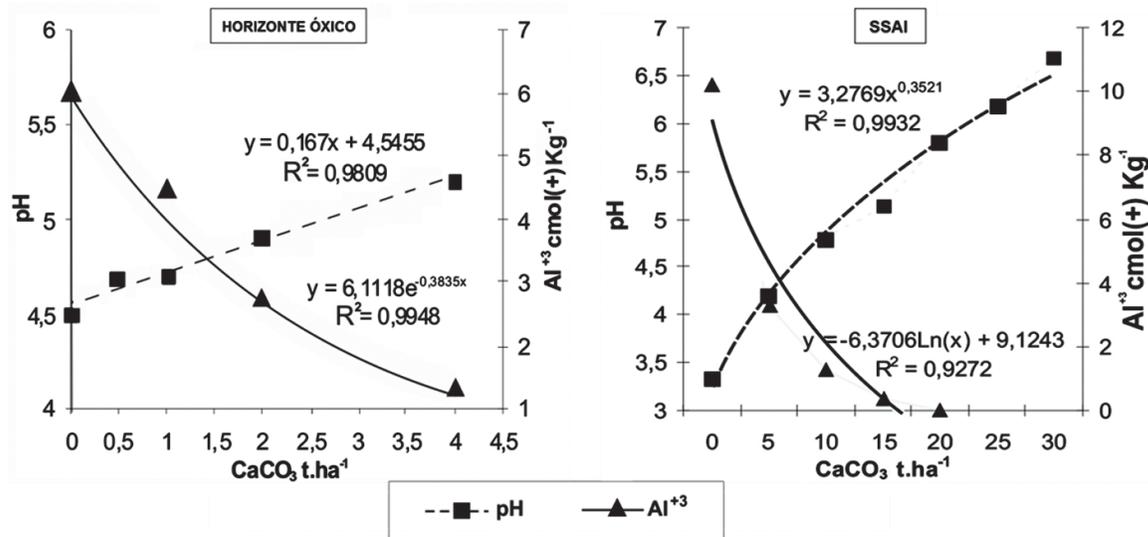


Figura 1. Interacción del pH y el Al³⁺ como producto de la incubación de suelos con dosis crecientes de CaCO₃ puro.

Si se comparan los suelos incubados con CaCO₃ puro (Figura 1) con los incubados, mediante la combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y escorias Thomas), en la relación porcentual 50:40:10 (Figura 2), se puede observar que las cantidades de CaCO₃, necesarias para neutralizar el aluminio de cambio en el horizonte óxico, son mucho más bajas cuando se suministra de forma combinada los materiales de encalado. En este caso, con la aplicación de 1t ha⁻¹ de CaCO₃, se logró neutralizar la concentración de Al³⁺ de cambio y obtener valores de pH de 5,5, situación a, la cual, solamente se llegaría con 4t ha⁻¹ de

CaCO₃ puro. Con el uso combinado de materiales de encalado también es posible que con dosis de 2t ha⁻¹ de CaCO₃, se obtenga pH agrícolas de 6,2; sin embargo, se debe resaltar que el objetivo principal del encalado no es elevar el pH sino conseguir la mayor disminución de la concentración del aluminio tóxico, para lograr niveles tolerables por las plantas (Valerio & Molina, 2012). Aunque el pH es un excelente indicador de acidez, este no determina el requerimiento o cantidad de enmienda, ya que únicamente determina la acidez activa sin considerar la acidez potencial, en los coloides minerales y orgánicos del suelo (Espínosa & Gómez, 2005).

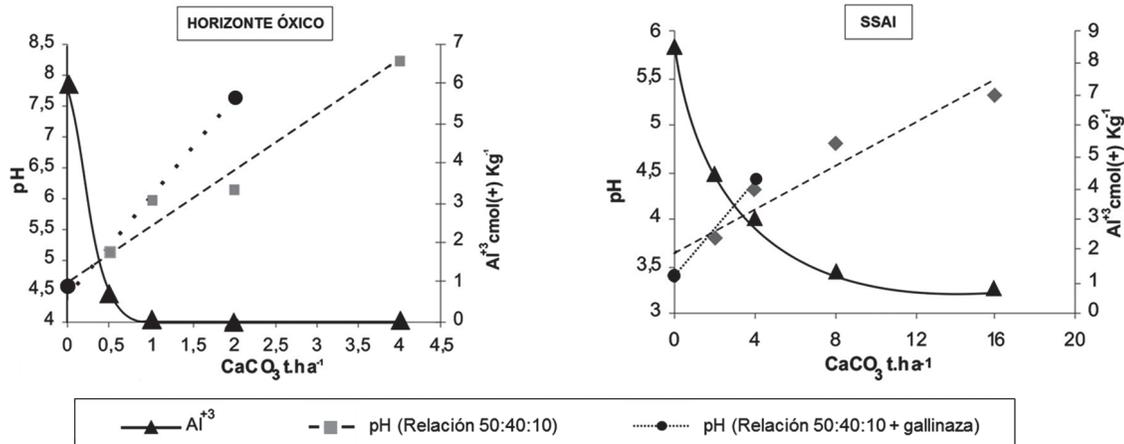


Figura 2. Interacción del pH y el Al³⁺ como producto de la incubación de suelos con dosis crecientes de CaCO₃, incorporadas mediante la combinación de materiales encalantes (cal viva, dolomita y escorias Thomas), bajo una relación porcentual 50:40:10.

Un factor muy importante a tener en cuenta en el control de acidez es el relacionado con el uso de compuestos orgánicos, principalmente estiércoles deshidratados y pulverizados, para ser mezclados con los fosfosilicatos de calcio (tipo escorias Thomas, roca fosfórica), que forman parte de la enmienda compleja. Sobre el particular, se comprobó para el horizonte óxico (Figura 2), que cuando a $1t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$ de la relación 50:40:10 de materiales de encalado, se agrega $1t\ ha^{-1}$ de gallinaza, es posible incrementar el pH de 5,5 hasta 6,0 manteniendo precipitado el aluminio de cambio. De este resultado, se deduce la importancia que representa, agrónomicamente, el uso del componente orgánico dentro de los programas integrales de control de acidez multipropósito (PICAM), tratados por Castro & Gómez (2010).

La interacción del pH y el Al^{3+} en la incubación de suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI) con materiales de encalado suministrados de forma combinada, demostró que para llevar el pH de su estado original (pH 3,3) a valores en el rango de 5,0 – 5,3, se requiere del orden de $16t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$ (Figura 2). Cuando se obtienen estos pH, las concentraciones de Al^{3+} intercambiable pasan de 8,5 a $0,83cmol_c\ kg^{-1}$, lo que representaría en la práctica la restauración agrícola del suelo, desde el punto de vista químico (Gissat, 2006). Se debe resaltar que a dosis de $4t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$, se consiguen cambios químicos importantes, pero no suficientes para contrarrestar la extrema acidez, generada por efecto del aluminio y el azufre, en estos suelos. El rango de 8 a $12t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$, se convierte en la mejor alternativa para el control de la acidez en los SSAI estudiados. Similar a lo ocurrido en el horizonte óxico, la adición de $1t\ ha^{-1}$ de gallinaza a la

relación 50:40:10 de materiales de encalado, permitió que con la aplicación de $4t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$ se registrara, comparativamente, mayores incrementos de pH en SSAI (Figura 2).

Al analizar la interacción azufre (S) – pH en suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), se demuestra que con dosis entre 10 y $15t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$ es posible mitigar las altas concentraciones de azufre extractable ($275mg\ kg^{-1}$), hasta niveles tolerables para la planta ($75mg\ kg^{-1}$), situación que ocurre cuando, por efecto del encalamiento, el suelo cambia su reacción de extremada a ligeramente ácida (Figura 3). Igualmente, queda claro la necesidad de ampliar el estudio sobre la dinámica del azufre en el proceso de neutralización vía encalamiento, teniendo en cuenta que, a partir de $15t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$, la curva del azufre presenta una tendencia polinomial de cuarto orden, que refleja nuevos incrementos de este elemento, lo que explicaría una eventual restitución de la acidez, causada por el azufre en estos suelos, asunto que se encuentra referenciado por investigadores, como Hicks *et al.* (2009) y Dear *et al.* (2004).

La tendencia a disminuir las concentraciones de azufre por efecto del encalamiento en suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), valora aún más el significado de esta práctica, al responder, de manera integral, al control de la acidez, dicho de otra manera, se comprueba que, a través del encalamiento, además de incrementar el pH y neutralizar el aluminio intercambiable, es posible mitigar el efecto tóxico de concentraciones altas de azufre. Según Dent & Dawson (2000), el efecto tóxico del azufre en SSAI, se mitiga como consecuencia de la neutralización de las formas solubles de

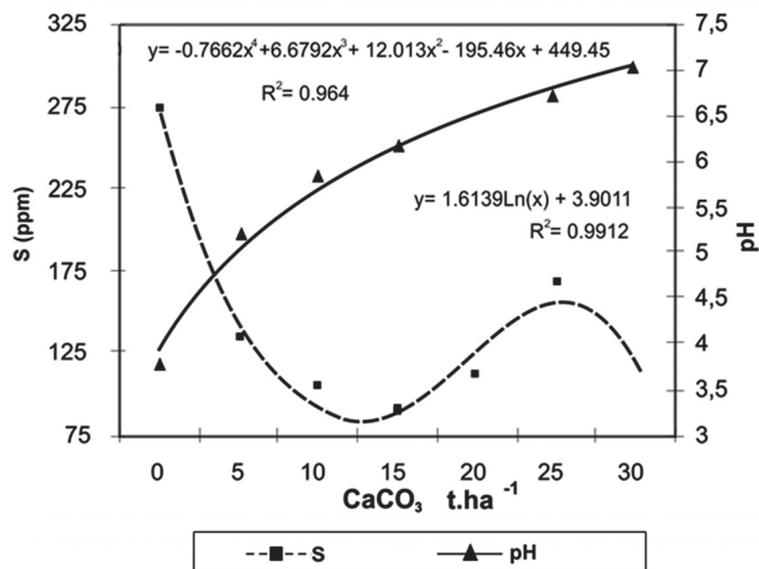


Figura 3. Interacción del pH y el azufre como producto de la incubación de suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI) con dosis crecientes de $CaCO_3$ puro.

azufre (SO_4^{2-}) por parte del calcio, procedente de la disolución de carbonatos suministrados vía encalamiento.

En cuanto a la acción del encalamiento sobre la dinámica del fósforo (Figura 4), se comprobó que en los suelos de carácter óxico los contenidos de fósforo aumentaron respecto a su estado inicial ($3,4mg\ kg^{-1}$), a medida que se incrementó el pH, con el uso de materiales encalantes combinados. Merece atención que en los tratamientos donde no se aplicó fosfosilicatos de calcio (escorias Thomas), es decir, donde se empleó solamente $CaCO_3$ puro, el fósforo se mantuvo cons-

tante. Se registra una mayor respuesta cuando se asociaron los materiales orgánicos (gallinaza) con materiales encalantes portadores de fósforo; en este caso, se incrementó en el horizonte óxico el contenido, hasta $21mg\ kg^{-1}$ de fósforo, a dosis de $2t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$. En los SSAI, se pasa de concentraciones iniciales de $12mg\ kg^{-1}$ a $23mg\ kg^{-1}$ de fósforo, con dosis de $4t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$, suministradas por la relación 50:40:10 + gallinaza. Estos niveles de fósforo ($23mg\ kg^{-1}$), se lograron igualmente cuando se empleó $6t\ ha^{-1}$ de la relación 50:40:10 y con la aplicación de $16t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$ puro.

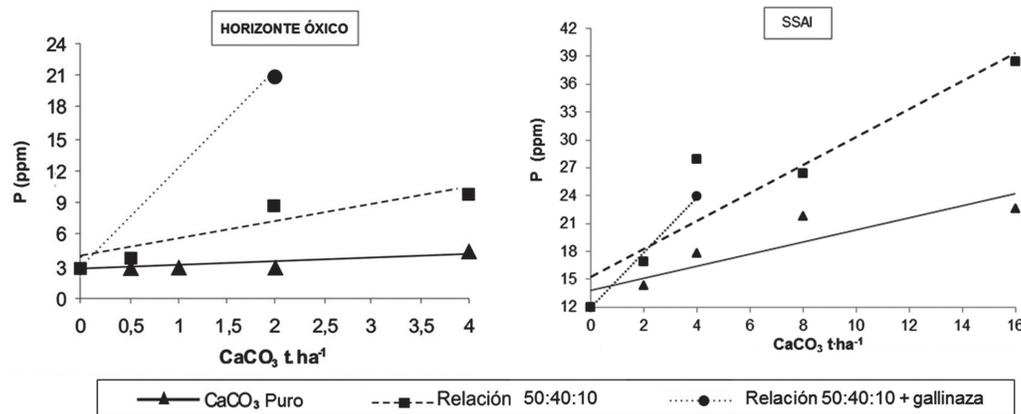


Figura 4. Dinámica del fósforo como producto de la incubación de suelos con dosis crecientes de $CaCO_3$, incorporadas en forma pura y mediante la combinación de materiales de encalado.

Con base en los resultados de pruebas de encalamiento encontrados, a nivel de invernadero, se realizó en campo sobre SSAI un montaje de microparcels ($1m^2$ por tratamiento), donde se exploraron dosis de $CaCO_3$, definidas a partir de la aplicación combinada de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y roca fosfórica), en las relaciones porcentuales 50:40:10 (relación 1), 60:30:10 (relación 2) y 70:20:10+ $1t\ ha^{-1}$ de gallinaza (relación 3), utilizando como

cultivo indicador de la recuperación *Avena sativa*. La Figura 5 representa la dosis óptima de neutralización del aluminio, encontrándose que entre 12 y $15t\ ha^{-1}$ en equivalente químico de $CaCO_3$, se obtienen pH cercanos a $5,5$ y concentraciones de Al^{3+} menores a $0,5cmol_c\ kg^{-1}$, lo que indica un efecto correctivo a las condiciones de extrema acidez que, originalmente, caracterizaban a los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI) del Distrito de Riego del Alto Chicamo-

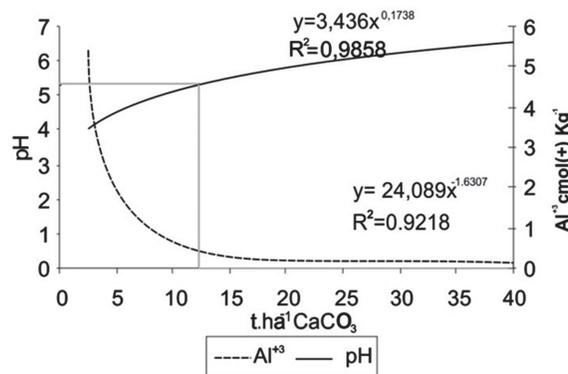


Figura 5. Dosis óptimas de insolubilización de Al^{3+} utilizando *Avena sativa*, como cultivo indicador de recuperación en un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI). Evaluación de campo por técnica de microparcels.

cha (Boyacá). Este resultado correlaciona con lo obtenido para este tipo de suelo en las pruebas de incubación.

La producción de biomasa fresca de *Avena sativa* aumentó a medida que se incrementaron las dosis de CaCO_3 equivalente. La relación 3 (70:20:10 + 1t ha^{-1} de gallinaza) superó las demás relaciones, por presentar mayor poder de neutralización total, derivado de una mayor participación del calcio en los materiales de encalado, que componen la enmienda compleja (Munevar & Pérez, 2006). Con los resultados de producción de biomasa, se ratifica, en pruebas de campo, lo observado en pruebas de incubación, sobre el efecto favorable de la gallinaza cuando se mezcla con materiales encalantes portadores de fósforo, en este caso, roca fosfórica, como componente del 10% de las relaciones estudiadas.

Al reunir la totalidad de la información experimental e interpretar su utilidad práctica, se deduce la importancia y el significado que representa para la agricultura de suelos ácidos el uso del encalamiento, concebido como una técnica orientada desde la presiembra al mejoramiento químico integral de la fertilidad del suelo. En este sentido, los resultados de la presente investigación comprueban que, mediante curvas de encalamiento, es posible definir, de forma óptima, los requerimientos de cal (t ha^{-1} CaCO_3), para neutralizar parcial o totalmente la acidez, que afecta la productividad de suelos agrícolas.

La aplicación de enmiendas complejas, producto de la mezcla de materiales encalantes de diferente origen, composición y reactividad, hacen más efectivo el proceso del mejoramiento químico de suelos ácidos desaturados, limitados en su fertilidad.

Los procesos químicos que caracterizan la acidez del suelo son determinantes al momento de definir las necesidades de encalamiento. Los suelos minerales de características óxicas ofrecen mayor respuesta a la aplicación de dosis bajas de enmiendas de origen calcáreo, lo que contrasta con las altas necesidades de encalamiento de los SSAI, como consecuencia de la alta capacidad buffer promovida por su carácter orgánico y los procesos de sulfatación propios de la composición de los materiales de origen que conforman estos suelos.

Las pruebas de encalamiento, por métodos de incubación en laboratorio, apoyan decisiones de campo para implementar planes de control de acidez, que mejoran integralmente la fertilidad del suelo, desde la presiembra y antes de proceder al uso de fertilizantes.

Los resultados obtenidos constituyen referentes investigativos susceptibles de extrapolación a suelos ubicados en otras regiones agrícolas del país, con características similares a las estudiadas.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, M.; BERNIER, R. 2008. Enmiendas calcáreas y estimación de dosis de aplicación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA – Minagricultura. Chile. 50p.
2. BERNAL, J. 2008. Encalado y uso de correctivos del suelo en pastos. En: Pastos y forrajes tropicales. Ed. Rocca. Bogotá (Colombia). p.187-209.
3. CASTRO, H.; GÓMEZ, M. 2010. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. En: Ciencia del suelo. Principios Básicos. Eds. Mojica y Burbano. Ed. Guadalupe S.A. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. p.217-303.
4. CASTRO, H. 2008. Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. En: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. p.141-153.
5. COMBATT, E.; MERCADO, T.; PALENCIA, G. 2009. Alteración química de la solución del suelo sulfatado ácido, con encalamiento y lavado en columnas disturbadas. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia) 12(1):23-32.
6. DANTAS, R.; SILVA, J.; CHÁVES, L. 2006. Manejo de solos ácidos: comparação de métodos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado da Paraíba. Rev. Biol. Cienc. Terra (Brasil). 6(1):34-38.
7. DEAR, S.; MOORE, M.; DOBOS, S. 2004. Soil management guidelines. Queensland Acid Sulfate Soil Technical Manual. Department of Natural Resources, Indooroopilly, Australia. 71p.
8. DENT, D.; DAWSON, B. 2000. The acid test. An expert system for acid sulphate soils. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netherlands. 128p.
9. DENT, D. 1986. Acid sulphate soils: a baseline for research and development. International institute for land reclamation and improvement / ILRI, Publication 39. Wageningen, The Netherlands. 204p.

10. EPSTEIN, E.; BLOOM, A. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts. 380p.
11. ESPINOSA, J.; GÓMEZ, M. 2005. Conceptos utilizados para diagnosticar integralmente la fertilidad del suelo mediante el uso de indicadores. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 8(2):23-32.
12. ESPINOSA, J. 2003. Encalado de suelos tropicales. Fertilidad de Suelos Tropicales. Ed. Soc. Col. Ciencia del Suelo. Bogotá. p.75-84.
13. GRUPO INTERINSTITUCIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SUELOS SULFATADOS ÁCIDOS TROPICALES, GISSAT UPTC. 2006. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Uptc, Colciencias, Usocchicamocha. Tunja. 153p.
14. GÓMEZ, M.; CASTRO, H.; MUNÉVAR, O. 2007. Diagnóstico y control de la acidez en suelos sulfatados ácidos mediante pruebas de incubación. *Agr. Col.* 24(1):123-130.
15. GÓMEZ, M.; CASTRO, H.; PACHECO, W. 2005. Recover and management of actual acid sulphate soil in Boyacá (Colombia). *Agr. Col.* 23(1):128-135.
16. HICKS, W.; BOWMAN, G.; FITZPATRICK, R. 2009. Effect of season and landscape position on the aluminium geochemistry of tropical acid sulfate soil leachate. *Soil Res. (Australia).* 47(2):137-153.
17. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos, sexta edición. Imprenta Nacional de Colombia. Bogotá. 648p.
18. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI –IGAC-. 2005. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá. IGAC, Subdirección Agrológica - UPTC. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia. 252p.
19. MARTINI, J. 1996. La microparcela de campo como un método biológico rápido para evaluar la fertilidad del suelo. Centro de Investigación Turrialba – Costa Rica. 16(3):267-270.
20. MUNÉVAR, O.; PÉREZ, C. 2006. Exploración por la técnica de microparcels de la corrección química de los suelos sulfatados ácidos improductivos. Distrito de riego del alto Chicamocha (Boyacá). 62p.
21. OLIVEIRA, J. 2003. Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e edução de povoamentos de Teca – Nutriteca. Universidad Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil. 76p.
22. OSORNO, H.; OSORNO, L. 2011. Determinación de los requerimientos de cal. *Suelos Ecuat.* 41(1):29-35.
23. POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA –PPIC-. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Canadá. 1a edición. 41p.
24. SPERA, S.; DENARDIN, J.; VARELLA, E.; PEREIRA DOS SANTOS, H. 2008. Dispersão de argila em microgregados de solo incubado com calcário. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 32(1):2613-2620.
25. VALERIO, J.; MOLINA, E. 2012. Evaluación de una fuente de enmienda líquida en el rendimiento de arroz en un Ultisol de la zona norte de Costa Rica. *Agr. Costarric.* 36(1):86-96.
26. ZAPATA, R.; RESTREPO, F. 2011. Efectos de la adición de cal y yeso como correctores del aluminio del suelo. *Suelos Ecuat.* 41(1):36-45.

Recibido: Diciembre 7 de 2012

Aceptado: Octubre 16 de 2013

Como citar:

Castro, H.; Munevar, O. 2013. Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 409-416.

EFFECTO DE LOS EMULSIFICANTES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y TEXTURALES DEL BUÑUELO

EFFECT OF EMULSIFIERS ON PHYSICAL AND TEXTURAL CHARACTERISTICS OF BUÑUELO

Margarita M. Morales¹, Eduardo Rodríguez-Sandoval², Misael Cortes³

¹ Ing. Agroindustrial, C. Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín, Antioquia - Colombia, mmmoralesmo@unal.edu.co; ² Ing. Químico, Doctor en Ingeniería. Docente Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín, Antioquia, edrodriguez@unal.edu.co; ³ Ing. Químico, Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Docente Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín. Antioquia, mcortesro@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 417-425, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Los emulsificantes se utilizan como agentes antienviejamiento en productos de panadería, proporcionando mayor vida útil. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de dos emulsificantes, mono y diglicéridos, de los ácidos grasos esterificados, con ácido diacetil tartárico (DATEM) y estearoil lactilato de sodio (SSL), sobre las características reológicas de la masa de buñuelo y las propiedades físicas y químicas del producto, almacenado a temperatura ambiente. Se adicionó DATEM y SSL, en porcentajes de 0,5 y 1%, con respecto al queso de la formulación. Las masas presentaron un efecto significativo sobre las constantes reológicas del modelo de Peleg, k_1 y k_2 , obteniendo los menores valores para las muestras con emulsificante (DATEM o SSL), al 1%. No se observó influencia significativa de los emulsificantes sobre las propiedades químicas y texturales (punción y dureza) del buñuelo. La cohesividad y la elasticidad del producto disminuyeron significativamente, al aumentar la concentración de SSL. El contenido de humedad, la actividad de agua y la fuerza máxima de punción disminuyeron durante el tiempo de almacenamiento. Por el contrario, la dureza de la miga aumentó en el periodo de almacenamiento.

Palabras clave: Producto libre de gluten, surfactante, SSL, DATEM, reología.

SUMMARY

Emulsifiers are used as anti-staling agents in bakery products, increased shelf life. The objective of this study was to evaluate the effects of two emulsifiers, diacetyl tartaric acid ester of mono- and diglycerides (DATEM) and sodium stearoyl lactylate (SSL), on the rheological characteristics of the buñuelo dough and on the physical and chemical properties of the product stored at room temperature. DATEM and SSL were added in percentages of 0,5% and 1% base on the cheese of the formulation. The dough samples showed a significant effect on the rheological model constants of Peleg, k_1 and k_2 , and lower values were obtained for the samples with emulsifier (DATEM or SSL) at 1%. The chemical and textural (puncture and hardness) properties of buñuelo were not influenced significantly by the emulsifiers. Cohesiveness and elasticity of the product decreased significantly as the concentration of SSL increased. Moisture content, water activity and puncture maximum force decreased during the storage time. On the other hand, the crumb hardness increased during the storage period.

Key words: Gluten free product, surfactant, SSL, DATEM, rheology.

INTRODUCCIÓN

El buñuelo es un producto tradicional de panadería obtenido, básicamente, de la mezcla de queso, de almidón agrio o fermentado de yuca, de fécula de maíz, agua o leche, pu-

diendo también contener otros ingredientes, como huevos, azúcar y sal. Con ellos, se desarrolla una masa y se forman esferas, que se fríen en aceite, a una temperatura de 150 a 170°C. El producto final tiene una corteza crujiente de color café, una miga suave, esponjosa y un olor y sabor característico. Además de sus propiedades organolépticas deseables es un producto libre de gluten, que lo coloca como alimento alternativo, para personas con enfermedad celiaca (Milde *et al.* 2009). Es de alto consumo en Colombia, si se tiene en cuenta que la venta de premezclas para buñuelo está por encima de 2250t/año, en donde participan empresas, como C.I. Productos el Nevado, Industrias del Maíz, Levapan, Fleishman, entre otros (Aristizábal & Sánchez, 2007). De este producto nacional pocos estudios científicos se han realizado y su tecnología de fabricación no está estandarizada, siendo necesario el establecimiento de parámetros de calidad, para que la cadena de producción se pueda desarrollar.

El buñuelo, generalmente, se consume fresco, pero el fenómeno de envejecimiento se inicia muy rápidamente después de la fritura, presentando endurecimiento y rigidez, sobre todo si se mantienen a temperatura ambiente, durante más de 24h. Hoy en día, la producción a gran escala y el aumento de consumidores que demandan una alta calidad y larga vida útil, han creado la necesidad del uso de aditivos alimentarios funcionales, tales como emulsificantes, enzimas, hidrocoloides y gomas, para lograr esos objetivos deseados (Koocheki *et al.* 2009).

Entre los aditivos alimentarios, los emulsificantes son ampliamente utilizados en la industria de panificación, para minimizar el envejecimiento del pan, mejorar la manipulación y fuerza de la masa, aumentar la tolerancia al tiempo de reposo y fermentación, entre otros aspectos (Chin *et al.* 2007). Ellos exhiben propiedades lipolíticas e hidrolíticas, reduciendo la tensión interfacial entre fases que, normalmente, no se mezclan. Se clasifican en dos clases: los que forman complejos con el almidón, favoreciendo la suavidad de la miga y previniendo el envejecimiento, como por ejemplo, los monoglicéridos y los que actúan en interacción con la proteína, que actúan como reforzadores de masa y aumentan la capacidad del gluten, para formar una película que retiene la producción de gas, tales como SSL (estearoil lactilato de sodio) y CSL (estearoil lactilato de calcio) (Chin *et al.* 2007).

El DATEM, SSL y CSL son los más utilizados en la industria de la panificación y facilitan la interacción de los lípidos con las proteínas y el almidón. Las ventajas más reconocidas de su uso son el incremento del volumen de pan y el mejoramiento de la textura de la miga. También se les asigna la formación de complejos insolubles con la amilosa, retardando así la capacidad de envejecimiento del pan (Beltrán-Orozco *et al.* 2007).

Existen pocas publicaciones sobre el efecto de los emulsificantes en las propiedades reológicas de la masa y la calidad de productos fritos, a base de almidón agrio de yuca y no existe información sobre el efecto de estos aditivos, en las características de la masa y la calidad del buñuelo. Solamente existen estudios que muestran el uso potencial de los emulsificantes en la industria de la panificación (Stampfli & Nersten, 1995; Onyango *et al.* 2009; Sciarini *et al.* 2012; Gomes-Ruffi *et al.* 2012). Por lo tanto, el presente trabajo, se llevó a cabo con el fin de evaluar los efectos de dos emulsificantes, DATEM y SSL, sobre las características reológicas de la masa de buñuelo y las propiedades físicas y químicas del producto, almacenado a temperatura ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ingrediente mayoritario es el queso tipo costeño, el cual, se elaboró en el Laboratorio de Productos Lácteos (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín). Los demás componentes utilizados en la preparación de buñuelo fueron comprados en el mercado local, tal como azúcar, polvo de hornear, huevo y leche. La fécula de maíz y el almidón agrio de yuca fueron adquiridos en Distribuidora JJJ (Medellín, Colombia). Los emulsificantes, DATEM (Nutrimuls® Datem) y SSL (Nutrimuls SSL 1078) fueron suministrados por Nutring S.A. (Buenos Aires, Argentina).

Para caracterizar el almidón agrio de yuca, se determinó la curva de empastamiento, utilizando un viscoamilógrafo RVA serie No. 4 (Newport Scientific, Warriewood, Australia) y se expresaron los valores de viscosidad en unidades del viscoamilógrafo rápido (RVU). Se preparó una suspensión de almidón en agua destilada, con una concentración del 5% (p/p), exponiéndola a calentamiento y enfriamiento. La suspensión, se calentó hasta 90°C y se sostuvo a esa temperatura, por un período de 5 min; posteriormente, se enfrió hasta 50°C y se mantuvo a esa temperatura, por 5 min. La velocidad de calentamiento y de enfriamiento fue de 1,6°C/min. Se realizaron tres repeticiones por muestra. Cuatro parámetros característicos fueron medidos a partir de la curva de viscosidad vs. tiempo/temperatura, que se generó (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2006): 1) Temperatura de inicio de la gelatinización (T gel): es la temperatura en la que se inicia el aumento de la viscosidad en la suspensión; 2) Viscosidad máxima (V max): es la máxima viscosidad alcanzada por la suspensión después, de la cual, la viscosidad empieza a descender; 3) Inestabilidad del gel (Breakdown): es la diferencia de viscosidad entre la viscosidad máxima y la viscosidad después de 5 min, a 90°C; 4) Asentamiento (Setback): es la diferencia entre la viscosidad a 50°C y la viscosidad después de 5 min. a 90°C.

El buñuelo, se elaboró con una formulación control, que tuvo como base la cantidad de queso y se distribuyó como

sigue: queso tipo costeño, 100%; fécula de maíz, 50%; almidón fermentado de yuca, 15%; azúcar, 6%; polvo de hornear, 1%; huevo, 10% y leche, 30%. Los ingredientes queso, fécula de maíz, almidón agrio de yuca, azúcar y polvo de hornear, se mezclaron en una batidora (Profesional Series 600, KP26M1XER, KitchenAid, USA). Luego, se adicionó el huevo, medio plastificante para realizar una buena mezcla de los ingredientes; después, se añadió lentamente leche y se dejó mezclando por 5 min, hasta obtener una masa suave y homogénea. Por último, la masa se moldeó en forma de esferas de 30g y se introdujo en un freidor eléctrico (Modelo EF-101, Wellborn, China), con aceite de maíz, a una temperatura de $160^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 12 min. El producto se extrajo del aceite y se secó en papel absorbente.

Después del freído, las muestras se dejaron reposar durante 1h, a temperatura ambiente y se determinaron: peso, diámetro, volumen, contenido de grasa y color. El procedimiento para realizar las muestras con emulsificantes (DATEM y SSL) fue el mismo, mezclando estos aditivos con los ingredientes secos, luego con el queso y, por último, se le adicionó el huevo y la leche. El porcentaje adicionado para cada emulsificante fue de 0,5 y 1%, con respecto al queso de la formulación. Además, se evaluó su comportamiento en el almacenamiento, midiendo actividad de agua, contenido de humedad, dureza, fuerza de punción, elasticidad y cohesividad a 24, 48 y 72h. Siete muestras se evaluaron por día.

Las propiedades reológicas de la masa, se determinaron por medio de una prueba de tensión-relajación, utilizando un analizador de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, London, U.K.), con software Texture Expert Exceed, versión 2.64, equipado con una celda de carga de 25kg y, como accesorio, un plato de compresión (P/100), de 100 mm de diámetro. Esta prueba, se aplicó a las masas del tratamiento control y con 1% de DATEM o SSL. La muestra, se moldeó en forma cilíndrica (29,3mm altura, 49,8mm de diámetro), se colocó sobre la base de aluminio directamente bajo el plato cilíndrico y se comprimió 6mm de su altura original (nivel de deformación de 20%), con una velocidad de ensayo de 10mm/s. Una deformación constante de compresión fue aplicada a la muestra por 120s. La base y la sonda, se lubricaron con parafina líquida, para minimizar efectos de fricción (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2008). Cada prueba, se realizó con nueve réplicas y cada ensayo completo, se repitió dos veces. Los datos de las curvas de tensión-relajación, se ajustaron al modelo de Peleg, utilizando la Ecuación 1 (Peleg & Normand, 1983).

$$\frac{\sigma_0 t}{\sigma_0 - \sigma(t)} = k_1 + k_2 t \quad (1)$$

Donde $\sigma(t)$ es el esfuerzo decreciente a cualquier tiempo de la prueba (Pa), σ_0 es el esfuerzo inicial (Pa), t es el tiempo (s), k_1 (s) y k_2 son constantes y representan la velocidad de de-

caimiento inicial y el valor hipotético de la fuerza normalizada asintótica, respectivamente (Steffe, 1996).

El diámetro del buñuelo, se determinó con un calibrador digital (Absolute 500-196, Mitutoyo Inc., Sao Paulo, Brasil), con una sensibilidad de $\pm 0,001$ y la pérdida de peso en una balanza de precisión (Modelo BL-6205, Shimadzu Corp., Japón). Igualmente, se calculó el volumen utilizando el método de desplazamiento de semillas de mijo (López *et al.* 2004). El contenido de grasa, se midió por duplicado, utilizando el método de extracción soxhlet, basado en la NTC 668 (ICONTEC, 1973). La evaluación de la humedad de la miga, se realizó utilizando el método 44-19 de la AACC (2000) y la actividad de agua (a_w), se cuantificó con un higrómetro de punto de rocío, a 25°C (Aqualab serie 3TE, Decagon, Devices, Pullman, WA, USA) (Cortes *et al.* 2007). Se reportó el valor promedio de tres determinaciones.

La determinación del color, se realizó con un espectrocolorímetro de esfera (SP60, X-Rite, USA), iluminante D65 y observador de 10° , como referencia. A partir del espectro de reflexión, se obtuvieron las coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$, donde L^* es un indicador de la luminosidad, a^* indica la cromaticidad en el eje verde (-) a rojo (+), y b^* la cromaticidad en el eje azul (-) a amarillo (+) (Morales & Arribas-Lorenzo, 2008). Los valores triestímulos XYZ, que se obtienen del cálculo del valor espectral, iluminante y observador estándar, se transforman en las coordenadas de color CIE $L^*a^*b^*$ aplicando funciones cúbicas (X-Rite, 2002).

Las propiedades de textura del buñuelo, se llevaron a cabo en el analizador de textura, descrito previamente, usando la misma celda de carga. Los parámetros establecidos fueron: velocidad pre-ensayo 1mm/s, velocidad de ensayo 1mm/s y velocidad pos-ensayo 2mm/s. Para las pruebas, se dividió el buñuelo en tres partes y se utilizó la parte central para el análisis de perfil de textura (TPA) y los extremos para la prueba de punción. En cada formulación, se tomaron siete mediciones repetidas sobre muestras separadas y se reportaron los valores medios. En el TPA, se empleó una sonda cilíndrica de 12,7mm de diámetro (P/0,5R), comprimiendo 5mm de su altura inicial, con una velocidad de ensayo de 1mm/s y manteniendo 5s entre los ciclos. Los principales parámetros texturales obtenidos fueron: dureza, cohesividad y elasticidad (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2008). La prueba de punción, se utilizó como método objetivo, para medir la dureza de la corteza del buñuelo. Esta consistió en determinar la fuerza máxima de ruptura por ensayos de penetración, empleando una sonda cilíndrica de 2mm de diámetro (P/2), a una velocidad constante de 1mm/s y una distancia de penetración de 8mm (Lorenzo *et al.* 2008).

El diseño experimental empleado en este estudio fue un factorial, completamente aleatorio, utilizando tres factores: DA-

TEM, SSL y tiempo; a tres niveles para DATEM y SSL: 0%, 0,5% y 1% y cuatro niveles para el tiempo: 1, 24, 48 y 72 h. Se realizaron en total trece experimentos, con cinco repeticiones del punto central. El análisis estadístico, se realizó con Design Expert Versión 7.0.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, EE.UU.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades de empastamiento muestran la intensidad de los cambios que se producen durante la modificación del almidón. La viscosidad máxima refleja la degradación molecular, mientras que la gelatinización refleja la integridad del gránulo (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2012). El tratamiento tér-

mico seguido de una acción mecánica sobre los gránulos de almidón conduce a cambios estructurales y, consecuentemente, pérdida de la integridad del gránulo. La intensidad de esta ruptura depende del tipo de almidón, temperatura y cizalla mecánica utilizados durante la gelatinización (Dias *et al.* 2011). Por ejemplo, al mezclar goma guar con almidón nativo de yuca crea un efecto sinérgico, afectando la fase continua y aumentando la fuerza de cizalla ejercida sobre los gránulos de almidón, hinchados en la curva de empastamiento, si se compara con una suspensión compuesta solamente de almidón y agua (Chaisawang & Supphantharika, 2006). La tabla 1 muestra los resultados obtenidos de las curvas de empastamiento del almidón agrio de yuca.

Tabla 1. Resultados de las curvas de empastamiento del almidón agrio de yuca.

Propiedades de las curvas de empastamiento	
T gel (°C)	69,57 ± 0,12
V max (RVU*)	45,97 ± 1,11
V final (RVU*)	14,92 ± 0,30
Inest. gel (Breakdown) (RVU*)	33,75 ± 0,66
Asentamiento (Setback) (RVU*)	4,11 ± 0,46

*RVU: Unidad del viscoamiloógrafo rápido

La temperatura inicial de gelatinización fue de 69,57°C; este resultado es mayor que el hallado por Franco *et al.* (2010). Un rango de temperatura inicial de gelatinización de 58,8 – 62,2°C ha sido reportado por Mestres *et al.* (2000). La viscosidad máxima fue más baja que lo reportado en la literatura para almidones agrios de yuca (Mestres *et al.* 2000; Franco *et al.* 2010; Maieves *et al.* 2011); esto se puede deber a las características del almidón analizado, debido, posiblemente, a un tiempo de fermentación superior, indicando una mayor degradación del almidón (Pereira *et al.* 2004); sin embargo, las diferencias en la concentración del almidón, para realizar la solución utilizada en este método, pueden afectar las propiedades de empastamiento, lo cual, sería una explicación para la diferencia de los resultados encontrados por otros autores (Maieves *et al.* 2011).

Onitilo *et al.* (2007) encontraron, para almidones agrios de diferentes variedades de yuca, valores de viscosidad final, entre 140,33 a 167,75 RVU; Inestabilidad del gel (Breakdown), entre 201,3 a 228,96 RVU y asentamiento (Setback), entre 33,58 a 41,54 RVU, propiedades que son superiores a las encontradas para el almidón agrio de yuca, evaluado en este estudio. El asentamiento es la tendencia a la retrogradación y permite evaluar la diferencia de viscosidad del gel durante la fase de enfriamiento. La retrogradación del almidón, se produce como resultado de la recristalización de las molé-

culas de amilosa y amilopectina, a través de la formación de enlaces de hidrógeno nuevos, que resultan en la formación de geles. La gelatinización, la tendencia a la retrogradación y otras propiedades reológicas de los geles de almidón son respuestas a la naturaleza de los gránulos, contenido de amilosa y amilopectina, arreglo espacial de estos dos polisacáridos en la estructura interna y al grado de compactación (Lindeboom *et al.* 2004).

En las pruebas de tensión-relajación, las constantes de relajación están relacionadas con las características viscoelásticas de la masa del buñuelo. El coeficiente de correlación del modelo de Peleg, para todas las muestras, estuvo próximo a 1. En la mayoría de los materiales viscoelásticos, después de la aplicación de un esfuerzo constante, se observa una disminución en los valores de fuerza, necesarios para el mantenimiento de la deformación (Sozer *et al.* 2008). Las constantes del modelo de Peleg, se presentan en la tabla 2. Los valores de k_1 y k_2 , se encuentran entre 0,85 a 1,12 y 1,024 a 1,037, respectivamente. El valor de k_1 , se vio afectado significativamente por la adición de cada uno de los emulsificantes, obteniendo los menores valores en las formulaciones que contenían DATEM 1% o SSL 1%, lo que significa que la utilización de estos emulsificantes da lugar a una masa más líquida, con menos habilidad para almacenar energía.

Tabla 2. Parámetros de tensión-relajación del Modelo de Peleg para muestras de masas de buñuelo, con 1% SSL o 1% DATEM.

Muestras	k_1 (s) [*]	k_2 [*]
Control	1,12 ± 0,11 ^a	1,037 ± 0,006 ^a
DATEM 1%	0,91 ± 0,16 ^b	1,024 ± 0,006 ^b
SSL 1%	0,85 ± 0,14 ^b	1,025 ± 0,007 ^b

*Medias de al menos 9 replicados ± DE

Muestras de la misma columna con diferentes letras difieren significativamente ($p < 0.05$).

El recíproco de k_1 representa la velocidad de relajación inicial y es una medida de la facilidad con que el material se deforma. Valores más altos de k_1 representan un material más sólido y más duro que disipa menos energía, requiriendo más fuerza para ser comprimido (Rodríguez-Sandoval *et al.* 2009). La constante k_2 , se vio influenciada, significativamente, por el tipo de emulsificante. Muestras de masas adicionadas con DATEM 1% y SSL 1% presentaron valores más bajos, lo que significa que estas muestras de masa necesitan menos fuerza normalizada para lograr la misma deformación, que las de la formulación control. Estos resultados son menores a los obtenidos por Rodríguez-Sandoval *et al.* (2009), quienes reportaron valores de k_1 , entre 4,9 a 5,8 y k_2 , entre 1,6 a 2,2, para masas de yuca reconstituidas. Singh *et al.* (2006) hallaron valores de k_1 , entre 1,29 a 1,30 y k_2 , entre 1,27 a 1,33, para quesos cheddar y mozzarella.

Los resultados experimentales de las propiedades físicas (peso, diámetro, volumen, color) y el contenido de grasa de muestras de buñuelo evaluadas después de 1h de elaboración, se muestran en la tabla 3. El peso, el diámetro y el volumen no se vieron afectados significativamente por los emulsificantes. El volumen de los buñuelos fue superior a lo hallado en otra investigación, donde se reportaron volúmenes entre 9,64-15,28 cm³, para esferas de gluten fritas (Chiang *et al.* 2006). Los emulsificantes evaluados tampoco afectaron significativamente el contenido de grasa. El valor del contenido de grasa de los buñuelos, se encontró entre 16,67 a 20,43%, lo que coincide con los resultados obtenidos en la literatura, reportándose valores de grasa entre 15,22 a 24,57%, para un pasabocas frito a base de pasta de mango (Villamizar-Vargas & Giraldo, 2010).

Tabla 3. Propiedades físicas y contenido de grasa del buñuelo, evaluado después de 1h de elaboración.

Corrida	DATEM (%)	SSL (%)	Peso (g)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	Contenido Grasa (%)	L*	a*	b*
1	0	0	26,24	45,97	57,58	16,67	55,14	17,30	34,69
2	1	0	26,56	44,56	52,17	17,99	57,19	15,89	33,19
3	0	1	26,21	42,46	50,08	18,36	57,20	16,85	33,77
4	1	1	26,38	41,91	42,83	20,43	57,06	17,24	34,67
5	0	0,5	26,13	43,55	49,25	17,95	56,28	17,79	34,95
6	1	0,5	26,26	42,60	45,08	18,33	56,90	17,43	35,47
7	0,5	0	26,39	44,79	53,83	18,57	55,22	16,18	32,99
8	0,5	1	26,14	42,64	48,92	18,72	57,75	16,21	34,32
9	0,5	0,5	26,25	43,31	45,50	17,99	55,91	16,48	33,20
10	0,5	0,5	26,50	43,52	53,67	18,10	57,10	16,93	34,81
11	0,5	0,5	26,89	46,47	60,50	17,97	52,92	17,88	34,59
12	0,5	0,5	26,34	43,35	46,17	18,20	52,40	17,31	33,92
13	0,5	0,5	26,25	43,51	45,75	18,23	55,95	16,79	33,33

El color es uno de los factores importantes en la calidad de los productos fritos. Los parámetros L^* , a^* y b^* no fueron afectados significativamente por los emulsificantes. Los valores de L^* estuvieron entre 55,14 – 57,75, desplazándose al blanco; a^* entre 15,89 – 17,79, tendencia hacia el rojo y b^* entre 32,99 – 35,47, acercándose al amarillo, lo cual, da como resultado un color café, característico de este tipo de productos. Estos resultados difieren a lo reportado en la literatura para otros productos fritos, debido a la diferencia en la formulación (harinas de trigo, soya, arroz, entre otros) y condiciones de proceso (Chiang *et al.* 2006; Allais *et al.* 2006; Alpaslan & Hayta, 2010).

En cuanto a la actividad de agua y contenido de humedad de la miga de las muestras evaluadas durante el almacenamiento, se observó que la influencia del tiempo es altamente

significativa ($p < 0,05$), mientras que los emulsificantes no afectaron significativamente estas variables. El contenido de humedad y de actividad de agua de la miga, disminuyeron a lo largo del tiempo de almacenamiento, como se muestra en la figura 1. Esto está de acuerdo con los resultados obtenidos por Xu *et al.* (1992) y Sidhu *et al.* (1997), en panes. Esta disminución de la humedad parece ser causada, principalmente, por la redistribución del agua, es decir, la migración de la humedad de la miga a la corteza. Por su parte, la disminución de la actividad de agua podría ser causada por el agua libre enlazada con sustancias hidrofílicas, como el almidón (Wang *et al.* 2011).

Los resultados del ensayo de punción no fueron influenciados significativamente por los emulsificantes y variaron solamente con el tiempo de almacenamiento, mostrando una

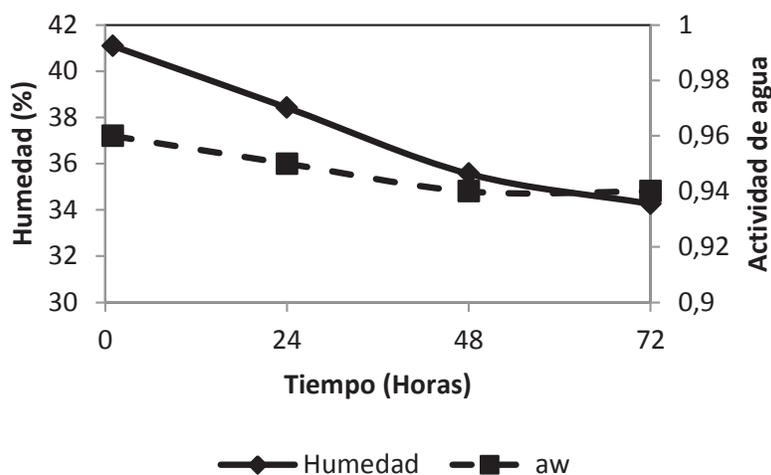


Figura 1. Variación del contenido de humedad y de actividad de agua (a_w), de los buñuelos durante el almacenamiento.

significativa disminución ($p < 0,05$) de la fuerza necesaria para romper el producto, sobre todo en las primeras 24h; luego, permanece aproximadamente constante (Figura 2) y esto se debe a la migración de la humedad de la miga hacia la corteza, haciéndola más blanda.

En cuanto a las propiedades obtenidas del análisis de perfil de textura, la dureza de la miga aumentó significativamente ($p < 0,05$) durante el almacenamiento (Figura 2). El endurecimiento de la miga es un fenómeno complejo causado por fenómenos simultáneos. Entre ellos, la retrogradación del almidón, siendo el más importante; sin embargo, la recristalización de amilosa, la pérdida y redistribución del contenido humedad, también contribuyen al incremento de la dureza de la miga del buñuelo (Bárceñas & Rosell, 2007). No se observa un efecto claro de los emulsificantes sobre la dureza del producto.

La elasticidad y la cohesividad de las muestras mostraron comportamientos similares y una dependencia significativa ($p < 0,05$) entre los dos emulsificantes, para estas variables. Con el transcurso del tiempo de almacenamiento, los buñuelos se volvieron menos cohesivos y elásticos (Figura 3) y se registró, además, una dependencia significativa ($p < 0,05$) de ambas variables, con el contenido de SSL. Al aumentar la concentración de dicho emulsificante, la cohesividad y la elasticidad disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) (Figura 3). El comportamiento de las muestras con DATEM fue muy parecido a las adicionadas con SSL, razón por la cual, solamente se muestran los resultados con este último emulsificante.

El almidón agrio de yuca utilizado posee alta temperatura de empastamiento y viscosidad máxima y baja inestabilidad del gel y asentamiento. Los valores de k_1 y k_2 reportados en un

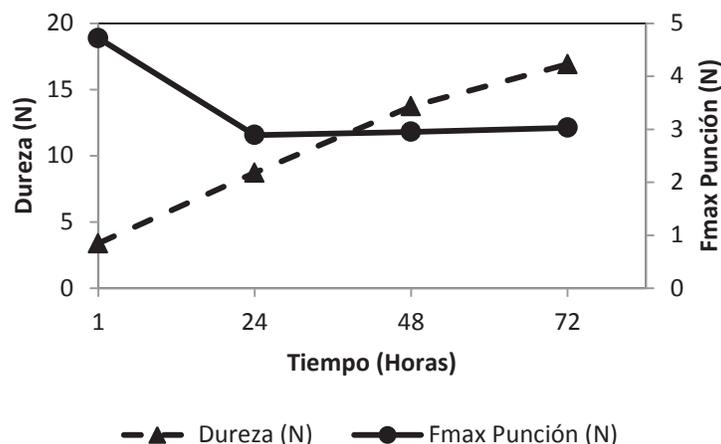


Figura 2. Variación de la fuerza máxima de punción y de dureza de los buñuelos, durante el almacenamiento.

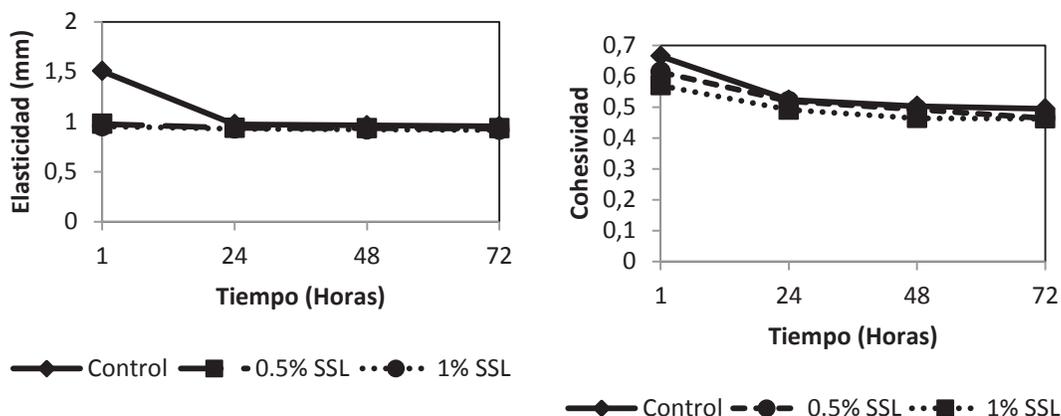


Figura 3. Efecto del emulsificante SSL sobre la elasticidad y la cohesividad de los buñuelos, durante el almacenamiento.

intervalo de 0,85 a 1,12 y 1,024 a 1,037, respectivamente, corroboran la naturaleza viscoelástica de la masa de buñuelo elaborado con DATEM o SSL. La calidad del buñuelo no fue mejorada con la adición de los emulsificantes DATEM y SSL. No se observó influencia significativa de los emulsificantes en las características físicas, fisicoquímicas y de textura, como la punción y la dureza. Únicamente se presentó una interacción significativa entre los dos emulsificantes, para las variables de cohesividad y de elasticidad. El factor tiempo afectó significativamente el contenido de humedad, actividad de agua, de punción, de dureza, de cohesividad y de elasticidad. Investigaciones futuras podrían incluir el uso individual o combinado de otros aditivos, como hidrocoloides que, posiblemente, mejorarán las propiedades de calidad del buñuelo, durante el almacenamiento. Además, se recomienda aplicar pruebas de reología dinámica, para

evaluar el efecto de los aditivos sobre las características de la masa y estudiar la estructura del producto, con técnicas de microscopía electrónica.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la empresa Nutring S.A. (Buenos Aires, Argentina), por la donación de los emulsificantes utilizados en este estudio. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de interés, que ponga en riesgo la validez de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLAIS, I.; EDOÛRA-GAENA, R.B.; DUFOUR, E. 2006. Characterisation of lady finger batters and biscuits

- by fluorescence spectroscopy-relation with density, color and texture. *J. Food Eng.* 77(4):896-909.
2. ALPASLAN, M.; HAYTA, M. 2010. Effect of soy flour, rice flour and semolina supplementation on the textural and sensory properties of dough and a deep-fried product. *J. Food Proc. Pres.* 34:490-500.
 3. AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC-. 2000. Approved Methods of Analysis, 10th ed. Method 44-19. Moisture -- Air-Oven Method, Drying at 135°. AACC International, St Paul, MN, USA.
 4. ARISTIZÁBAL, J.; SÁNCHEZ, T. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. No. 163. Roma, Italia: Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 153p.
 5. BÁRCENAS, M.E.; ROSELL, C.M. 2007. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chem.* 100:1594-1601.
 6. BELTRÁN-OROZCO, M.C.; RENDÓN-MEZA, J.H.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. 2007. Cinética de las características físicas de mantecadas bajas en grasa almacenada en dos tipos de material de empaque durante su vida de anaquel. *Inf. Tecnol.* 18(3):13-22.
 7. CHAISAWANG, M.; SUPHANTHARIKA, M. 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloid.* 20:641-649.
 8. CHIANG, S.H.; CHEN, C.S.; CHANG, C.Y. 2006. Effect of wheat flour protein compositions on the quality of deep-fried gluten balls. *Food Chem.* 97(4):666-673.
 9. CHIN, N.L.; GOH, S.K.; RAHMAN, R.A.; HASHIM, D.M. 2007. Functional effect of fully hydrogenated palm oil-based emulsifiers on baking performance of white bread. *Int. J. Food Eng.* 3(3):1-15.
 10. CORTES, M.; GARCÍA, A.; SUÁREZ, H. 2007. Fortificación de hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*) con calcio, selenio y vitamina C. *Vitae.* 14(1):16-24.
 11. DIAS, A.R.G.; ZAVAREZE, E.R.; ELIAS, M.C.; HELBIG, E.; DA SILVA, D.O.; CIACCO, C.F. 2011. Pasting, expansion and textural properties of fermented cassava starch oxidised with sodium hypochlorite. *Carbohydr. Polym.* 84(1):268-275.
 12. FRANCO, C.M.L.; OGAWA, C.; RABACHINI, T.; ROCHA, T.; CEREDA, M.P.; JANE, J. 2010. Effect of lactic acid and UV irradiation on the cassava and corn starches. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 53(2):443-454.
 13. GOMES-RUFFI, C.R.; CUNHA, R.H.; ALMEIDA, E.L.; CHANG, Y.K.; STEEL, C.J. 2012. Effect of the emulsifier sodium stearyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage. *LWT-Food Sci. Technol.* 49(1):96-101.
 14. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC-. 1973. Alimentos y Materias Primas. Determinación de los contenidos de grasa y fibra cruda. NTC 668. Bogotá D.C.: ICONTEC. 8p.
 15. KOOCHKEKI, A.; MORTAZAVI, S.A.; MAHALATI, M.N.; KARIMI, M. 2009. Effect of emulsifiers and fungal α -amylase on rheological characteristics of wheat dough and quality of flat bread. *J. Food Proc. Eng.* 32:187-205.
 16. LINDEBOOM, N.; CHANG, P.R.; TYLER, R.T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke.* 56(3-4):89-99.
 17. LÓPEZ, A.C.B.; PEREIRA, A.J.G.; JUNQUEIRA, R.G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 47(1):63-70.
 18. LORENZO, G.; ZARITZKY, N.; CALIFANO, A. 2008. Optimization of non-fermented gluten-free dough composition based on rheological behavior for industrial production of “empanadas” and pie-crusts. *J. Cereal Sci.* 48:224231.
 19. MESTRES, C.; BOUNGOÛ, O.; AKISSOE, N.; ZAKHIA, N. 2000. Comparison of the expansion ability of fermented maize flour and cassava starch during baking. *J. Sci. Food Agric.* 80:665-672.
 20. MILDE, L.B.; GONZÁLEZ, K.G.; VALLE, C.; RYBAK, A. 2009. Pan de fécula de mandioca con leche. Comportamiento físico al adicionar un emulsionante. *Rev. Cienc. Tecnol.* 11:4-8.
 21. MORALES, F.J.; ARRIBAS-LORENZO, G. 2008. The formation of potentially harmful compounds in churros, a Spanish fried-dough pastry, as influenced by deep frying conditions. *Food Chem.* 109:421-425.

22. MAIEVES, H.A.; OLIVEIRA, D.C.D.; FRESCURA, J.R.; AMANTE, E.R. 2011. Selection of cultivars for minimization of waste and of water consumption in cassava starch production. *Ind. Crop Prod.* 33(1):224-228.
23. ONITILLO, M.O.; SANNI, L.O.; OYEWOLE, O.B.; MAZIYADIXON, B. 2007. Physicochemical and functional properties of sour starches from different cassava varieties. *Int. J. Food Prop.* 10(3):607-620.
24. ONYANGO, C.; UNBEHEND, G; LINDHAUER, M. G. 2009. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinized cassava starch. *Food Res. Int.* 42(8):949-955.
25. PELEG, M.; NORMAND, M.D. 1983. Comparison of two methods for stress relaxation data presentation of solid foods. *Rheol. Acta.* 22:108-113.
26. PEREIRA, J.; CIACCO, C.F.; VILELA, E.R.; PEREIRA, R. 2004. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 24(4):494-500.
27. RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; ALONSO-ALCALÁ, L.; OSPINA-PATIÑO, B. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ing. Desarr.* 19:17-30.
28. RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ, A.; SANDOVAL, A; QUICAZÁN, M.C. 2008. Effect of cooking time and storage temperature on the textural properties of cassava dough. *J. Texture Stud.* 39:68-82.
29. RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; CÚVELIER, G. 2009. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. *LWT-Food Sci. Technol.* 42:202-206.
30. RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SANDOVAL, G.; CORTES-RODRÍGUEZ, M. 2012. Effect of quinoa and potato flours on the thermomechanical and breadmaking properties of wheat flour. *Braz. J. Chem. Eng.* 29(03):503-510.
31. SCIARINI, L.S.; RIBOTTA, P.D.; LEÓN, A.E.; PÉREZ, G.T. 2012. Incorporation of several additives into gluten free breads: Effect on dough properties and bread quality. *J. Food Eng.* 111(4):590-597.
32. SIDHU, J.S.; AL-SAQER, J.; AL-ZENKI, S. 1997. Comparison of methods for the assessment of the extent of staling in bread. *Food Chem.* 58:161-167.
33. SINGH, H.; ROCKALL, A.; MARTIN, C.R.; CHUNG, O.K.; LOOKHART, G.L. 2006. The analysis of stress relaxation data of some viscoelastic foods using a texture analyzer. *J. Texture Stud.* 37(4):383-392.
34. SOZER, N.; KAYA, A.; COSKUN DALGIC, A. 2008. The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. *J. Texture Stud.* 39:1-16.
35. STAMPFLI, L.; NERSTEN, B. 1995. Emulsifiers in bread making. *Food Chem.* 52(4):353-360.
36. STEFFE, J.F. 1996. *Rheological methods in food process engineering*, (2nd ed.). East Lansing, MI, USA: Freeman Press. 418p.
37. VILLAMIZAR-VARGAS, R.H.; GIRALDO, G.A. 2010. Obtención y caracterización de un pasabocas a partir de una pasta a base de mango mediante fritura por inmersión. *Rev. Tumbaga.* 1(5):149-164.
38. XU, A.; CHUNG, O.K.; PONTE, J.G. 1992. Bread crumb amylograph studies. I. Effects of storage time, shortening, flour lipids, and surfactants. *Cereal Chem.* 69:495-501.
39. X-RITE. 2002. *Guía para entender la comunicación del color*. Grandville, MI: X-Rite Incorporated. 26 p.
40. WANG, T.C.; LIN, SC.; SHEN, Y.P.; WANG-MCCALL, T.L.; CHIN, M.H.; LAN, K.P.; CHENG, P.Y.; YANG, C.C. 2011. Studies of retarding agent for decreasing starch retrogradation in wankao (rice curd). *J. Food Quality.* 34:268-277.

Recibido: Enero 31 de 2013

Aceptado: Octubre 15 de 2013

Como citar:

Morales, M.M.; Rodríguez-Sandoval, E.; Cortes, M. 2013. Efecto de los emulsificantes sobre las características físicas y texturales del buñuelo. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 417-425.

CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE SUERO COSTEÑO

FERMENTATION KINETICS FOR THE PRODUCTION OF SUERO COSTEÑO

Diofanor Acevedo¹, Luis Guzmán², Aida Rodríguez³

¹Ingeniero de Alimentos, Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia, e-mail: diofanor3000@gmail.com; ²Ingeniero de Alimentos, Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cartagena, Cartagena-Colombia; e-mail: lguzman1@unicartagena.edu.co; ³Ingeniera Química, Ph.D. Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle, Cali-Colombia, e-mail: aidaRodríguez@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 427-433, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

El Suero Costeño es un producto lácteo fermentado, que se obtiene por fermentación de la leche cruda. El objetivo de esta investigación fue establecer la proporción adecuada de cepas de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*, teniendo en cuenta los parámetros de pH, viabilidad y concentración de lactosa y ácido láctico. Para esto, se procedió a la preparación del cultivo iniciador, los pasos de selección, activación y ensayo de antagonismo de las cepas. Se trabajó con cepas de bacterias ácido lácticas, *L. lactis* ssp. *lactis* (ATCC29146) y *L. paracasei* ssp. *paracasei* (ATCC 334). Se realizaron ensayos de antagonismo *in vitro* y se implementaron pruebas de cinética de fermentación y viabilidad al producto final. Al aumentar la proporción de *L. lactis* en la relación *L. paracasei* a *L. lactis*, se observó un descenso rápido del pH, reducción de sinéresis, rápido punto de gelificación y aumenta la viabilidad de los microorganismos.

Palabras clave: Cultivo iniciador, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus paracasei*, cinética de la fermentación, reducción de sinéresis.

SUMMARY

Suero costeño is a fermented milk product, obtained by fermentation of raw milk. The objective of this study was to establish the proper ratio of strains of *Lactococcus lactis* and *Lactobacillus paracasei*, taking into account the parameters of pH, concentration and viability of lactic acid and lactose. For this the starter culture was prepared, taking into consideration the steps of selection, activation and antagonism assay strains. We worked with strains of lactic acid bacteria, *L. lactis* ssp. *lactis* (ATCC29146), *L. paracasei* ssp. *paracasei* (ATCC 334). Antagonism assays

were performed *in vitro*. Moreover kinetics tests and viability of fermentation to the end product were implemented. By increasing the relationship of *L. lactis* to *L. paracasei lactis*, a rapid decrease in pH, reduction of syneresis, gelation point and rapid improvement in the viability of the microorganisms was detected.

Key words: Starter culture, *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus paracasei*, fermentation kinetics, reduced syneresis.

INTRODUCCIÓN

El Suero Costeño es un producto lácteo fermentado, elaborado tradicionalmente en la Costa Caribe colombiana, especialmente, en la mayoría de los municipios de los departamentos de Bolívar, Sucre, Córdoba y Cesar. También, se elabora en algunos municipios de los departamentos de Santander y Norte de Santander, debido a la influencia que tienen de la Costa Norte (Granados *et al.* 2012; Acevedo *et al.* 2010; Simancas *et al.* 2010). El producto final es similar a la crema agria, un poco ácida y generalmente es usado como aderezo, acompañando casi todas las comidas (Granados *et al.* 2012; Acevedo *et al.* 2010). Aunque se produce industrialmente, presenta un bajo consumo, debido a la diferencia detectada por los consumidores en el sabor y a la presencia de sinéresis. Estos problemas de calidad se han tratado de resolver, mediante el aumento del tiempo de fermentación y la adición de espesantes, lo cual, incrementa los costos y hace más perecedero el producto (Granados *et al.* 2012; Acevedo *et al.* 2010).

El uso de cultivos iniciadores en la elaboración de productos lácteos se generalizó, debido a la introducción de la pasteurización (Simancas *et al.* 2010; Cueto *et al.* 2007). Éstos, se definen como preparaciones que contienen microorga-

nismos vivos, que son aplicados con el objeto de hacer uso de su metabolismo (Rashid *et al.* 2007; Chammas *et al.* 2006; Aichinger & Servais, 2003). Las bacterias ácido lácticas (BAL) aisladas son las más usadas para el desarrollo de los cultivos iniciadores (Ayala & Hernández, 2009). Dentro de estas están: *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus brevis*, *Enterococcus faecium* (Simancas *et al.* 2010; Chammas *et al.* 2006; Patrignani & Lanciotti, 2006).

La creciente demanda del yogur con textura mejorada, hace que la producción *in situ* de exopolisacáridos (EPS), por diferentes cultivos iniciadores, sea una alternativa viable, contribuyendo considerablemente a las propiedades organolépticas y de textura de éste (Prasanna *et al.* 2013).

Además, los EPS de diferentes especies de bacterias acidolácticas (LAB), se utilizan en el yogur, para evitar la sinéresis y reemplazar estabilizantes utilizados comercialmente (Prasanna *et al.* 2012). Los *Streptococcus*, *Lactobacillus* y *Lactococcus* son algunas de las géneros productores de EPS más utilizadas para producir yogur, con propiedades de textura mejoradas (Prasanna *et al.* 2013; 2012).

Hassan *et al.* (1995) descubrieron que el *Lactococcus* es un género constituido por la mayoría de los microorganismos mesófilos utilizados en la fermentación láctica y de las especies que integran este género y *L. lactis* es el más utilizado como cultivo iniciador.

En general, cuando se emplean inóculos aislados de productos artesanales para fermentar leche pasteurizada, el sabor y la textura no son significativamente diferentes al obtenido con el proceso artesanal y, adicionalmente, aumenta el rendimiento con la tecnificación del proceso (Alvarado *et al.* 2007; Patrignani & Lanciotti, 2006; Castillo & Lucey, 2005).

El defecto más común que presentan los productos lácteos gelificados y que afecta directamente su calidad organoléptica, es la sinéresis o goteo por separación del lactosuero de la cuajada. Esta se produce, debido al reajuste de la estructura interna de la matriz gelificada (Granados *et al.* 2012; Acevedo *et al.* 2010) y, en ella, se observa líquido en la superficie de los productos lácteos, causando el rechazo por el consumidor. La adición de solutos, como las proteínas del lactosuero y la leche en polvo, con el propósito de elevar los sólidos totales, han sido hasta ahora las técnicas más usadas, para reducir este inconveniente (Granados *et al.* 2012). Otro mecanismo muy usado es la homogenización (Amatayakul *et al.* 2006; Aichinger & Servais, 2003).

Con el aislamiento de los microorganismos involucrados en la fermentación de la leche para la producción de suero

costeño, se puede obtener un fermento de mayor eficiencia, libre de contaminantes, de características definidas, que permite determinar las condiciones más adecuadas de fermentación, para lograr un producto de mejor calidad higiénica, sensorial, nutricional y microbiológica, de menor tiempo de elaboración, con un mayor período de vida útil (Simancas *et al.* 2010; Cueto *et al.* 2007) y con una reducción de la sinéresis, debido a la producción de EPS, que ayudan a estabilizar la red de caseína y le proporcionan mayor resistencia al producto (Wacher-Rodarte *et al.* 1993).

El objetivo del presente trabajo fue establecer la proporción adecuada de cepas de *L. lactis* y *L. paracasei*, para la producción de suero costeño, teniendo en cuenta los parámetros de pH, viabilidad y concentración de lactosa y ácido láctico.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la preparación del cultivo láctico iniciador, se tuvieron en cuenta los pasos de selección, de activación y de ensayo de antagonismo de las cepas. Se trabajó con cepas de colección de bacterias ácido lácticas, *L. lactis* ssp. *lactis* (ATCC29146) y *L. paracasei* ssp. *paracasei*, (ATCC 334). Esta selección, se realizó a partir de los resultados obtenidos en trabajos previos de aislamiento y selección de cepas, realizados en el Suero Costeño, producido artesanalmente (Cueto *et al.* 2007; Kristo & Biliaderis, 2003).

Las cepas del cultivo puro crio-conservado se activaron, transfiriendo 1mL del cultivo a un tubo de ensayo, que contenía 9 mL del medio de cultivo MRS, especial para bacterias lácticas. El tubo de ensayo inoculado, se incubó durante 24 horas, a 30°C. Pasado el tiempo de incubación, se sembró en superficie cada una de las bacterias en cajas Petri, con Agar-MRS modificado, con azul de anilina (medio en que las colonias de bacterias lácticas presentan un característico color azul) y se incubó durante 48 horas, a 30°C. A continuación, se verificó la pureza con tinción de Gram y se observaron las características morfológicas al microscopio (Patrignani & Lanciotti, 2006). Se tomó una colonia de cada tubo de ensayo con MRS y se transfirieron a tubos que contenían 9 mL de leche. Posteriormente, se incubó cada cepa a 30°C, por 24 horas. Se estableció que todos los cultivos tuvieran una concentración de 10^8 UFC/mL (Simancas *et al.* 2010).

Ensayo de antagonismo *in vitro*: Se realizó una siembra en profundidad en caja petri por separado de *L. lactis* (ATCC29146), *L. paracasei* (ATCC 334) en medio MRS, actuando la primera como la bacteria indicadora y, luego, la segunda, se dejó incubar durante 48 horas. A continuación, se tomaron trozos de 7 mm de diámetro del cultivo láctico y de un testigo de MRS sin bacterias, utilizando un sacabocados y se depositaron sobre la siembra de la cepa indicadora,

se incubaron a 35°C, durante 24 horas, en un ambiente microaerófilo, para permitir el crecimiento de ambas cepas. Los diámetros de los halos fueron reportados, incluyendo los 7mm de diámetro de los discos, con las bacterias lácticas sembradas en profundidad (Alvarado *et al.* 2007; Ayala & Hernández, 2009).

Preparación del suero costeño: Se mezcló la leche en polvo con agua destilada y se agitó hasta disolver completamente y alcanzar 12% de sólidos totales. Después, se calentó a 80°C, por 20 minutos. Posteriormente, 300mL de leche se inocularon a 30°C, con el 10% v/v, de cada una de las combinaciones de las cepas *L. lactis* ssp. *lactis* (ATCC29146) y *L. paracasei* ssp. *paracasei* (ATCC 334), en las proporciones 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 y 80:20, respectivamente.

Los volúmenes de la adición se variaron dependiendo de la proporción, a la cual, se deseaban adicionar los microorganismos en la leche; la suma de los dos volúmenes fue del 10% v/v del volumen total de la leche. Se incubó a la temperatura de fermentación de 30°C, por 16 horas; luego de obtenido el coágulo, se realizó la ruptura y la separación del 30% del lactosuero, en relación al volumen inicial de leche, haciendo pasar por un filtro; se adicionó 1,2% de sal (NaCl), por cada litro de leche y se homogenizó, para conseguir una consistencia adecuada y se calculó el rendimiento (Saarela *et al.* 2000).

Cinética de la fermentación: Se determinaron el pH, con el uso de un potenciómetro y la lactosa, de acuerdo a Nelson (1944), aplicando un método fotométrico con reactivos de cobre y de arsenomolibdato. La densidad óptica del color

desarrollado es proporcional a la lactosa tomada y es estable durante largos períodos de tiempo. Para la vialidad, se utilizó la técnica de recuento estándar en placa en superficie, sobre MRS y se determinó ácido láctico empleando la técnica de Gil-Horán *et al.* (2008), por medio de cromatografía líquida de alta presión CLAR (HPLC, en inglés).

Determinación de sinéresis: Después de dos días de almacenamiento, refrigerado a 5°C, se agitaron los sueros costeños por 2 minutos, a 400rpm, con un agitador magnético y, posteriormente, fueron centrifugados a 5000xg, a 20°C. La sinéresis, se calculó como la cantidad de líquido que se separa del suero costeño, debido a la centrifugación con relación a la masa total que fue centrifugada.

El análisis estadístico de los datos y la obtención del diseño central compuesto rotatable, se realizó con el programa MINITAB 14, mediante pruebas de varianza (ANOVA), manteniendo un intervalo de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antagonismo *in vitro*: La bacteria *L. lactis* mostró tener una débil inhibición sobre la *L. paracasei*, ya que los halos fueron menores de 0,3cm, mientras que la *L. paracasei* no presentó ninguna inhibición sobre la *L. lactis*.

Cinética de la fermentación: Como se observa en la figura 1, todas las combinaciones de cepas alcanzaron el pH de 4,6, punto isoeléctrico de las caseínas, entre las 8 y 12 horas; las combinaciones de cepas 30:70 y 40:60 *L. paracasei* : *L. lactis* alcanzaron el punto isoeléctrico más rápido (8 ho-

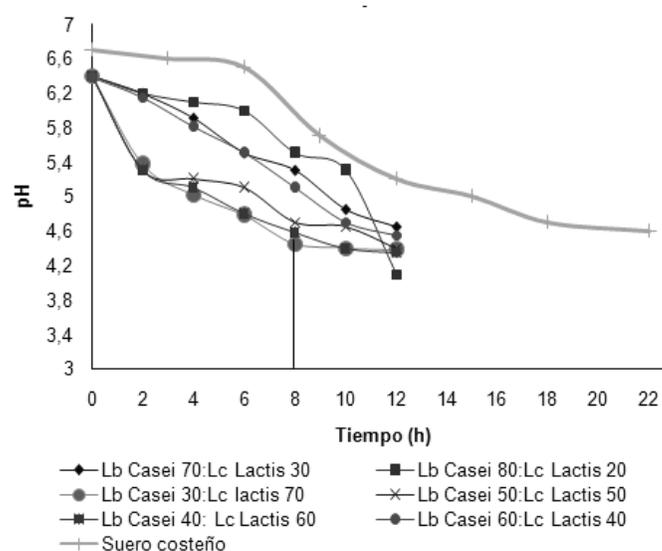


Figura 1. Evolución del pH a diferentes proporciones de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*.

ras). Esta velocidad de acidificación es más rápida que la que presenta el producto artesanal (24 horas) y la reportada por Simancas *et al.* (2010), la cual, es de 12 horas. Al aumentar la proporción de *L. lactis* el pH desciende más rápidamente, resultados que coinciden con Cueto *et al.* (2007), para quienes *L. lactis ssp lactis* es la principal causa de acidificación en los quesos artesanales y *L. paracasei* causa proteólisis y lipólisis, contribuyendo al flavor característico. Caridi *et al.* (2003) consideraron adecuadas, para su inclusión en cultivos iniciadores, aquellas cepas de *L. lactis ssp. Lactis*, que disminuyeron el pH a valores inferiores a 5, después de 24 horas de incubación, a 30°C. Como las combinaciones de cepas 50:50, 30:70 y 40:60 de *L. paracasei* : *L. lactis* presentaron los mejores resultados; las siguientes pruebas de la cinética de fermentación, se les realizaron solamente a estas combinaciones.

La lactosa es el mayor azúcar fermentable de la leche y es metabolizado por las LAB, para obtener energía (Saarela *et al.* 2000). La concentración inicial de lactosa fue de 4,7%, como se observa en la figura 2; la concentración de lactosa disminuye significativamente de siete a ocho horas, para las combinaciones de cepas 30:70 y 40:60 y esto coincide con el aumento significativo de la concentración de ácido láctico (Figura 3) y la viabilidad (Figura 4), mientras que para la combinación 50:50, la velocidad de disminución de la concentración de lactosa es baja, igual que el aumento de la concentración de ácido láctico y de la viabilidad, estos resultados están de acuerdo con los de Patrignani & Lanciotti (2006), quienes estudiaron la utilización de varios cultivos iniciadores, para la producción de Maasai, un producto lácteo fermentado de leche cruda.

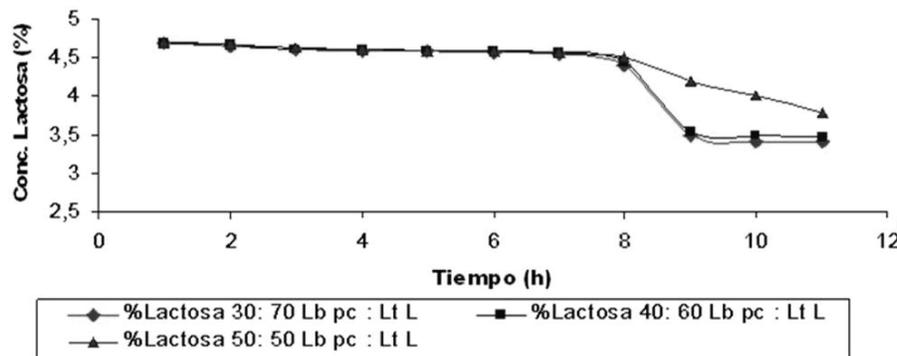


Figura 2. Evolución en la concentración de lactosa en la fermentación del suero costeño a las proporciones de 70:30, 40:60 y 50:50 de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*.

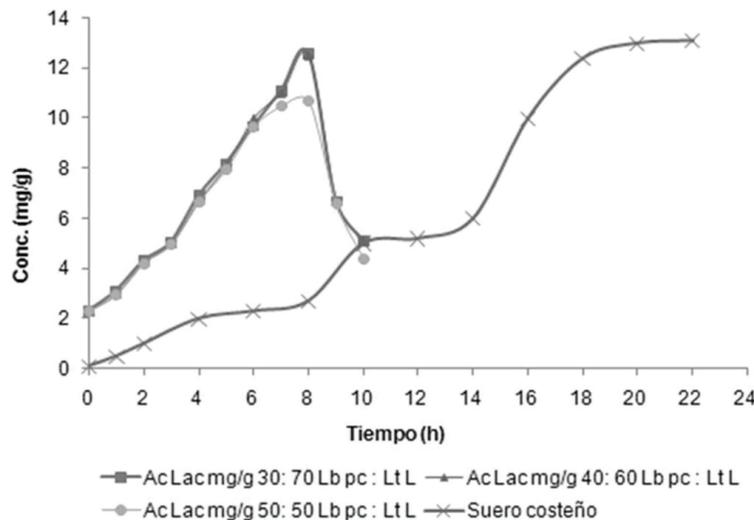


Figura 3. Evolución en la concentración de ácido láctico en la fermentación del suero costeño a las proporciones de 70:30, 40:60 y 50:50 de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*.

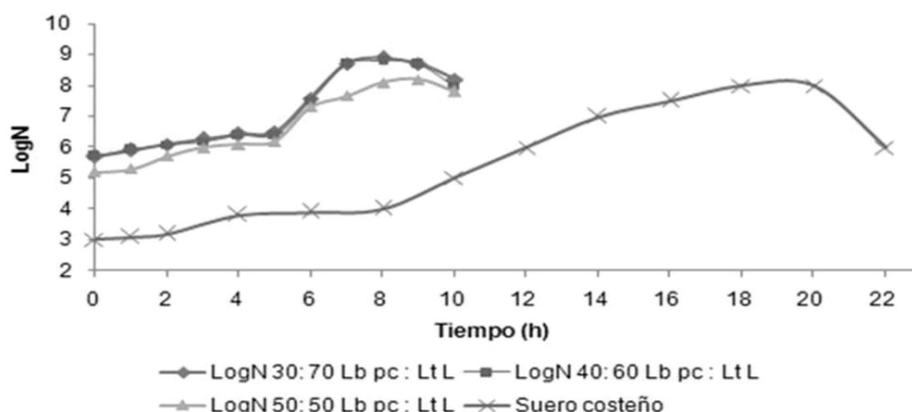


Figura 4. Viabilidad de las combinaciones de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*.

Pruebas realizadas al producto final: Todas las combinaciones de cepas presentan número de células viables por encima de 7 log (UFC/g (Tabla 1), con lo cual, cumplen con la norma internacional que establece que debe estar por encima de 6 log UFC/g, al momento de consumirse el producto, para que las bacterias probióticas ejerzan sus efectos benéficos, sobre la salud (Simancas *et al.* 2010; Samona & Robinson, 1991). Las combinaciones de cepas 30:70 y 40:60 *L. paracasei* : *L. lactis* presentan viabilidad mayor de 8 log UFC/g, a los 60 días de almacenamiento refrigerado; estos resultados están de acuerdo con los obtenidos por Patrignani & Lanciotti, (2006), para Maasai, una leche tradicional de Kenia meridional y Tanzania septentrional.

La mayor viabilidad se presenta en las combinaciones, donde las proporciones de *L. lactis* es más alta, lo que puede ser debido a que éste se adapte mejor a las condiciones de temperatura, pH y a la composición de la leche, tal como indican Acevedo *et al.* (2010), en su trabajo, donde concluyeron que estas variantes del proceso afectan significativamente la viabilidad de las LAB.

Los resultados consignados en la tabla 2 muestran que la sinéresis del suero costeño disminuye y el rendimiento se incrementa en la medida que se aumenta la proporción de *L. lactis*. Esto puede ser debido, según los hallazgos de otros estudios con yogures elaborados con LAB productores de EPS, a la producción de EPS, que ayudan a estabilizar la red de caseína, le proporcionan mayor resistencia, mejoran las propiedades reológicas incluyendo la reducción de sinéresis (Prasanna *et al.* 2013; 2012).

De los resultados se puede concluir que al aumentar la proporción de *L. lactis* en la relación *L. paracasei* : *L. lactis*, la lactosa se transforma más rápidamente en ácido láctico, el pH de coagulación se alcanza en menor tiempo, la sinéresis se reduce. Las mejores proporciones de *L. paracasei* : *L. lactis* fueron 30:70 y 40:60.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Tabla 1. Viabilidad de las combinaciones de cepas en el suero costeño, a 4°C. log UFC/g.

Cepas	Tiempo				
	0 días	20 días	30 días	50 días	60 días
<i>L. paracasei</i> : <i>L. lactis</i>					
70 30	9,6	9,3	8,6	8,2	7,2
80 20	9,5	9,1	8,2	7,1	7,2
30 70	9,7	9,6	9,7	8,3	8,1
50 50	9,6	9,3	8,8	8,2	7,4
40 60	9,8	9,7	9,2	8,4	8,4
60 40	9,7	9,5	9,1	8,2	7,6

Tabla 2. Sinéresis y rendimiento del suero costeño a diferentes proporciones de *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus paracasei*.

<i>L. paracasei</i> : <i>L. lactis</i>	Sinéresis	Rendimiento
30:70	16	49,1
40:60	16	49,2
50:50	21	45,0
60:40	23	45,0
70:30	26	45,0
80:20	28	45,0
Suero Industrial	27	43,0

BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO, D.; RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, A. 2010. Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero costeño colombiano. Inf. Tecn. (Chile). 21(2):29-36.
- AICHINGER, P.; SERVAIS, C. 2003. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. Colloid Surfaces. (United States). 31:243-255.
- ALVARADO, C.; CHACÓN, Z.; OTONIEL, J.; GUERRERO, B.; LÓPEZ, G. 2007. Aislamiento, identificación y caracterización de bacterias ácido lácticas de un queso venezolano ahumado andino artesanal su uso como cultivo iniciador. Rev. Cient. (México). 17(3):301-308.
- AMATAYAKUL, T.; SHERKAT, F.; SHAH, N. 2006. Physical characteristics of set yoghurt made with altered with altered casein to whey protein ratios and EPS producing starter cultures at 9 and 14% total solids. Food Hydrocoll. (United States). 20(2-3):314-324.
- AYALA, I.; HERNÁNDEZ, H. 2009. Effect of protein supplementation on the rheological characteristics of milk permeates fermented with exopolysaccharide-producing *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*. Food Hydrocoll. 23(5):1299-1304.
- CARIDI, P.; MICARI, P.; CAPARRA, P.; CUFARI, A.; SARULLO, V. 2003. Ripening and seasonal changes in microbial groups and in physico-chemical properties of the ewes' cheese Pecorino del Poro. Int. Dairy J. (United States). 13(2-3):191-200.
- CASTILLO, M.; LUCEY, J. 2005. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics Cottage cheese-type gels. Int. Dairy J. 16(2-3):153-163.
- CHAMMAS, G.; SALIBA, R.; CORRIEU, G.; BÉAL C. 2006. Characterisation of lactic acid bacteria isolated from fermented milk "laban". Int. J. Food Microbiol. (United States). 110(1):52-61.
- CUETO, C.; GARCÍA, D.; GARCÉS, F.; CRUZ, J. 2007. Preliminary studies on the microbiological characterization of lactic acid bacteria in suero costeño, a Colombian traditional fermented milk product. Rev. Latinoam. Microbiol. (Mexico). 49(1-2):12-18.
- GIL-HORÁN, R.; DOMÍNGUEZ-ESPINOSA, R.M.; PACHO-CARRILLO, J. 2008. Bioproducción de ácido láctico a partir de residuos de cáscara de naranja: Procesos de separación y purificación. Tecn., Cienc., Edu. (México). 23(2):79-90.
- GRANADOS, C.; ACEVEDO, D.; TORRES, R. 2012. Calidad de la leche y del suero costeño de los municipios Turbaco, Arjona y Carmen de Bolívar-Colombia. Rev. Lasallista de Investigación. (Colombia). 9(2):132-137.
- HASSAN, A.; FRANK, J.; FARMER, M.; SCHMIDT, K.; SHALABI, S. 1995. Formation of yogurt microstructure and three-dimensional visualization as determined by confocal scanning laser microscopy. J. Dairy Sci. (United States). 78(12):2629-2636.
- KRISTO, E.; BILIADERIS, C. 2003. Modelling of rheological, microbiological and acidification properties of fermented milk product containing a probiotic strain

- of *Lactobacillus paracasei*. *Int. Dairy J.* 13(7):517-528.
14. NELSON, N. 1944. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. *J. Biol. Chem.* (United States). 153:375-380.
15. PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. 2006. Potencial of functional strains, isolated from traditional Maasai milk, as starters for the production of fermented milks. *Int. J. Food Microbiol.* (United States). 107(1):1-11.
16. PRASANNA, P.; GRANDISON, A.; CHARALAMPOPOULOS, D. 2013. Microbiological, chemical and rheological properties of low fat set yoghurt produced with exopolysaccharide (EPS) producing *Bifidobacterium* strains. *Food Res. Int.* (United States). 51(1):15-22.
17. PRASANNA, P.; BELL, A.; GRANDISON, A.; CHARALAMPOPOULOS, D. 2012. Emulsifying, rheological and physicochemical properties of exopolysaccharide produced by *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* CCUG 52486 and *Bifidobacterium infantis* NCIMB 702205. *Carbohydr. Polym.* (United States). 90(1):533-540.
18. RASHID, M.; TOGO, K.; MIYAMOTO, T. 2007. Identification and characterization of dominant lactic acid bacteria isolated from traditional fermented milk Dahi in Bangladesh. *World J Microbiol Biotechnol.* (United States). 23(1):125-133.
19. SAARELA, M.; MOGENSEN, G.; FONDEN, R.; MATTO, J. 2000. Probiotic bacteria: Safety, functional and technological properties. *J. Biotechn. Finland.* 84(3):197-215.
20. SAMONA, A.; ROBINSON, R. 1991. Enumeration of bifidobacteria in dairy products. *J. Soc. Dairy Techn.* (United States). 44(3):64-66.
21. SIMANCAS, M.; ARTEAGA, M.; PÉREZ, Y.; SOTO, M.; SALCEDO, J. 2010. Characterization and study of spontaneous fermentation of fermented milk product (Suero costeño) produced in Montería. *Rev. MVZ Córdoba.* 15(1):1944-1953.
22. WACHER-RODARTE, C.; GALVAN, M.; FARRÉS, A.; GALLARDO, F.; MARSHALL, V.; GARCIA, M. 1993. Yogurt production from reconstituted skim milk powders using different polymer and non-polymer-forming starter cultures. *J. Dairy Res.* 60(2):247-254.

Recibido: Febrero 27 de 2013

Aceptado: Octubre 10 de 2013

Como citar:

Acevedo, D.; Guzmán, L.; Rodríguez, A. 2013. Cinética de la fermentación en la producción de suero costeño. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 427-433.

NIFEDIPINA, INCIDENCIA DE HIPERTENSIÓN PULMONAR HIPÓXICA Y ENGROSAMIENTO MUSCULAR DE ARTERIOLAS EN POLLOS DE ENGORDE

NIFEDIPINE, HYPOXIC PULMONARY HYPERTENSION INCIDENCE AND ARTERIOLES MUSCULAR ENGROSSMENT IN BROILERS

Rocío Rincón¹, Martha Moreno², Camilo Orozco³, Aureliano Hernández⁴

¹MVZ, c.M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, rprinconl@unal.edu.co; ²DMV, M.Sc., Ph.D., Universidad Nacional de Colombia, mjmorenod@unal.edu.co; ³MV, Ph.D., Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, caorozcos@unal.edu.co; ⁴DMV, M.Sc., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, ahernandezv@unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 435-444, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

En la Hipertensión Arterial Pulmonar (HAP) hipóxica, enfermedad que afecta tanto a mamíferos como a pollos de engorde, ocurre una elevación exagerada de la concentración intracelular del calcio y, en consecuencia, vasoconstricción y el engrosamiento de la túnica muscular vascular. El bloqueador de canales de calcio nifedipina es un vasodilatador empleado en HAP en humanos. Se evaluó el efecto del suministro de nifedipina en pollos de engorde, en dosis de 6 y 2mg/kg de peso vivo, entre los días 4 a 21 y desde el día 22 hasta el 42 de edad, de 30 y 10mg/kg, respecto a un grupo control, sobre la incidencia de HAP, el índice de masa cardíaca (IC) y el grosor de la capa media muscular de arteriolas pulmonares (%T), con diámetros de 50 a 100 micrómetros (μ M). Hubo reducción numérica de la mortalidad por HAP en los pollos tratados, relacionada con la dosis del fármaco. Los valores del IC de las aves que murieron espontáneamente antes del día 42 de edad no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, así como entre las aves sacrificadas el día 42 de edad ($P > 0,05$). Los valores de %T en los pollos hipertensos de los grupos tratados con 30 y 10mg/kg de nifedipina fueron significativamente menores ($P < 0,05$), comparados con los pollos hipertensos del grupo control. Es deseable que haya más estudios, para evaluar la viabilidad del uso de la nifedipina en pollos de engorde con HAP.

Palabras clave: Ascitis, avicultura, bloqueador de canales de calcio, índice de masa cardíaca, remodelación vascular.

SUMMARY

In hypoxic Pulmonary Arterial Hypertension (PAH), a disease affecting mammals and broiler chickens, there is an exaggerated increase of the intracellular calcium concentration and therefore vasoconstriction and engrossment of the vascular muscle layer. Nifedipine, a calcium channel's blocker is a vasodilator employed in PAH in humans. The effect of nifedipine on PAH incidence, cardiac mass index (CI) and the muscle middle layer thickness of arterioles (%T) with diameters from 50 to 100 micrometers (μ M) in broilers was presently evaluated. Doses employed were: 6 and 2mg/kg of body weight between days 4 to 21 and 30 and 10mg/kg between days 22 to 42 of age, as related to a control group. A numerical dose dependent reduction in the mortality by PAH in medicated broilers was detected. CI values of birds dying spontaneously before day 42 of age, did not show statistical differences between treatments. The above mentioned finding also applied to animals slaughtered at day 42 ($P > 0.05$). %T values in pulmonary hypertensive chickens treated with 30 and 10mg/kg of nifedipine, were significantly lower ($P < 0.05$) when compared to pulmonary hypertensive chickens in the control group. It is desirable that more studies should be undertaken as to evaluate the viability of employing nifedipine in pulmonary hypertensive chickens.

Key words: Ascites, calcium channel's blocker, cardiac mass index, poultry, vascular remodeling.

INTRODUCCIÓN

Existe evidencia de la susceptibilidad dentro y entre las estirpes de pollos de engorde (*Gallus gallus*) a la Hipertensión Arterial Pulmonar (HAP) (Menocal *et al.* 2007; Druyan *et al.* 2007). Los individuos hiperreactivos pueden desarrollar esta enfermedad, debido a la exposición crónica a la hipoxia hipobárica, presente en las grandes alturas (Beker *et al.* 2003; Vásquez & Hernández, 2012) o a la exposición prolongada a bajas temperaturas (Pan *et al.* 2005; Yang *et al.* 2010), entre otras causas. La hipoxia hipobárica, en los capilares aéreos, está asociada con la presentación de vasoconstricción arterial pulmonar, el aumento en la resistencia al flujo de sangre en las arteriolas de diámetros menores de 300µm y el engrosamiento de la media muscular y de la adventicia en las arteriolas (Wideman, 2000). El incremento de la resistencia vascular pulmonar, produce un sobreesfuerzo del ventrículo cardiaco derecho, éstasis venosa, congestión pasiva generalizada y falla cardiaca. En mamíferos (Scotland *et al.* 2001) y en aves (Moreno de Sandino & Hernández, 2003; Álvarez-Medina *et al.* 2012), la HAP se caracteriza por la disminución de los niveles plasmáticos de sustancias vasodilatadoras e inhibitoras de la mitosis, como el Óxido Nítrico (NO) y el factor de hiperpolarización derivado del endotelio (EDHF), alteración propia de la disfunción endotelial. Adicionalmente, durante la HAP también existe un aumento de la presencia de vasoconstrictores y mitógenos de las células musculares lisas vasculares, como el Tromboxano A2 (TXA2), la serotonina (5-HT) (Chapman *et al.* 2008) y la Endotelina-1 (ET-1) (Gómez *et al.* 2007). Este desequilibrio en la síntesis de sustancias vasoactivas, se refleja en la presentación de vasoconstricción sostenida y cambios estructurales en la vasculatura pulmonar (Kourembanas *et al.* 1991; Gómez *et al.* 2007).

La hipoxia hipobárica crónica propicia la alteración del funcionamiento de los canales iónicos de Ca^{2+} , lo que constituye el mayor desencadenante de la vasoconstricción arterial pulmonar y la subsecuente hiperplasia de las células musculares lisas vasculares pulmonares (Sommer *et al.* 2008). El aumento de la entrada de Ca^{2+} , a través de los canales permeables a este ión o la movilización de Ca^{2+} desde los sitios de almacenamiento intracelular, como el retículo sarcoplásmico, generan el incremento en la concentración del Ca^{2+} libre citosólico $[(Ca^{2+})_i]$, responsable de la vasoconstricción. Los canales de Ca^{2+} operados por voltaje (VOCC) tipo L, localizados en la membrana de las células musculares lisas de la arteria pulmonar, constituyen el principal mecanismo para aumentar la $[(Ca^{2+})_i]$, durante la hipoxia (Olschewski *et al.* 2002). El papel fundamental del incremento de la $[(Ca^{2+})_i]$ en la fisiopatología de la HAP justifica la utilización de fármacos bloqueadores de canales de Ca^{2+} (BCC), como una alternativa útil en la terapéutica de dicha enfermedad (Huber *et al.* 2000). Entre estas sustancias,

las dihidropiridinas (DHP) poseen mayor selectividad por las células musculares lisas vasculares que por las células del músculo cardíaco (Poelaert & Roosens, 2000). De las diferentes DHP, la nifedipina posee los mejores efectos sobre las células musculares lisas vasculares (Yamakage & Namiki, 2002) y sobre la disminución de la proliferación de este tipo de células (Hérembert *et al.* 1995). Estas características favorables argumentan el amplio uso de este fármaco en humanos, con resultados eficientes en el control de la HAP hipóxica y de otros orígenes (Antezana *et al.* 1998).

En la industria del pollo de engorde, la HAP genera cuantiosas pérdidas económicas (Maxwell & Robertson, 1997; Pavlidis *et al.* 2007; Urbaityte, 2008; Medeiros *et al.* 2012). La HAP en esta especie puede ocurrir en animales susceptibles, bajo condiciones naturales de hipoxia hipobárica y su fisiopatología es similar a la de los humanos, por lo que puede ser útil como modelo animal, en el estudio de la HAP (Martínez-Lemus *et al.* 1999; Wideman & Hamal, 2011). La generación de alternativas terapéuticas orientadas a interrumpir o moderar los procesos de vasoconstricción, de proliferación y de remodelación vascular, busca contribuir al control de la HAP en la industria del pollo de engorde, a la vez, que podría generar una mejor comprensión de su fisiopatología. En este trabajo de investigación, se empleó el BCC Nifedipina, con el propósito de evaluar su posible efecto sobre la incidencia de HAP hipóxica hipobárica en pollos de engorde y sobre la muscularización de las arteriolas pulmonares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta que la tasa de mortalidad asociada con HAP en pollos de engorde de la estirpe Cobb500, criados a una altura de 2.638msnm puede llegar a alcanzar el 40%, al día 42 de edad (Vásquez & Hernández, 2012); se consideró que el empleo de 100 aves por cada tratamiento, era suficiente para obtener la cantidad de muestras necesarias para el análisis morfológico de las arteriolas pulmonares.

Animales: Se alojaron 300 pollos machos de la estirpe Cobb500 de un día de edad, bajo condiciones naturales de hipoxia hipobárica (Bogotá, Colombia, 2.638msnm, presión atmosférica media: 560,75mmHg y PO_2 : 117,6mmHg) (Jiménez *et al.* 1998). La temperatura dentro del galpón fue controlada durante todo el experimento de forma automática, con un sensor conectado a la unidad central de las criadoras eléctricas, así: días 1 a 6, con 32-33°C; días 7 a 13, con 29 a 30°C; días 14 a 20, con 27 a 28°C; días 21 a 27, con 24 a 26°C; días 28 a 34, con 21 a 23°C; días 35 a 41, con 19 a 21°C, siguiendo las recomendaciones de la Guía de manejo Cobb500 (2008). Los animales fueron recibidos en cama de viruta de madera nueva y previamente desinfectada. Se suministró agua de bebida potable *ad libitum*. Todos los

animales recibieron el alimento concentrado comercial tipo Iniciación desde el día 1 hasta el 21 (Energía metabolizable (EM) 2900Kcal y proteína bruta (PB) 20%) y de finalización, a partir del día 22 hasta el 42 (EM 3000Kcal y PB 19%); para ambos tipos, se empleó la presentación de quebrantado, la cantidad de alimento suministrado fue el recomendado por la Guía de manejo Cobb500 (2008). Se utilizó una densidad de población 11,3 pollos por m².

Tratamientos: Los pesajes de las aves se realizaron semanalmente. El día 1 de edad, se pesó la totalidad de las aves y se conformaron 12 grupos experimentales homogéneos, según el peso. Cada grupo quedó compuesto por 25 aves y fue ubicado en un cubículo experimental independiente. Para cada tratamiento, se asignaron cuatro grupos de forma aleatoria (100 pollos/tratamiento). Los tres tratamientos evaluados fueron los siguientes: Tratamiento 1: del día 4 a 21 de edad, se suministró, vía oral, nifedipina disuelta en agua destilada, en dosis diaria de 6mg/kg de peso y, a partir del día 22 hasta el 42, de 30mg/kg. Tratamiento 2: del día 4 al 21 nifedipina disuelta en agua destilada, en dosis diaria de 2mg/kg de peso y, a partir del día 22 hasta el 42, de 10mg/kg de peso. Tratamiento 3 (control): a los pollos de este tratamiento, se les suministró agua destilada solamente, a un volumen idéntico al de las soluciones de los dos tratamientos anteriores. En humanos, ha sido recomendado el uso de dosis más bajas de nifedipina en niños que en adultos (Palma-Aguirre *et al.* 1999), razón por la cual, en este experimento, se optó por el uso de una dosis menor, para las aves entre los días 4 a 21, que en aves comerciales, que corresponde al periodo de cría y levante. Las dosis, se ajustaron diariamente, según la tabla de peso de la estirpe (Guía de manejo Cobb500, 2008). Los tratamientos, se suministraron dos veces al día, por vía oral e individualmente, a las 7:00 a.m. y 7:00 p.m.; para ello, se usó un inyector Socorex®, que proporcionó un volumen idéntico para cada ave. Debido a la naturaleza fotosensible de la nifedipina, durante el pesaje, la preparación y el suministro de ésta, se utilizó iluminación con reflectores de luz de sodio exclusivamente; el resto del tiempo se emplearon bombillos de luz día.

Evaluación de la mortalidad: Se registró la mortalidad ocurrida durante la fase experimental y se realizó la necropsia correspondiente a cada individuo, en la que se tuvo en cuenta la determinación del índice de masa cardíaca (IC). El IC es el resultado de dividir el peso del ventrículo derecho/peso ventricular total, todo esto multiplicado por 100 (Alexander & Jensen, 1959) y es una forma indirecta para determinar la ocurrencia de la HAP, debido a la alta correlación existente entre estas dos variables (Burton *et al.* 1968; Cueva *et al.* 1974; Hernández, 1979). Se considera sin HAP (PNHP) a aquellos animales, con un IC ≤ 25 e hipertensos (PHP), con un IC ≥ 26 (Vásquez & Hernández, 2012). Los animales que

sobrevivieron hasta el final de la fase experimental fueron sacrificados, siguiendo las normas aprobadas por el comité de ética institucional y también se les realizó la necropsia y la posterior determinación del IC.

Muscularización arterial pulmonar: La hipertrofia de la capa media muscular es una de las lesiones predominantes, que caracterizan a la remodelación vascular y se ha encontrado que sucede, tanto en la HAP de los humanos como en la de algunos modelos animales (McLaughlin & McGoon, 2006). El promedio del grosor de la capa media muscular de las arteriolas pulmonares, se conoce también como %T, que se calcula mediante la fórmula $\%T = T/D \times 100$ (Tucker *et al.* 1975). El valor promedio de la capa media muscular (T) de una arteriola determinada, se obtiene a través de cuatro mediciones realizadas en los bordes superior, inferior y laterales de la capa media muscular de la correspondiente arteriola $(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)/4$ (Figura 1). D corresponde al promedio del diámetro del vaso sanguíneo y se calcula a partir de dos mediciones perpendiculares entre sí, en las que se excluye la capa adventicia del vaso sanguíneo, como se indica: una desde el borde superior al inferior y la segunda, uniendo los bordes laterales $(D_1 + D_2)/2$ (Figura 1). Dado que la nifedipina puede tener un efecto sobre el tono de la capa media muscular o sobre el grado de muscularización (Roth *et al.* 1996), se evaluaron las posibles diferencias del valor del %T entre tratamientos, teniendo en cuenta, para ello, cierto grado de homogeneidad, según los agrupamientos por IC. Se seleccionaron de cada tratamiento 8 animales PNHP (IC ≤ 23%) y otros 8 animales PHP (IC de 30 a 35%). Para el cálculo del %T, se sacrificó a la totalidad de los animales que sobrevivieron al día 42, a cada uno de ellos se les extrajeron el pulmón izquierdo, que se fijó en una solución de formalina bufferada al 10% (pH = 7,4) y el corazón, para el cálculo del IC. Para cada individuo, se seleccionaron aleatoriamente 10 arteriolas interparabronquiales, con diámetros externos entre 50 y 100 μm, a las que les calculó el %T. Para el análisis histológico, se realizaron cortes sagitales y se utilizó la coloración tricrómica de Masson (Luna, 1968). Todas las mediciones se realizaron con un analizador de imágenes microcomputarizado (Image-Pro plus 7, Bethesda. MD. EE.UU. 2010). Para la obtención de imágenes, se empleó un microscopio óptico.

Análisis Estadístico: Para los animales sacrificados al día 42, se compararon los valores obtenidos para el %T y el IC, entre tratamientos, utilizando un diseño completamente al azar y un análisis de varianza de una vía. Por otro lado, se compararon entre tratamientos los IC de los animales que murieron espontáneamente antes del día 42, empleando la misma metodología. Al encontrar diferencias significativas, se realizó la prueba de comparación múltiple LSD. Se consideró un valor de P < 0,05 como significativo. Para el análisis estadístico, se empleó el software SAS 9.2.

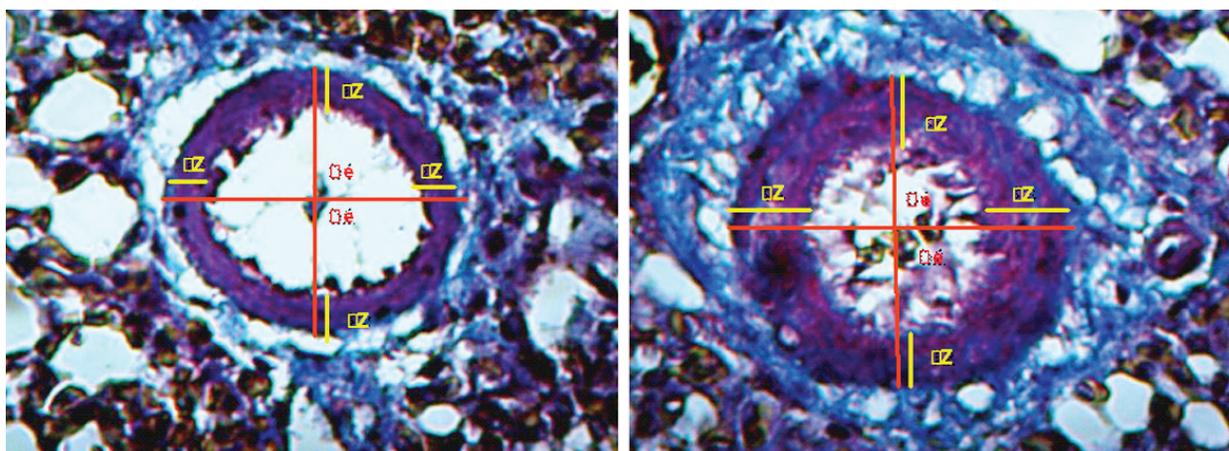


Figura 1. Fotografías de arteriolas pulmonares con el esquema de las mediciones, para la determinación del %T. Derecha, corte de pulmón de pollo con HAP (PHP), se observa el gran engrosamiento de la capa media muscular. Izquierda, corte de pulmón de pollo sin HAP (PNHP), se observa la delgada capa de musculatura lisa. T1: grosor de la capa media muscular de la arteriola, tomado en la parte superior. T2: grosor de la capa media muscular de la arteriola, tomado en la parte inferior. T3: grosor de la capa media muscular de la arteriola, tomado en la parte derecha. T4: grosor de la capa media muscular de la arteriola, tomado en la parte izquierda. D1: diámetro de la arteriola, tomado desde el borde superior al inferior de la capa media muscular. D2: diámetro de la arteriola, tomado desde el borde izquierdo al borde derecho de la capa media muscular. Aumento original 40x. Coloración Tricrómica de Masson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todos los animales que murieron antes del día 42 presentaron valores de IC superiores a 25%, que junto con las lesiones macroscópicas observadas son compatibles con las reportadas para HAP (Machorro Velasco & Paasch-Martínez, 1985). La mayor mortalidad, se observó a la quinta semana de edad en cada tratamiento. La mortalidad obtenida fue: a) tratamiento 1 (nifedipina 6mg/kg, día 4 al 21 y 30mg/kg, día 22 al 42): 39% (n=39); b) tratamiento 2 (nifedipina 2mg/kg, día 4 al 21 y 10mg/kg, día 22 al 42): 45% (n=45) y c) tratamiento 3 (control): 52% (n=52), es decir, que la medicación con nifedipina tuvo un efecto positivo sobre la prevención de la mortalidad, debida a HAP relacionada con la dosis de la misma. Al analizar los resultados de mortalidad por HAP en pollos de engorde, se debe tener en cuenta que no existe un patrón cronológico generalizado para el desarrollo de la HAP y, por el contrario, cada caso parece obedecer a las circunstancias particulares del individuo (Hernández & de Sandino, 2011). Adicionalmente, la incidencia varía dentro de la misma estirpe (Zhang *et al.* 2007; Areiza *et al.* 2011; Vásquez & Hernández, 2012).

El análisis de los valores de peso corporal que se registraron semanalmente no indicó diferencias significativas entre los tres tratamientos (datos no mostrados).

Al comparar entre grupos el IC de los pollos que murieron espontáneamente antes del día 42, no se encontraron

diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) (Tabla 1); tampoco, cuando se compararon los valores de IC de los pollos que se sacrificaron el día 42 ($P > 0,05$) (Tabla 2). Lo anterior, no parece reflejar un efecto benéfico de la nifedipina sobre la capacidad de prevención de la hipertrofia cardiaca derecha; sin embargo, se pudo observar que si bien los resultados no fueron estadísticamente significativos, los valores más altos en el rango de IC (límite inferior y límite superior) de las aves sacrificadas, se presentaron en el grupo de pollos que no recibieron la nifedipina (Tabla 2). Es importante resaltar que no existen estudios que relacionen directamente el IC con el tiempo que el animal lleva presentando la HAP, por lo anterior, pueden existir pollos con duración breve de la enfermedad (15 a 17 días de edad) cuyo IC puede ser tan alto como el de aquellos animales, cuya evolución dura entre 36 y 41 días (Hernández & de Sandino, 2011; Areiza *et al.* 2011).

La evaluación de los resultados del %T de los PHP mostró diferencias significativas entre el tratamiento 1 y el 3 y entre el tratamiento 2 y el 3 ($P < 0,05$). Pero no se encontraron diferencias al comparar los tratamientos 1 y 2 ($P > 0,05$). Al comparar el %T entre los pollos PNHP, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos ($P > 0,05$) (Tabla 3).

Aunque en el presente estudio no se evidenció un efecto significativo en la disminución de los IC de los pollos bajo tratamiento con nifedipina (Tablas 1 y 2), como fue reportado

Tabla 1. Índice de masa cardiaca de los pollos que murieron espontáneamente antes del día 42, según las diferentes dosis de los tratamientos con nifedipina.

Variable	Tratamiento			P
	1 Nifedipina 30mg/kg	2 Nifedipina 10mg/kg	3 control	
IC Promedio \pm D.E de pollos muertos espontáneamente durante el experimento	41,96 \pm 4,89 (n=39)	41,42 \pm 5,40 (n=45)	41,26 \pm 4,97 (n=52)	NS
Rango de IC	29,83 - 53,60	20,55 - 58,45	25,91 - 48,52	

\pm D.E Desviación Estándar

Significancia estadística: Letras diferentes implican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$),
NS: No diferencias significativas.

Tabla 2. Índice de masa cardiaca de los pollos sacrificados al día 42 de edad. según las diferentes dosis de los tratamientos con nifedipina.

Variable	Tratamiento			P
	1 Nifedipina 30mg/kg	2 Nifedipina 10mg/kg	3 control	
IC Promedio \pm D.E de pollos sacrificados el día 42	29,66 \pm 8,06 (n=61)	29,18 \pm 6,99 (n=55)	31,43 \pm 8,89 (n=48)	NS
Rango de IC	17,16 - 43,62	16,95 - 47,66	20,05 - 51,93	

\pm D.E Desviación Estándar

Significancia estadística: Letras diferentes implican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$),
NS: No diferencias significativas.

Tabla 3. Comparación del engrosamiento de la capa de músculo liso (%T) de las arteriolas pulmonares, con diámetros entre 50 a 100µm, entre los diferentes tratamientos y teniendo en cuenta los animales con o sin HAP, dentro de cada tratamiento.

Tratamiento	Subgrupo	%T Promedio ± D.E	Significancia Estadística
1. Nifedipina 30mg/kg (n=8)	PHP	19,6959 ± 1,18	B
2. Nifedipina 10mg/kg (n=8)	PHP	19,8619 ± 1,52	B
3. Control (n=8)	PHP	21,6422 ± 1,16	A
1. Nifedipina 30mg/kg (n=8)	PNHP	17,2292 ± 1,73	C
2. Nifedipina 10mg/kg (n=8)	PNHP	17,1941 ± 0,90	C
3. Control (n=8)	PNHP	17,8834 ± 1,05	C

± D.E Desviación Estándar

Pollos con Hipertensión Arterial Pulmonar PHP, Pollos sin Hipertensión Arterial Pulmonar PNHP

Letras diferentes implican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$).

Nota: Para este análisis los pollos indicados como PHP corresponden a animales con IC de 30-35%. Los pollos PNHP corresponden a pollos con IC < 23%.

por Sun *et al.* (2007), sí se pudo observar que los grupos que recibieron el medicamento presentaron una menor mortalidad. En contraposición, Paasch (1991), no encontró diferencia estadística significativa en la medición de la PAP, ni del IC entre los pollos tratados y los controles, cuando la medicación con nifedipina la realizó durante 20 días, a pollos de 6 semanas de edad, considerados con HAP. Yang *et al.* (2010) indujeron la HAP en pollos de engorde con bajas temperaturas y, adicional al análisis de la PAP, incluyeron el IC y el %T. La dosis empleada de nifedipina fue de 5mg/kg cada 12 horas, por vía oral, a partir del día 16 hasta el 43. La nifedipina previno el aumento de la PAP durante la fase inicial del estudio; sin embargo, no suprimió el desarrollo de HAP en la fase final y tampoco mantuvo el valor de la PAP, del IC ni del %T, en valores normales. Dado lo anterior, se podría plantear que la nifedipina tiene un mejor desempeño cuando se suministra desde muy temprana edad y con propósitos preventivos, para el control de la enfermedad en individuos predisuestos.

El valor más bajo del %T del grupo de PHP tratados con la dosis más elevada de la nifedipina, en el presente estudio, se podría atribuir a una reducción de la PAP, como ha sido postulado desde hace varias décadas y basado en el efecto vasodilatador e inhibidor de la vasoconstricción arterial pulmonar de origen hipóxico (Nelson *et al.* 1990). Un mecanismo por el que la nifedipina podría ejercer su función vasodilatadora es a través de la reducción de la producción de agentes vasoconstrictores y mitógenos, como el TXA2 (Alarayed *et al.* 2002) y la ET-1 (Sudano *et al.* 2007). La nifedipina también reduce la síntesis de DNA y la proliferación de las células musculares lisas vasculares y modula el metabolismo del colágeno dentro de la matriz extracelular (Roth *et al.* 1996). Esto último, resulta ventajoso para el individuo, ya que, adicional a la mayor proliferación de células de músculo liso y de los fibroblastos vasculares, la mayor síntesis de colágeno en los vasos arteriales pulmonares está asociada con un alto IC (Hérembert *et al.* 1995). El mecanismo antiproliferativo de la nifedipina y otros

BCC podría obedecer, además, a su actividad inhibitoria sobre varias moléculas, como el Factor de Crecimiento Derivado de las Plaquetas (PDGF), la Angiotensina II (Ang II), el Factor de Crecimiento básico de los Fibroblastos (bFGF) y el Factor de Crecimiento Epidermal (EGF) (Kataoka *et al.* 1997; Stepien *et al.* 1998; Soe *et al.* 2009). Otro aspecto fundamental, se debe a que algunos factores de crecimiento dependen de la entrada del Ca^{2+} extracelular y esto, a su vez, está relacionado con el antagonismo de estos bloqueadores a la apertura de los VOCC y con la inhibición de la liberación del Ca^{2+} intracelular, por acción directa de la producción continua de fosfatidilinositol y sobre algunas proteínas quinasas (PKC) (Kataoka *et al.* 1997) y del mRNA del factor de crecimiento transformante β (TGF- β) (Kim *et al.* 1995; Jeffery & Wanstall, 2001). En los pollos afectados con HAP, al igual que en los mamíferos, ocurre una sobreexpresión de algunas PKC. La activación de la PKC α favorece la remodelación vascular pulmonar. Este mecanismo implica el incremento de la $[\text{Ca}^{2+}]_i$, que promueve la proliferación de las células musculares lisas de la arteria pulmonar y los fibroblastos de la adventicia (Barman, 2001; Tan *et al.* 2005).

El engrosamiento de la capa muscular de arteriolas pulmonares es mayor en los PHP respecto a los PNHP (Enkvetchakul *et al.* 1995; Tan *et al.* 2005; Moreno de Sandino & Hernández, 2006), lo cual, coincide con lo hallado en el presente trabajo. A su vez, la remodelación vascular pulmonar comprende cambios estructurales, que incluyen la extensión distal del músculo liso en vasos, previamente no muscularizados, característico de la HAP hipóxica y el engrosamiento medial y de la adventicia de los vasos musculares y elásticos. Dicho engrosamiento medial, se atribuye a la hipertrofia e hiperplasia de las células musculares lisas vasculares, así como al incremento de la deposición de proteínas de la matriz extracelular (Stenmark *et al.* 2006).

Las sustancias farmacológicas, como los BCC, tipo nifedipina, han sido ampliamente estudiados en el tratamiento de la HAP y, con ellas, se obtuvieron resultados satisfactorios, en cuanto a la reducción de la PAP y de la resistencia vascular pulmonar (Antezana *et al.* 1998); sin embargo, una nueva generación de estudios se ha centrado sobre la posible utilización de otros tratamientos farmacológicos específicos con capacidad vasodilatadora y de bloqueo de la proliferación de músculo liso. Dentro de los más relevantes e investigados, se encuentran los antagonistas de los receptores de ET-1, los inhibidores de la fosfodiesterasa tipo 5 (Sakao *et al.* 2012; Schwartz *et al.* 2013) y los prostanoides (Zhang *et al.* 2012).

En el presente trabajo, se encontró un efecto significativo de la nifedipina sobre el mejoramiento del %T de los PHP y en la reducción de la mortalidad en pollos de engorde, sometidos a hipoxia hipobárica crónica; sin embargo, no se

evidenció una reducción significativa del IC asociado con su suministro. Ante los resultados obtenidos, cabe reevaluar si la nifedipina constituye una alternativa viable para la prevención de la HAP en pollos de engorde o si son necesarias dosis más elevadas del fármaco, con el fin de encontrar un efecto benéfico contundente. En este último caso, sería necesario evaluar la posible toxicidad del fármaco y estimar la relación costo: beneficio para su utilización.

Agradecimientos: A Farmacápsulas S.A. e Incubacol S.A., por la donación de la nifedipina y los pollos, respectivamente. Al Doctor Rafael Areiza, por su ayuda con la revisión de la versión final del presente artículo. **Financiación:** A la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República y la División Investigación Bogotá (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia. **Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALARAYYED, N.A.; PRICHARD, B.N.C.; BETTERIDGE, D.J.; SMITH, C.C.T. 2002. Differential actions of naftopidil, doxazosin and nifedipine on platelet thromboxane generation and platelet-derived growth factor efflux in vitro. *Platelets*. (UK). 13(5-6):267-271.
2. ALEXANDER, A.F.; JENSEN, R. 1959. Gross cardiac changes in cattle with high mountain disease and in experimental cattle maintained at high altitudes. *Am. J. Vet. Res.* (USA). 20(10):680-689.
3. ÁLVAREZ-MEDINA, D.I.; HERNÁNDEZ, A.; OROZCO, C. 2012. Endothelial hyperpolarizing factor increases acetylcholine-induced vasodilatation in pulmonary hypertensive broilers arterial rings. *Res. Vet. Sci.* (England). 92(1):1-6.
4. ANTEZANA, A.M.; ANTEZANA, G.; APARICIO, O.; NORIEGA, I.; VELARDE, F.L.; RICHALET, J.P. 1998. Pulmonary hypertension in high-altitude chronic hypoxia: response to nifedipine. *Eur. Respir. J.* (UK). 12:1181-1185.
5. AREIZA, R.A.; RIVAS, P.C.; HERNÁNDEZ, A. 2011. A Quantitative study of the pulmonary vascular bed and pulmonary weight: Body weight ratio in chickens exposed to relative normoxia and chronic hypobaric hypoxia. *J. Poult. Sci.* (Japan). 48(4):267-274.

6. BARMAN, S.A. 2001. Effect of protein kinase C inhibition on hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am. J. Physiol. Lung. Cell. Mol. Physiol.* (USA). 280:L888-895.
7. BEKER, A.; VANHOOSER, S.L.; SWARTZLANDER, J.H.; TEETER, R.G. 2003. Graded atmospheric oxygen level effects on performance and ascites incidence in broilers. *Poult. Sci.* (USA). 82:1550-1553.
8. BURTON, R.R.; BESCH, E.L.; SMITH, A.H. 1968. Effect of chronic hypoxia in the pulmonary arterial blood pressure of the chicken. *Am. J. Physiol.* (USA). 214(6):1438-1442.
9. CHAPMAN, M.E.; TAYLOR, R.L.; WIDEMAN, Jr. R.F. 2008. Analysis of plasma serotonin levels and hemodynamic responses following chronic serotonin infusion in broilers challenged with bacterial lipopolysaccharide and microparticles. *Poult. Sci.* 87(1):116-124.
10. CUEVA, S.; SILLAU, H.; VALENZUELA, A.; PLOOG, H. 1974. High altitude induced pulmonary hypertension and Heart failure in broiler chickens. *Res. Vet. Sci.* 16:370-374.
11. DRUYAN, S.; BEN-DAVID, A.; CAHANER, A. 2007. Development of ascites-resistant and ascites-susceptible broiler lines. *Poult. Sci.* 86:811-822.
12. ENKVETCHAKUL, B.; BEASLEY, J.; BOTTJE, W. 1995. Pulmonary arteriole hypertrophy in broilers with pulmonary hypertension syndrome (ascites). *Poult. Sci.* 74:1676-1682.
13. GÓMEZ, A.P.; MORENO, M.J.; IGLESIAS, A.; CORAL, P.X.; HERNÁNDEZ, A. 2007. Endothelin 1, its endothelin type A receptor, connective tissue growth factor, platelet-derived growth factor, and adrenomedullin expression in lungs of pulmonary hypertensive and nonhypertensive chickens. *Poult. Sci.* 86:909-916.
14. Guía del manejo del pollo de engorde. Cobb500. 2008. Disponible desde internet en: <http://www.cobb-vantress.com/contactus/brochures/BroilerGuideSPAN.pdf> (con acceso el 17/02/2012).
15. HÉREMBERT, T.; ZHU, D-L.; MARCHE, P. 1995. Mechanism of action of the inhibitory effect of nifedipine on the growth of cultured aortic cells from spontaneously hypertensive and normotensive rats. *Br. J. Pharmacol.* 114:1703-1709.
16. HERNÁNDEZ, A. 1979. Comprobación de un síndrome ascítico de origen hipóxico (un tipo de edema aviar) en Bogotá. *Rev. ACOVEZ.* 3(11):52-54.
17. HERNÁNDEZ, A.; DE SANDINO, M. 2011. Hypoxic pulmonary hypertension in the chicken model. In: Sulica, R.; Preston, I. (eds). *Pulmonary Hypertension - From Bench Research to Clinical Challenges.* Ed. In Tech. (Croatia). p.111-150.
18. HÜBER, I.; WAPPL, E.; HERZOG, A.; MITTERDORFER, J.; GLOSSMANN, H.; LANGER, T.; STRIESSNIG, J. 2000. Conserved Ca²⁺ antagonist-binding properties and putative folding structure of a recombinant high-affinity dihydropyridines-binding domain. *Biochem. J.* (UK). 347:829-836.
19. JEFFERY, T.K.; WANSTALL, J.C. 2001. Pulmonary vascular remodeling: a target for therapeutic intervention in pulmonary hypertension. *Pharmacol.* (Switzerland). 92:1-20.
20. JIMÉNEZ, E.; LOZANO, C.; HERNÁNDEZ, A.; FLÓREZ, H.; PULIDO, M. 1998. Presión parcial de oxígeno, pH, hematocrito, hemoglobina e índice cardíaco en pollos de engorde a 2600 metros sobre el nivel del mar. *Arch. Med. Vet.* (Chile). 30(1):67-74.
21. KATAOKA, S.; ALAM, R.; DASH, P.K.; YATSU, F.M. 1997. Inhibition of PDGF-mediated proliferation of vascular smooth muscle cells by calcium antagonists. *Stroke.* (USA). 28:364-369.
22. KIM, S.; OHTA, K.; HAMAGUCHI, A.; MIURA, K.; YUKIMURA, T.; IWAO, H. 1995. Suppression of vascular transforming growth factor-b1 and extracellular matrix gene expressions by cilazapril and nifedipine in hypertensive rats. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* (Australia). (Suppl. 1):S355-S356.
23. KOUREMBANAS, S.; MARSDEN, P.A.; McQUILLAN, L.P.; FALLER, D.V. 1991. Hypoxia induces endothelin gene expression and secretion in cultured human endothelium. *J. Clin. Invest.* (USA). 88:1054-1057.
24. LUNA, L.G. 1968. Routine staining procedures. *Manual of histologic Staining Methods.* 3rd ed. McGraw-Hills Book Co. New York. p.38.
25. MACHORRO VELASCO, E.; PAASCH-MARTÍNEZ, L. 1985. Evaluación del efecto de la hipertensión pulmonar en la presentación del síndrome ascítico en México. *Vet. Mex.* 16:15-19.

26. MARTÍNEZ-LEMUS, L.A.; HESTER, R.K.; BECKER, E.J.; JEFFREY, J.S.; ODOM, T.W. 1999. Pulmonary artery endothelium-dependent vasodilation is impaired in a chicken model of pulmonary hypertension. *Am. J. Physiol. Regulatory. Integrative. Comp. Physiol. (USA)*. 277:R190-R197.
27. MAXWELL, M.H.; ROBERTSON, G.W. 1997. World broiler ascites survey 1996. *Poultry Int. (USA)*. 4:16-30.
28. MCLAUGHLIN, V.V.; MCGOON, M.D. 2006. Pulmonary arterial hypertension. *Circulation. (USA)*. 114:1417-1431.
29. MEDEIROS, F.; DE AZEVEDO, P.; MOLETA, E.; DE VARGAS, J.G.; VIANNA, R.; GARCIA, J. 2012. Ocorrência de ascite em produção de frangos de corte no estado de Mato Grosso. *Anuário 2013 da Avicultura Industrial. (BRASIL)*. (11):124-130.
30. MENOCA, J.A.; ÁVILA, E.; LÓPEZ, C.; GÓNZALEZ, R.O. 2007. Estirpe y temperatura ambiental en la incidencia del síndrome ascítico en el pollo de engorda. *Rev. Cub. Cien. Agr.* 41(3):259-262.
31. MORENO DE SANDINO, M.; HERNÁNDEZ, A. 2003. Nitric oxide synthase expression in the endothelium of pulmonary arterioles in normal and pulmonary hypertensive chickens subjected to chronic hypobaric hypoxia. *Avian. Dis. (USA)*. 47(4):1291-1297.
32. MORENO DE SANDINO, M.; HERNÁNDEZ, A. 2006. Pulmonary arteriole remodeling in hypoxic broilers expressing different amounts of endothelial nitric oxide synthase. *Poult. Sci.* 85:899-901.
33. NELSON, M.T.; PATLAK, J.B.; WORLEY, J.F.; STANDEN, N.B. 1990. Calcium channels, potassium channels, and voltage dependence of arterial smooth muscle tone. *Am. J. Physiol.* 259:3-18.
34. OLSCHESKI, A.; HONG, Z.; NELSON, D.P.; WEIR, E.K. 2002. Graded response of K^+ current, membrane potential, and $[Ca^{2+}]_i$ to hypoxia in pulmonary arterial smooth muscle. *Am. J. Physiol.* 283:L1143-L1150.
35. PAASCH, L. 1991. Desarrollo de algunas investigaciones sobre el síndrome ascítico en México. *Ciencia Vet.* 5:1-11.
36. PALMA-AGUIRRE, J.A.; CASTAÑEDA-HERNÁNDEZ, G.; CHÁVEZ-NEGRETTE, A.; PONCE-MONTER, H. 1999. Nifedipina. Farmacocinética e indicaciones terapéuticas. *Rev. Med. IMSS. (México)*. 37:47-58.
37. PAN, J.Q.; TAN, X.; LI, J.C.; SUN, W.D.; WANG, X.L. 2005. Effect of early feed restriction and cold temperature on lipid peroxidation, pulmonary vascular remodeling and ascites morbidity in broilers under normal and cold temperature. *Br. Poult. Sci.* 46:374-381.
38. PAVLIDIS, H.O.; BALOG, J.M.; STAMPS, L.K.; HUGHES Jr, J.D.; HUFF, W.E.; ANTHONY, N.B. 2007. Divergent selection for ascites incidence in chickens. *Poult. Sci.* 86:2517-2529.
39. POELAERT, J.; ROOSENS, C. 2000. Perioperative use of dihydropyridine calcium channel blockers. *Acta Anaesthesiol Scand.* 44:528-535.
40. ROTH, M.; EICKELBERG, O.; KÖHLER, E.; ERNE, P.; BLOCK, L.H. 1996. Ca^{2+} channel blockers modulate metabolism of collagens within the extracellular matrix. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 93:5478-5482.
41. SAKAO, S.; TANABE, N.; KASAHARA, Y.; TATSUMI, K. 2012. Survival of Japanese patients with pulmonary arterial hypertension after the introduction of endothelin receptor antagonists and/or phosphodiesterase type-5 inhibitors. *Intern. Med. (Japan)*. 51:2721-2726.
42. SCHWARTZ, B.G.; JACKSON, G.; STECHER, V.J.; CAMPOLI-RICHARDS, D.M.; KLONER, R.A. 2013. Phosphodiesterase type 5 inhibitors improve endothelial function and may benefit cardiovascular conditions. *Am. J. Med. (USA)*. 126(3):192-199.
43. SCOTLAND, R.S.; CHAIHAN, S.; VALLANCE, P.J.; AHLUWALIA, A. 2001. An endothelium derived hyperpolarizing factor-like factor moderates myogenic constriction of mesenteric resistance arteries in the absence of endothelial nitric oxide synthase-derived nitric oxide. *Hypertension. (USA)*. 38:833-839.
44. SOE, N.N.; ISHIDA, T.; ISHIDA, M.; SAWANO, M.; ABE, K.; MIHO, N.; CHAYAMA, K.; KIHARA, Y.; YOSHIZUMI, M. 2009. Nifedipine interferes with migration of vascular smooth muscle cells via inhibition of Pyk2-src axis. *J. Atheroscl. Thromb. (Japan)*. 16(3):230-238.

45. SOMMER, N.; DIETRICH, A.; SCHERMÜLY, R.T.; GHOFrani, H.A.; GÜDERMANN, T.; SCHULZ, R.; SEEGER, W.; GRIMMINGER, F.; WEISSMAN, N. 2008. Regulation of hypoxic pulmonary vasoconstriction: Basic mechanisms. *Eur. Respir. J.* 32(6):1639-1651.
46. STENMARK, K.R.; DAVIE, N.; FRID, M.; GERASIMOVSKAYA, E.; DAS, M. 2006. Role of the adventitia in pulmonary vascular remodeling. *Physiology*. (Bethesda). (USA). 21:134-145.
47. STEPIEN, O.; GOSUSEV, J.; ZHU, D.; IOUZALEN, L.; HEREMBERT, T.; DRUEKE, T.B.; MARCHE, P. 1998. Amlodipine inhibition of serum-, thrombin- or fibroblast growth factor-induced vascular smooth muscle cell proliferation. *J. Cardiovasc. Pharmacol.* (USA). 31:786-793.
48. SUDANO, I.; VIRDIS, A.; TADDEI, S.; SPIEKER, L.; CORTI, R.; NOLL, G.; SALVETTI, A.; LUSCHER, T.F. 2007. Chronic treatment with long-acting nifedipine reduces vasoconstriction to endothelin-1 in essential hypertension. *Hypertension*. (USA). 49:285-290.
49. SUN, M.; ZHANG, J.; DONG, S.; OUI, D.; QIAO, J. 2007. Effect of Two Calcium Antagonists on PHS in Broiler. *J. Anhui Agr. Sci.* (China). (11): 3274-3275.
50. TAN, X.; LIU, Y.-J.; LI, J.-CH.; PAN, J.-Q.; SUN, W.-D.; WANG, X.-L. 2005. Activation of PKC α and pulmonary vascular remodeling in broilers. *Res. Vet. Sci.* 79(2):131-137.
51. TUCKER, A.; MCMURTY, I.F.; REEVES, J.T.; ALEXANDER, A.F.; WILL, D.H.; GROVER, R.F. 1975. Lung vascular smooth muscle as a determinant of pulmonary hypertension at high altitude. *Am. J. Physiol.* 228:762-767.
52. URBAITYTE, R. 2008. Como mitigar la ascitis en las parvadas de pollo de engorda. *Industria Avícola*. (USA). 55 (12):18-19.
53. VÁSQUEZ, I.C.; HERNÁNDEZ, A. 2012. Hipertensión pulmonar en pollos, lapso de exposición a la hipoxia hipobárica y relación peso pulmonar: peso corporal, bajo condiciones de temperatura controlada. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 25:81-89.
54. WIDEMAN, R.F. 2000. Cardio-pulmonary hemodynamics and ascites in broiler chickens. *Avian Poultry. Biol. Rev.* (UK). 11(1):21-43.
55. WIDEMAN, R.F., HAMAL, K.R. 2011. Idiopathic Pulmonary Arterial Hypertension. An Avian Model for Plexogenic Arteriopathy and Serotonergic Vasoconstriction. *J. Pharmacol. Toxicol. Methods*. (UK). 63:283-295.
56. YAMAKAGE, M.; NAMIKI, A. 2002. Calcium channels-basic aspects of their structure, function and gene encoding; anesthetic action on the channels- a review. *Can. J. Anesth.* (Canada). 49:151-164.
57. YANG, Y.; GAO, M.; GUO, Y.; QIAO, J. 2010. Calcium antagonists, diltiazem and nifedipine, protect broilers against low temperature-induced pulmonary hypertension and pulmonary vascular remodeling. *Anim. Sci. J.* (Japan). 81(4):494-500.
58. ZHANG, H.; WU, C.X.; CHAMBA, Y.; LING, Y. 2007. Blood characteristics for high altitude adaptation in Tibetan chickens. *Poult. Sci.* 86:1384-1389.
59. ZHANG, H.-L.; LIU, Z.-H.; WANG, Y.; XIONG, CH.-M.; NI, X.-H.; HE, J.-G.; LUO, Q.; ZHAO, Z.-H.; ZHAO, Q.; SUN, X.-G. 2012. Acute responses to inhalation of iloprost in patients with pulmonary hypertension. *Chin. Med. J.* 125(16):2826-2831.

Recibido: Enero 16 de 2012

Aceptado: Julio 30 de 2013

Como citar:

Rincón, R.; Moreno, M.; Orozco, C.; Hernández, A. 2013. Nifedipina, incidencia de hipertensión pulmonar hipóxica y engrosamiento muscular de arteriolas en pollos de engorde. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 435-444.

EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD DEL SEMEN CRIOPRESERVADO DE CABALLOS CRIOLLO COLOMBIANO POR UN SISTEMA ANALIZADOR DE CLASE

ASSESSMENT OF CRYOPRESERVED SPERM MOTILITY FROM COLOMBIAN CREOLE STALLIONS BY SPERM CLASS ANALYZER

Giovanni Restrepo¹, Daniel Ocampo², Andrés Velásquez³

¹Médico Veterinario, cPhD. Facultad de Ciencias Agrarias. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Carrera 48 N° 7-151 Of. P19-117. Medellín, Colombia. E-mail: grestrepo@elpoli.edu.co; ²Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agrarias. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Transversal 27 A sur N° 42-46. Antioquia, Colombia. E-mail: danielocampo86261@elpoli.edu.co; ³Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agrarias. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Carrera 54 A N° 75 Sur 10. Antioquia, Colombia. E-mail: andres_velasquez86103@elpoli.edu.co

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 16(2): 445-450, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La reproducción juega un papel fundamental en el mejoramiento genético de los equinos. La criopreservación del semen equino es una técnica complementaria a los procesos de biotecnología reproductiva; sin embargo, solamente el 40% de los caballos producen semen que se puede criopreservar, con una alta variabilidad en su fertilidad. La confiabilidad de los métodos de evaluación del semen es trascendente para determinar su fertilidad potencial; no obstante, el análisis convencional por evaluación microscópica ha sido poco efectivo, en este sentido. El análisis de semen asistido por computador (CASA) permite una medición objetiva de la movilidad de semen. Esta investigación tuvo como objetivo comparar la evaluación de la movilidad del semen equino, mediante los métodos convencional y SCA[®] (CASA). El semen de tres caballos de la raza criollo colombiano (tres eyaculados cada uno) fue congelado, en un diluyente (4% de yema de huevo, 5% de dimetilformamida). La movilidad del semen descongelado, se determinó de forma convencional por microscopia de contraste de fase y mediante el software SCA[®]. Para el análisis estadístico, se ajustó un modelo lineal generalizado (GLM) y se determinó la asociación entre las variables, a través de análisis de correlación y regresión. Se hallaron promedios de movilidad total de $54,3 \pm 10,1$ y $61,8 \pm 13,9$, para evaluación convencional y por el sistema SCA[®], respectivamente. No se encontró diferencia significativa entre los métodos de análisis. Se concluye que el análisis de semen equino, mediante el método convencional y el sistema

SCA[®], es equiparable, para analizar la movilidad del semen equino criopreservado.

Palabras clave: Biotecnología, fertilidad, movilidad espermática, CASA.

SUMMARY

Reproduction plays a key role in the genetic improvement of horses. Equine semen cryopreservation is a complementary technique to reproductive biotechnology processes. However, only 40% of the horses produce semen with a high variability in fertility that can be cryopreserved. The reliability of methods of semen evaluation is important to determine their fertility potential, however the conventional analysis by microscopic evaluation has not been very effective in this regard. Computer-assisted semen analysis (CASA) provides an objective measurement of sperm motility. This study aimed to compare the evaluation of equine sperm motility through conventional and SCA[®] (CASA) methods. Semen of three horses of the Colombian creole breed (three ejaculates each) was frozen in extender (4% egg yolk, 5% dimethylformamide). Thawed sperm motility was conventionally determined by phase contrast microscopy and by SCA[®] software. For statistical analysis a generalized linear model (GLM) was fitted and the association between variables, using correlation and regression analysis, was determined. An average of total motility of $54.3\% \pm 10.1\%$ and $61.8\% \pm 13.9\%$ for conventional and SCA[®] evaluation,

respectively, was detected.. No significant difference was observed between the methods of analysis. It is concluded that equine semen analysis by conventional method and SCA[®] system is comparable for analyzing the motility of cryopreserved equine semen.

Key words: Biotechnology, fertility, sperm motility, CASA.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la especie equina es cada día más importante, debido a su amplia participación en el trabajo, en actividades deportivas y de exposición, de acuerdo a los diferentes andares. La reproducción juega un papel fundamental en el mejoramiento genético de dicha especie, por lo cual, la posibilidad de disponer de material seminal de excelente calidad para procedimientos, como la inseminación artificial, permite alcanzar altos estándares de eficiencia reproductiva.

La criopreservación es una técnica de gran importancia para la industria equina, ya que favorece el transporte y el almacenamiento de semen a largo plazo (Loomis & Graham, 2008). Tradicionalmente, la evaluación del semen se ha basado en el trabajo manual de personas que, debido a su capacitación y su experiencia, han obtenido resultados prácticos y satisfactorios (Stephens *et al.* 1988). Con el fin de predecir la fertilidad del semen equino, el análisis de rutina es basado en la evaluación macroscópica-física del eyaculado y en la evaluación por microscopía de los espermatozoides (Pesch *et al.* 2006); sin embargo, el análisis convencional ha sido poco efectivo en la predicción de la fertilidad del semen (Kuisma *et al.* 2006).

El análisis de semen asistido por computador (CASA) ha permitido una medición objetiva de muchos parámetros de la movilidad y la morfología de semen, ofreciendo mediciones más confiables, imparciales y repetibles, respecto al examen visual (Magistrini *et al.* 1996; Colenbrander *et al.* 2003; Graham & Mocé, 2005). Mediante sistemas CASA, se ha encontrado una mayor asociación entre la movilidad y la fertilidad, medida a través de parámetros, como la tasa de preñez estacional, el porcentaje de preñez por ciclo y el porcentaje de preñez al primer ciclo (Love, 2011).

La aplicación práctica del sistema CASA, como parte del mejoramiento en la calidad de los análisis del semen del caballo, se ha visto limitada por aspectos, como la carencia de valores estándar definidos, para lo que es normal y anormal en el movimiento del espermatozoide, al uso de referentes seleccionados sin criterios estadísticos y por la falta de implementación de una reglamentación internacional, para los ajustes del equipo (Katila, 2001; Quintero *et al.* 2003; Hoo-gewijs *et al.* 2011).

Con el avance tecnológico, se han mejorado los sistemas

CASA; un sistema reciente es el SCA[®] (Sperm Class Analyzer; Microptic S.L.), comparado en la evaluación de semen humano, con el sistema IVOS[®] y con la evaluación convencional manual no computarizada, encontrando resultados equiparables (Proctor *et al.* 2009). El sistema SCA[®] ha sido previamente empleado para la evaluación de semen equino (Hidalgo *et al.* 2005; Mesa & Henao, 2012); sin embargo, es necesario establecer la relación entre sus resultados y aquellos hallados de forma convencional.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la movilidad del semen de caballos de la raza criollo colombiano, mediante un sistema SCA[®] y compararlo con la evaluación microscópica convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de semen. El estudio, se desarrolló con tres ejemplares equinos de raza criollo colombiano, ubicados en el municipio de Girardota (Antioquia), sometidos a condiciones iguales de alimentación, ambiente, manejo general y reproductivo. Con una condición corporal de 6 a 7 (1-9). El procedimiento de recolección, se realizó utilizando una yegua y una vagina artificial modelo Missouri (Minitube), lubricada con gel no espermicida. La fracción en gel de cada eyaculado fue removida por filtración. Se recolectaron tres eyaculados por animal, con un periodo de descanso sexual máximo de ocho días.

Evaluación del semen fresco. A cada eyaculado recolectado, se le determinó la movilidad total, al promediar los porcentajes de movilidad de cinco diferentes campos de observación (400X), en un microscopio de contraste de fase (Nikon E200) y se determinó la concentración espermática por espectrofotometría (Spermacue[®], Minitube) (Jasco, 1992). Como criterios de selección, solamente se procesaron los eyaculados, con un mínimo de 60% de movilidad y una concentración mínima de 100 millones de espermatozoides por mL.

El semen recién recolectado fue mantenido a 37°C y diluido en proporción 1:1, en un diluyente a base de leche descremada precalentado y antibióticos (EquiPro[®], Minitube), a la misma temperatura; luego, el semen fue transportado en refrigeración a 5°C, al laboratorio de Biotecnología Animal.

Criopreservación del material seminal. La criopreservación del semen, se realizó por congelación rápida en vapores de nitrógeno, mediante un protocolo modificado del reportado por Bustamante *et al.* (2009). Para lo cual, el eyaculado fue centrifugado a 3000rpm por 15 minutos; luego, el precipitado fue suspendido en 2mL de diluyente de congelación, compuesto por diluyente base (EquiPro[®]) suplementado con 4% de yema de huevo y 5% de dimetilformamida (DMF). Posteriormente, el semen fue resuspendido en este mismo

medio, en cantidad suficiente, para una concentración final de 100 millones de espermatozoides/mL

El semen diluido se mantuvo en refrigeración a 4°C por 15 minutos y se empacó en pajillas de 0,5mL. Las pajillas fueron nuevamente refrigeradas a 4°C por 10 minutos y se sometieron a vapores de nitrógeno líquido, durante 15 minutos, al ser puestas horizontalmente a una distancia de 4cm de la superficie de este. Finalmente, se sumergieron en un tanque de almacenamiento de nitrógeno líquido a -196°C.

Evaluación del semen post descongelación. Después de mínimo una semana de almacenamiento del semen, se realizó la descongelación de pajillas, a 37°C por 60 segundos. La determinación de la movilidad espermática post-descongelación y sus parámetros, se realizó mediante dos métodos, desarrollados simultáneamente por los mismos técnicos evaluadores sobre cada pajilla descongelada. El primer método correspondió a la evaluación convencional, a través de microscopía de contraste de fase en cinco campos visuales diferentes (400X) y, el segundo, por medio de un sistema de análisis computarizado SCA®.

Para el análisis, mediante el sistema SCA®, se utilizó un procedimiento modificado del reportado por Hidalgo *et al.* (2005), para lo cual, se empleó un microscopio de contraste de fase (Nikon E200), con una cámara digital (Basler Scout SCA780), adaptada a un computador dotado del software SCA® Motility and Concentration (Microptic S.L.). Se estableció una configuración específica para el software de: cámara de cubreobjetos de 20mm por 20mm, óptica en lente de ph-, gota de 8µL especie caballo, platina térmica a 37°C y un tamaño de partícula de 20 a 72µm. La dilución del semen que se usó para el análisis fue de 1:0,5, empleando 500µL de semen en 250µL de citrato de sodio temperado a 37°C.

Se evaluaron los porcentajes de movilidad total y de movilidad progresiva, que se definieron en función de la velocidad curvilínea (VCL) de los espermatozoides y, a su vez, fueron clasificados, según diferentes patrones de movilidad (Miró *et al.* 2005). De igual forma, se analizaron los parámetros: velocidad curvilínea (VCL), velocidad rectilínea (VSL), velocidad media (VAP), índice de linealidad (LIN), índice de rectitud (STR), índice de oscilación (WOB) y los parámetros de angularidad y oscilación de la cabeza: amplitud del desplazamiento lateral de la cabeza (ALH) y frecuencia de batida (BCF) (Mortimer, 1997; Rodríguez *et al.* 2011).

Análisis estadístico. Se realizó un diseño completamente al azar y los datos fueron analizados, mediante un modelo lineal generalizado (GLM), para la variable dependiente movilidad total del semen descongelado. Las medias para cada método de evaluación (convencional y SCA®), se compararon por la prueba de Tukey.

El modelo empleado fue: $Y_{ijklm} = \mu + E_i + M_j + R_k + RM_l + e_{ijklm}$, donde:

Y_{ijklm} : Movilidad total

μ : Media común a todos los tratamientos

E_i : Efecto fijo del equino (i). ($i=1...3$)

M_j : Efecto fijo del método de evaluación (j). (j =Convencional, SCA®)

R_k : Efecto fijo de la pajilla (k). ($k=1...10$)

RM_l : Efecto fijo de la interacción de la pajilla por el método ($l=0...20$)

e_{ijklm} : Error aleatorio

Para determinar la asociación entre las variables movilidad total y movilidad progresiva evaluadas por el método SCA®, se realizó un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión, de acuerdo al modelo $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$. Mientras para determinar la asociación entre la movilidad total medida por los métodos incluidos en estudio (Convencional y SCA®), se efectuó un análisis de correlación de Spearman. Para todas las evaluaciones, se utilizó el programa SAS 9.2. Los resultados fueron expresados como la media \pm la desviación estándar ($\bar{x} \pm DE$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de movilidad total para el semen equino fresco fue de 83,3% \pm 7,6%. Lozano *et al.* (2011) reportaron movilidades de semen equino fresco entre el 60 y el 80%, mientras Candeias *et al.* (2012) hallaron un promedio de movilidad total de 83,5 \pm 8,1%, siendo, este último, un resultado bastante cercano, al hallado en esta investigación. Para el semen post-descongelación, se obtuvo una media para la movilidad total de 59,8 \pm 13,8%, con un coeficiente de variación de 15,4%. Se encontró un coeficiente de determinación (R^2) para el modelo ajustado de 0,73, con lo cual, se infiere que la variabilidad en la movilidad total estuvo explicada en una alta proporción por los efectos incluidos en el modelo. Entre los efectos considerados, el equino y el método de evaluación fueron significativos ($P \leq 0,05$), mientras la pajilla y la interacción entre la pajilla y el método, no fueron significativos ($P \leq 0,05$). Esto muestra la importancia del equino respecto a la variabilidad en la movilidad total, así como del método, por el cual, fue evaluada la movilidad de las muestras de semen. Un total de 30 pajillas de semen equino fueron descongeladas y evaluadas mediante el sistema SCA®. Los resultados para los diferentes parámetros evaluados se presentan en la tabla 1.

Lozano *et al.* (2011) evaluaron, mediante un sistema CASA, la movilidad de semen equino criopreservado, encontrando valores de movilidad total y movilidad progresiva post-des-

congelación, de $68,4 \pm 5,8$ y $31 \pm 5,5$, respectivamente, siendo estos valores muy similares a los hallados en esta investigación. En otros estudios, mediante la evaluación se-

Tabla 1. Resultados de evaluación por un sistema SCA[®] de la movilidad de semen equino criopreservado.

Parámetro	Media	Desviación estándar
MT (%)	61,8	13,9
MP (%)	25,5	15,4
Rápidos (%)	16,7	15,1
Medios (%)	11,3	4,3
Lentos (%)	33,4	9,2
Inmóviles (%)	38,4	13,7
VCL ($\mu\text{m/s}$)	55,2	19,9
VSL ($\mu\text{m/s}$)	36,5	18,3
VAP ($\mu\text{m/s}$)	44,6	21,5
LIN (%)	63	10,7
STR (%)	80,8	4,9
ALH (μm)	2,3	0,4
BCF (Hz)	9,1	1,6

MT: movilidad total; MP: movilidad progresiva; VCL: velocidad curvilínea; VSL: velocidad rectilínea; VAP: velocidad media; LIN: índice de linealidad; STR: índice de rectitud; ALH: amplitud del desplazamiento lateral de la cabeza; BCF: frecuencia de batida.

minal con sistemas CASA y con el uso del mismo crioprotector que en esta investigación (DMF), se han registrado resultados post-descongelación de movilidad total de 52,3% (Medeiros *et al.* 2002) y 90,3% (Mesa & Henao, 2012) y, de movilidad progresiva, de 12,6% (Medeiros *et al.* 2002) y $43,4\% \pm 24,8\%$ (Hoffmann *et al.* 2011). La existencia de diferencias marcadas en los resultados entre los estudios de la movilidad espermática podría ser debida al uso de diferentes protocolos de criopreservación y concentración de crioprotectores, al origen y la raza de los animales incluidos en los estudios e, incluso, a la calidad del semen sometido a la criopreservación, esta última, ligada a alta variabilidad existente, entre los reproductores y entre los eyaculados, de un mismo reproductor (Hoffmann *et al.* 2011).

Por otra parte, los resultados encontrados mediante el sistema SCA[®], para los parámetros que evalúan la velocidad de los espermatozoides (Tabla 1), fueron mayores a los reportados por Rodríguez *et al.* (2011), quienes hallaron promedios de VCL ($\mu\text{m/s}$), VAP ($\mu\text{m/s}$) y VSL ($\mu\text{m/s}$) de $40,3 \pm 5,5$, $21,7 \pm 2,8$ y $15,6 \pm 2,6$; $35,0 \pm 9,6$, $18,9 \pm 4,9$ y $13,6 \pm 4,7$; $32,5 \pm 6,7$, $17,5 \pm 3,5$ y $12,9 \pm 3,3$; para semen congelado con los diluyentes Caceres1, Gent[®] e INRA96[®], respectiva-

mente. Mientras que fueron inferiores a los reportados por Candeias *et al.* (2012), quienes encontraron valores de VCL ($\mu\text{m/s}$), VAP ($\mu\text{m/s}$) y VSL ($\mu\text{m/s}$), de $121,1 \pm 60,6$, $63,8 \pm 29,4$ y $50,31 \pm 22,2$.

Son escasos los reportes de evaluación del semen de caballos de la raza criollo colombiano mediante un sistema SCA[®]. Mesa & Henao (2012), empleando dicho sistema y el crioprotector DMF, hallaron un valor de movilidad total post-descongelación muy superior al reportado en esta investigación (90,3% vs. 61,8); mientras el porcentaje de movilidad progresiva observado por dichos autores, fue cercano al hallado en este trabajo (30,18% vs. 25,5).

El coeficiente de correlación (Pearson) entre la movilidad total y la movilidad progresiva para la evaluación seminal en el método SCA[®] fue de 0,78, lo que demuestra un alto nivel de asociación (0,7-1,0), entre ambos tipos de movilidad. El coeficiente de regresión fue de 0,71, con un coeficiente de determinación de 0,61, para el modelo de regresión, a partir de lo cual, se infiere que se presentó un incremento de 0,71% en la movilidad total, por cada unidad de incremento en la movilidad progresiva.

De otro lado, el coeficiente de correlación (Spearman) encontrado entre los métodos de evaluación de la movilidad total (microscópica convencional y SCA®) fue de 0,65, demostrando una asociación media-alta (0,4-0,69), entre los mismos. Adicionalmente, no se halló diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre las medias de movilidad de ambos métodos (Tabla 2), con lo cual, se deduce que son igualmente apro-

piados y válidos para la determinación de la movilidad total del semen equino criopreservado.

Se concluye, que el análisis de la movilidad total post-descongelación de semen equino mediante microscópica convencional es equiparable, bajo las condiciones de este estudio, al realizado mediante el sistema SCA®.

Tabla 2. Movilidad total post-descongelación evaluada por los métodos convencional y SCA®.

Método	Número de repeticiones	Media (%) [*]	Desviación estándar (%)
Convencional	23	54,3 ^a	10,1
SCA®	30	61,8 ^a	13,9

^{*}Las letras iguales indican la no existencia de diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Conflicto de intereses: Este manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- BUSTAMANTE, I.; PEDERZOLLI, C.; SGARAVATTI, A.; GREGORY, R.; DUTRA, C.; JOBIM, M.; MATTOS, R. 2009. Skim milk-egg yolk based semen extender compensates for non-enzymatic antioxidant activity loss during equine semen cryopreservation. *Anim. Reprod.* 6(2):392-399.
- CANDEIAS, M.; ALVARENGA, M.; TEORO DO CARMO, M.; NUNES, H.; RUSSO, M.; TORRES, R.; RIOS, A.; ZANDONADI, F. 2012. Semen cryopreservation protocols of Mangalarga Marchador stallions. *Rev. Bras. Zootec.* 41(9):1989-1995.
- COLENBRANDER, B.; GADELLA, B.; STOUT, T. 2003. The predictive value of semen analysis in the evaluation of the stallion fertility. *Reprod. Dom. Anim.* 38(4):305-311.
- GRAHAM, J.; MOCÉ, E. 2005. Fertility evaluation of frozen/thawed semen. *Theriogenology.* 64:492-504.
- HIDALGO, M.; RODRÍGUEZ, I.; DORADO, J.; SÁNZ, J.; SOLER, C. 2005. Effect of sample size and staining methods on stallion sperm morphometry by the Sperm Class Analyzer. *Vet. Med. Czech.* 50(1):24-32.
- HOFFMANN, N.; OLDENHOF, H.; MORANDINI, C.; ROHN, K.; SIEME, H. 2011. Optimal concentrations of cryoprotective agents for semen from stallions that are classified 'good' or 'poor' for freezing. *Anim. Reprod. Sci.* 125:112-118.
- HOOGEWIJS, M.; DE VliegHER, S.; DE SCHAUWER, C.; GOVAERE, J.; SMITS, K.; HOFACK, G.; DE KRUIF, A.; VAN SOOM, A. 2011. Validation and usefulness of the Sperm Quality Analyzer V equine for equine semen analysis. *Theriogenology.* 75:189-194.
- JASCO, D. 1992. Evaluation of stallion semen. *Vet. Clin. North. Am. Equine Pract.* 8(1):129-48.
- KATILA, T. 2001. In vitro evaluation of frozen-thawed stallion semen: A review. *Acta Vet. Scand.* 42(2):199-217.
- KUISMA, P.; ANDERSSON, M.; KOSKINEN, E.; KATILA, T. 2006. Fertility of frozen-thawed stallion semen cannot be predicted by the currently used laboratory methods. *Acta Vet. Scand.* 48:14.
- LOZANO, D.; GIL, L.; ÁLVAREZ, C. 2011. Efecto de la adición de plasma seminal en el semen equino descongelado. *Sanidad Militar* 67(3):284-290.
- LOOMIS, P.R.; GRAHAM, J.K. 2008. Commercial semen freezing: individual male variation in cryosurvival and the response of stallion sperm to customized freezing protocols. *Anim. Reprod. Sci.* 105:119-128.
- LOVE, C. 2011. Relationship between sperm motility, morphology and the fertility of stallions. *Theriogenology.* 76(3):547-557.

14. MAGISTRINI, M.; VIDAMENT, M.; CLEMENET, F. 1996. Fertility prediction in stallions. *Anim. Reprod. Sci.* 42:181-188.
15. MEDEIROS, A.; GOMES, G.; CARMO, M.; PAPA, F.; ALVARENGA, M. 2002. Cryopreservation of stallion sperm using different amides. *Theriogenology.* 58:273-276.
16. MESA, A.; HENAO, G. 2012. Efecto del colesterol y la dimetilformamida sobre parámetros posdescongelación en espermatozoides de caballos criollos colombianos. *Rev. MVZ Córdoba.* 17(1):2908-2815.
17. MIRÓ, J.; LOBO, V.; QUINTERO-MORENO, A.; MEDRANO, A.; PEÑA, A.; RIGAU, T. 2005. Sperm motility patterns and metabolism in Catalanian donkey semen. *Theriogenology* 63:1706-1716.
18. MORTIMER, S. 1997. A critical review of the physiological importance and analysis of sperm movement in mammals. *Hum. Reprod. Update.* 3:403-439.
19. PESCH, S.; BOSTEDT, H.; FAILING, K.; BERGMANN, M. 2006. Advanced fertility diagnosis in stallion semen using transmission electron microscopy. *Anim. Reprod. Sci.* 91:285-298.
20. PROCTOR, J.; BOONE, W.; HIGDON, H. 2009. Comparison of the manual IVOS and SCA methods for semen analysis reporting. *J. Clin. Embryol.* 12(4):5-7.
21. QUINTERO, A.; MIRÓ, J.; RIGAU, A.; RODRÍGUEZ, J. 2003. Identification of sperm subpopulations with specific motility characteristics in stallion ejaculates. *Theriogenology.* 59:1973-1990.
22. RODRÍGUEZ, A.M.; FERRUSOLA, C.O.; GARCÍA, B.M.; MORRELL, J.M.; TAPIA, J.A.; PEÑA, J.F. 2011. Freezing stallion semen with the new Cáceres extender improves post thaw sperm quality and diminishes stallion-to-stallion variability. *Anim. Reprod. Sci.* 27(1-2):78-83.
23. STEPHENS, D.T.; HICKMAN, R.; HOSKINS, D.D. 1988. Description, validation and performance characteristics of a new computer-automated sperm motility analysis system. *Biol. Reprod.* 38:577-586.

Recibido: Noviembre 21 de 2012

Aceptado: Julio 10 de 2013

Como citar:

Restrepo, G.; Ocampo, D.; Velásquez, A. 2013. Evaluación de la movilidad del semen criopreservado de caballos criollo colombiano por un sistema analizador de clase. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 445-450.

FRECUENCIA DE *Babesia* spp. EN CABALLOS DE MONTERÍA, CÓRDOBA (COLOMBIA)

FREQUENCY OF *Babesia* spp. IN HORSES OF MONTERIA, CORDOBA (COLOMBIA)

Alfonso Calderón¹, José Cardona², Óscar Vergara³

¹ MVZ, M.Sc. Profesor Titular Universidad de Córdoba, Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico. Sede Berástegui, km 26 vía Ciénaga de Oro. Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: alcaran1@yahoo.com; ² Profesor de Medicina y Clínica de Grandes Animales, Semillero de Estudios e Investigaciones en Medicina de Grandes Animales, Grupo MEGA, Departamento de Ciencias Pecuarias, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Estudiante de Doctorado en Medicina Veterinaria, Universidad Federal de Viçosa y Bolsista do Programa Estudantes-Convênio de Pós-Graduação – PEC-PG, da CAPES/CNPq, Brasil. E-mail: cardonalvarez@hotmail.com; ³ Zoot. Dr. Sci. Profesor Asistente Universidad de Córdoba, Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia. Grupo Producción Animal Tropical, e-mail: overgara@correo.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 451-458, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La Babesiosis equina o piroplasmosis equina, enfermedad que se transmite a los caballos por las garrapatas, es la principal restricción internacional para la movilización de los equinos. Es producida por los protozoos *Theileria equi* y *Babesia caballi*. Además de los caballos, afecta a mulas, asnos y cebras. Por medio de muestreo por conveniencia, se implementó un estudio transversal, donde se seleccionaron seis pesebreras en Montería (Córdoba), en las que se recolectaron 126 muestras de sangre de equinos (*Equus ferus caballus*), en que se determinó el hematocrito y se colorearon, mediante tinción de Wright, para determinar la frecuencia de Babesiosis. El 18,25% de las muestras fueron positivas a *Babesia* spp. Se analizaron diferentes variables, como sistema de alimentación, edad, sexo, color y raza, para ser relacionadas con la frecuencia de *Babesia* spp. en equinos. La media general del hematocrito (Hto) fue $34,2\% \pm 6,2$, con un intervalo de confianza (95%) de 33,1 a 35,2%. Para los equinos negativos, el promedio del Hto fue del $34,5\% \pm 5,2$ y, de los positivos, del $32,9 \pm 9,4\%$; no se encontraron diferencias significativas entre estos promedios. Se determinó que en los diferentes sistemas de manejo de los equinos en la ciudad de Montería, se presentaron casos de babesiosis equina y se hace necesario implementar un programa integral de control de vectores.

Palabras clave: Equinos, infección, piroplasmosis, tinción de Wright.

SUMMARY

Equine babesiosis or equine piroplasmosis, disease transmitted to horses by ticks, is the main restriction of international horse mobilization. It is produced by the protozoa *Babesia caballi* or *Theileria equi*, which besides horses, affect mules, donkeys and zebras. Through a convenience sample, a cross sectional study was implemented and six stables in Montería (Cordoba) were selected, taking 126 blood samples of horses (*Equus ferus caballus*), in which by hematocrit and staining by Wright's stain the frequency of babesiosis was determined. A 18.25% of the samples were positive for *Babesia* spp. Different variables such as feeding system, age, sex, color and race were analyzed and related to the frequency of positive *Babesia* spp. in horses. The general average of hematocrit was $34.2 \pm 6.2\%$ with a confidence interval (95%) of 33.1 at 35.2%. For seronegatives horses the average of the hematocrit was $34.5 \pm 5.2\%$ and for seropositive horses $32.9 \pm 9.4\%$; no significant difference was found between these averages. It was determined that in the different horse management systems in Montería cases of equine babesiosis are present and the need of a comprehensive vector control program has to be implemented.

Key words: Equines, infection, piroplasmosis, Wright's stain.

INTRODUCCIÓN

La Babesiosis equina (BE) o piroplasmosis equina es causada por los protozoos intraeritrocitarios *Theileria equi* y *Babesia caballi* y pertenecen al filo Apicomplexa y la orden

Piroplasmida (APHIS, 2008; Pitel *et al.* 2010). La *Babesia equi* fue reclasificada como *Th. equi*, en 1998 (Mehlhorn & Schein, 1998). Estos protozoos afectan a caballos, mulas, asnos y cebras (Baldani *et al.* 2007; APHIS, 2008) y son la principal restricción internacional para la movilización de los equinos (APHIS, 2008).

La transmisión de los protozoos, se produce a través de la picadura (inoculación de esporozoitos) en caballos por un vector (garrapata), que se infectan al ingerir sangre de otros équidos infectados o enfermos de piroplasmosis. Los géneros de las garrapatas: *Dermacentor*, *Hyalomma* y *Rhipicephalus* pueden ser vectores y se desconoce su rol epidemiológico (Hunfeld *et al.* 2008; APHIS, 2008). Infección por *Th. equi*, se comprobó en caballos, donde se excluyó diseminación, a partir de la *Dermacentor variabilis* y se sugirió que el uso compartido de agujas en las transfusiones de sangre puede ser un factor de riesgo de la transmisión (Corto *et al.* 2012).

Los signos clínicos de BE son variables e inespecíficos. *Th. equi* produce una forma clínica más grave que la *B. caballi* (CFSPH, 2008), pero incluyen, para ambos protozoos, fiebre, anemia, retardo en el crecimiento, ictericia, emaciación, aumento de las frecuencias cardíacas y respiratorias, cólico, edema en los miembros, hemorragias petequiales en mucosas y, dependiendo de la forma clínica (hiperaguda, aguda o crónica), puede haber signos neurológicos. La lisis intravascular de los eritrocitos produce hemoglobinemia, hiperbilirubinemia, hemoglobinuria (DAFF, 2008; CFSPH, 2008; Rashid *et al.* 2009).

La Babesiosis es endémica en regiones tropicales y subtropicales (Ikadai *et al.* 1999; Aguirre *et al.* 2004; Mantran *et al.* 2004), como África, Medio Oriente, Asia, América Central y Suramérica, el Caribe (incluso en Puerto Rico), Europa oriental y del sur (Mantran *et al.* 2004; CFSPH, 2008; APHIS 2008). En áreas templadas no es común su presencia (Mantran *et al.* 2004), pero se han presentado episodios por el incremento en el transporte de los equinos desde las zonas endémicas (Sigg *et al.* 2010); por ejemplo, Butler *et al.* (2012), en Schouwen-Duiveland (isla de la provincia de Zeeland, Holanda), confirmaron transmisión autóctona de *B. caballi* y *Th. equi* en dos casos agudos y en el 4% de una muestra de 300 equinos fueron seropositivos para piroplasmosis y concluyen que la presencia de *Dermacentor reticulatus*, más la importación sin restricciones de zonas endémicas de caballos, fueron las causas de los casos clínicos y de los anticuerpos detectados (Nijhof *et al.* 2007). Igualmente, Sigg *et al.* (2010) encontraron una mayor seroprevalencia en caballos importados de Francia, de España y de Portugal, en comparación con caballos nacidos en Suiza.

Esta patología no es endémica en Estados Unidos, porque

las especies de garrapatas no portan estos parásitos. Igual situación se presenta en Australia, en Canadá, en Inglaterra, en Islandia, en Irlanda y en Japón (Mantran *et al.* 2004; CFSPH, 2008; APHIS, 2008). El objetivo fue determinar la frecuencia de *Babesia* spp. en equinos (*E. ferus caballus*) de Montería (Córdoba), para implementar más programas de control integral de los vectores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio: Correspondió a un estudio descriptivo, de corte transversal.

Zona de estudio: Las muestras, se tomaron en Montería, capital del departamento de Córdoba, localizada a los 8° 46' 15" N, 75° 51' 31" O, con una altura de 18 m.s.n.m., con una humedad relativa del 85% y una temperatura promedio de 28°C.

Selección de la muestra: Por medio de un muestreo por conveniencia, se seleccionaron seis pesebreras, con diferentes sistemas de producción; donde los propietarios y los administradores facilitaron el acceso y los registros de los equinos; la población de estas pesebreras fue 126 ejemplares.

Toma de las muestras: Previa sujeción de los equinos, se tomó una muestra de sangre de 3 ml de la vena transversal facial (Kemble, 1994), en un tubo vacutainer de plástico al vacío, impregnado en su interior de silicona y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) pulverizado. Cada muestra, se rotuló y se conservó en refrigeración a 4°C, en una nevera de poliestireno.

Las muestras, se procesaron en el Laboratorio Clínico de la Clínica Julio E. Cuervo de la Universidad de Córdoba, sede Berástegui, donde se les determinó el volumen globular agregado (VGA) o hematocrito (Hto) y la tinción de Wright, con el fin de observar el agente etiológico.

La tinción de Wright, se hizo mediante una pequeña gota de sangre que se depositó con una pipeta Pasteur en una lámina portaobjetos y se expandió con un cubreobjetos, con una inclinación de 45°; el extendido se secó y después se aplicó una solución de colorante de Wright por toda la lámina durante 2 minutos; luego, se colocaron 2 o 3 gotas de agua destilada, se sopló hasta que la placa cambió el color tornasol, se dejó en reposo durante 2 minutos, se enjuagó con agua corriente y se procedió a la lectura en un microscopio de luz con el objetivo de 100X, para visualizar el agente etiológico.

La determinación del hematocrito, se hizo mediante un tubo capilar heparinizado (tubo de hematocrito), con aproximadamente un 80% del volumen del capilar con sangre; se evitó

la formación de burbujas de aire en el interior del capilar; un extremo se selló con plastilina y el capilar se ubicó en la plataforma de la microcentrífuga, durante 5 minutos, a 10.000rpm. Luego, el capilar se colocó en una tabla de hematocrito graduada, donde el nivel inferior del tubo coincidió con el nivel de la línea horizontal correspondiente a cero; la lectura del hematocrito correspondió a la altura de la separación de la sangre y el plasma que se leyó en una tabla para hematocrito a graduada.

Análisis estadístico: Se elaboró una base de datos en formato Excel, donde se consignó información de las variables de los equinos evaluados y los resultados obtenidos en el laboratorio. Se usó Chi-cuadrado, con el objeto de determinar si las variables sexo, edad, raza, sistema de producción (estabulado, semi estabulado o potrero) eran independientes de la frecuencia de babesia. Los análisis, se realizaron mediante el software SAS.

Aspectos éticos: El Comité de Ética del Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico (IIBT) de la Universidad de Córdoba, clasificó este estudio de bajo riesgo. Las muestras fueron tomadas por estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, supervisados por uno de los autores, quienes tuvieron en cuenta, para los procedimientos de toma de muestra, de manejo y de conservación, las normas éticas, técnicas, científicas y administrativas para la investigación en animales, según lo mencionado en la ley 84 (Congreso Nacional de Colombia, 1989) y lo referido por Mrad (2006). Se mantuvo la confidencialidad de la información de predios muestreados y de animales seropositivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población de caballos fue de 126 individuos, donde el 58,73% (74/126) fueron machos y el 41,27 (52/125) hembras. De acuerdo al sistema de producción, el 69,84% (88/126), se clasificó como estabulados; el 12,69% (16/126), semi-estabulados y el 17,47% (22/126), permanecieron todo el tiempo en potrero.

Mediante la tinción de Wright, la frecuencia de *Babesia* spp. fue del 18,25% (23/126). Menores valores absolutos han sido reportados por De Vera *et al.* (2006), en dos hipódromos en Venezuela (seroprevalencia 13,1%), mediante inmunofluorescencia indirecta (IFI) y donde este menor valor se atribuyó a los mayores cuidados veterinarios en los hipódromos y por Castellanos *et al.* (2010), en equinos criollos del estado Apure (prevalencia del *Trypanosoma evansi* del 7,3%, para *B. equi* 1,4%), usando una técnica muy similar a la del actual estudio y donde no se incluyeron equinos estabulados y semi-estabulados.

Seroprevalencias más altas para *Th. equi* y *B. caballi* en

comparación con el menor valor absoluto al del presente estudio, han sido reportadas en otros países (Tabla 1). Estas diferencias pueden ser ocasionadas por el uso de técnicas indirectas, que detectan la presencia de anticuerpos, que indican infección activa o infecciones pasadas, a diferencia del presente estudio, donde se implementó una técnica directa que muestra infección activa.

No se encontró efecto significativo ($p > 0,05$) del tipo de producción, respecto a la frecuencia de babesia. Al discriminar la frecuencia por tipo de producción, se encontró que el 10,32% (13/126) fueron equinos estabulados; el 4,76% (6/126), semi-estabulados y el 3,17% (4/126), de potrero. Guillén *et al.* (2001), en Aragua (Venezuela), no encontraron diferencias significativas entre el tipo de producción, debido a que se limitó la transmisión por el control de vectores. Botteon *et al.* (2002), en Brasil, hallaron una menor seroprevalencia, posiblemente, al interés en mantener a los equinos seronegativos, con perspectivas de exportación y para la participación en eventos deportivos internacionales. García *et al.* (2013) determinaron, como factor de riesgo asociado a una mayor seroprevalencia de *Th. equi*, la presencia de garrapatas y Peckle *et al.* (2013), en Rio de Janeiro (Brasil), determinaron que la presencia de *A. cajennense* fue un factor de riesgo (OR= 4,1; IC=1,8 a 9,1), la seroprevalencia para *Th. equi* fue del 81% y concluyeron que *A. cajennense* es un vector biológico para *Th. equi*.

Respecto al sexo, la frecuencia de babesia fue independiente ($p > 0,05$) de éste. La presencia de *Babesia* en equinos fue mayor en machos (14,28%; $n = 18/126$) y menor en las hembras (3,97%; $n = 5/126$). Hornok *et al.* (2007), en Hungría, Golynski *et al.* (2008), en Brasil, Karatepe *et al.* (2009), en Turquía, Sigg *et al.* (2010), en Suiza, Grandi *et al.* (2011), en Italia y Farkas *et al.* (2013), en Hungría, no encontraron diferencias estadística entre seropositividad y sexo.

La presencia de babesia fue independiente de la edad ($p > 0,05$) de los animales evaluados. En todas las edades de los equinos, se determinaron anticuerpos (Tabla 2), pero la mayor frecuencia se observó en el grupo de 3 a 6 años. Hornok *et al.* (2007), en Hungría, Golynski *et al.* (2008), en Brasil, Sigg *et al.* (2010), en Suiza, Grandi *et al.* (2011) en Italia y Farkas *et al.* (2013), en Hungría, no determinaron diferencias estadística entre seropositividad y la edad. García *et al.* (2013) establecieron que el incremento en la edad también fue un factor de riesgo asociado con una mayor seroprevalencia de *Th. equi*.

El color y la raza (Tabla 3) de los equinos evaluados también se comportaron como variables independientes, respecto a la frecuencia de babesiosis ($p > 0,05$). Golynski *et al.* (2008), en Brasil, no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre razas.

Tabla 1. Sero/Prevalencia de *Babesia caballi* y *Theileria equi* en equinos de diferentes países, durante los últimos cinco años.

País	Región	Sero/Prevalencia	Técnica	Autor
Turquía	Mar Negro	<i>B. caballi</i> 34,6% <i>Th. equi</i> 21,59% I. mixta 5,2%	IFI	Acici <i>et al.</i> 2008
Hungría		<i>B. caballi</i> 6,19%	Elisa-C	Hornok <i>et al.</i> 2007
Brasil	R. Grande do Sul	<i>B. equi</i> 31,6% <i>B. equi</i> 35,8%	Elisa IFA	Golynski <i>et al.</i> 2008
Suráfrica		<i>Th. equi</i> 96,5% <i>Th. equi</i> 95,2% <i>Th. equi</i> 100		Motloang <i>et al.</i> 2008
Turquía		<i>Th. equi</i> 12,8% <i>B. caballi</i> 9,6%	IFI	Karatepe <i>et al.</i> 2009
Brasil	São Paulo	<i>Th. equi</i> 54,1% <i>B. caballi</i> 21,6	Elisa-C	Kerber <i>et al.</i> 2009
Suiza		EPP= 7,3%	IFI	Sigg <i>et al.</i> 2010
Italia	Norte del país	<i>Th. equi</i> 8,2% <i>B. caballi</i> 0,3%	IFI	Grandi <i>et al.</i> 2011
Mongolia		<i>Th. equi</i> 67%	Frotis	Sloboda <i>et al.</i> 2011
Corea		<i>Th. equi</i> 1,1%	Elisa-C	Seo <i>et al.</i> 2011
Jordania		<i>Th. equi</i> 14,1%	Elisa-C	Abutarbush <i>et al.</i> 2012
México	Nor-este	<i>Th. equi</i> 45,2% <i>B. caballi</i> 27,4%,	IFI	Cantú <i>et al.</i> 2007
España	Andalucía	<i>B. caballi</i> , 11,4% <i>Th. equi</i> 50,3% I. mixta 8,4%	Elisa-C	García <i>et al.</i> 2013
Mongolia		<i>B. caballi</i> , 51,6% <i>Th. equi</i> 19,6%, I. mixtas 10,4%.	Elisa	Munkhjargal <i>et al.</i> 2013

I. mixta = *B. caballi* + *Th. equi*

Tabla 2: Frecuencia de *Babesia* spp. en equinos de Montería, según la edad.

Edad/años	n	Positivos		Negativos	
		n	%	N	%
0 – 3	38	5	3,96	33	26,19
3 – 6	44	9	7,15	35	27,77
6 – 9	32	6	4,76	26	20,63
>9	12	3	2,38	9	7,15
Total	126	23	18,25	103	81,74

Tabla 3: Frecuencia de *Babesia* spp. en equinos de Montería, según raza.

Raza	Positivos			Negativos	
	n	n	%	n	%
Criollo	92	13	10,31	79	62,69
Media sangre inglés	1	1	0,79	0	0
Mestizo argentino	19	7	5,55	12	9,52
Pura sangre inglés	1	0	0	1	0,79
Pony	9	1	0,79	8	6,41
Silla Argentina	4	1	0,79	3	2,38
Total	126	23	18,23	103	81,79

La media general del volumen globular agregado (VGA) o hematocrito (Hto) fue de $34,2 \pm 6,2\%$, con un intervalo de confianza (95%), entre 33,1 a 35,2%. En los equinos negativos, el promedio del % Hto fue del $34,5 \pm 5,2\%$ y de los positivos del $32,9 \pm 9,4\%$. No se encontró diferencias significativas entre el valor del Hto de equinos positivos y negativos. El valor promedio del % Hto en equinos sanos criollos, reportados en el valle de Urabá, fluctuó 32 y 47% (Castillo *et al.* 2010); sin embargo, se desconoce un valor de referencia para equinos criollos sanos, en las condiciones del medio Sinú.

Resultados contradictorios, en cuanto al valor del Hto, han sido reportados por Aguirre *et al.* (2004), en Salta (Argentina), quienes determinaron un mayor valor (Hto del 40%), en equinos afectados por babesiosis; aunque no aclaran la causa de este valor, puede ser consecuencia de la deshidratación y la concentración del paquete celular.

Valores muy similares del Hto reportado en el presente estudio ha sido reportado por Castillo *et al.* (2006), en Cuba, en equinos destinados a la tracción, donde el promedio del Hto fue de $32,52 \pm 3,0\%$ y donde evidenciaron un estado anémico por el intenso trabajo. Valores inferiores al del presente estudio fue reportado por Castellanos *et al.* (2010), con un valor del $31,17 \pm 9,91\%$, y tan sólo el 1,4% estaban anémicos e infectados por *B. equi*.

Rashid *et al.* (2009), en Pakistán, hallaron una disminución del hematocrito. Hailat *et al.* (1997), Butler *et al.* (2005), Camacho *et al.* (2005) afirmaron que dentro de los hemoparásitos *B. equi* puede ser una causa de anemia severa, a diferencia de Sigg *et al.* (2010), quienes no encontraron asociaciones entre la pérdida de peso y la seroprevalencia, por *Th. equi* y *B. caballi*. Se encontró que en los sistema de manejo (estabulados, semi-estabulados y en pastoreo) de los equinos, en Montería, se encuentran casos de babesiosis equina y se hace necesario implementar un programa integral de control de vectores.

Agradecimientos. Los autores agradecen a los propietarios y a los administradores de las pesebreras, donde se adelantó el estudio, así como también a los estudiantes Juan Diego Torralvo y Juan Pablo Martínez, sin cuya colaboración no sería posible haber adelantado el estudio. Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABUTARBUSH, S.M.; ALQAWASMEH, D.M.; MUKBEL, R.M.; AL MAJALI, A.M. 2012. Equine babesiosis: seroprevalence, risk factors and comparison of different diagnostic methods in Jordan. *Transbound Emerg. Dis.* 59(1):72-78.
2. ACICI, M.; UMUR, S.; GUEVENC, T.; ARSLAN, H.H.; KURT, M. 2008. Seroprevalence of equine babesiosis in the Black Sea region of Turkey. *Int. Parasitol.* 57(2):198-200.
3. AGUIRRE, D.; CARFUNE, M.; RADA, M.; TORINIO De, E.S. 2004. Babesiosis clínica en equinos de Cerrillos, Salta, Argentina. *Rev. RIA.* 33(003):123-133.
4. ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE (APHIS). 2008. Piroplasmosis equina. Disponible desde Internet en: http://www.aphis.usda.gov/publications/animal_health/content/printable_version/fs_equine_piro_sp.pdf (con acceso 20/02/2013).
5. BALDANI, D.; MACHADO, R.; RASO, T.; PINTO, A. 2007. Serodiagnosis of *Babesia equi* in horses submitted to exercise stress. *Pesq. Vet. Bras.* 27(4):179-183.

6. BOTTEON, P de T.L.; MASSARD, C.L.; BOTTEON, R de C.M.; LOSS, Z.G.; LINHARES, G.F.C. 2002. Seroprevalencia de *Babesia equi* en tres diferentes sistemas de crianza de equinos. Rio de Janeiro – Brasil. Parasitol. Latinoam. 57:141-145.
7. BUTLER, C.; Van GILS, J.; Van Der KOLK, J. 2005. A literature review of equine piroplasmiasis after an episode of acute babesiosis in dutch standardbred foal after a stay in Normandy. Tijdschr. Diergeneesk. 130(23):726-731.
8. BUTLER, C.M.; SLOET Van OLDRUITENBORGH, O.M.M.; STOUT, T.A.; Van Der KOLK, J.H.; WOLLENBERG, L.V.; NIELEN, M.; JONGEJAN, F.; WERNERS, A.H.; HOEWERS, D.J. 2012. Prevalence of the causative agents of equine piroplasmiasis in the South West of The Netherlands and the identification of two autochthonous clinical *Theileria equi* infections. Vet. J. 193(2):381-385.
9. CAMACHO, A.; GUITIAN, F.; PALLAS, E., GESTAL, J.; OLMEDA, A.; HABELA, M.; TELFORD, S.; SPIELMAN, A. 2005. *Theileria (Babesia) equi* and *Babesia caballi* infections in horses in Galicia, Spain. Trop. Anim. Health Prod. 37(4):293-302.
10. CANTÚ, A.; ORTEGA, S.J.A.; MOSQUEDA, J.; GARCIA, V.Z., HENKE, S.E.; GEORGE, J.E. 2007. Immunologic and molecular identification of *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* in free ranging white-tailed deer in northern Mexico. J. Wildl. Dis. 43(3):504-507.
11. CASTELLANOS, R.; CANELÓN, J.L.; CALZOLAIO, V.; AGUINACO, F.; LÓPEZ, Á.; MONTESINOS, R. 2010. Estudio hematológico y detección de hemoparásitos en caballos criollos venezolanos de dos hatos del Estado Apure, Venezuela. Rev. Cient. 20(2):153-160.
12. CASTILLO, F.C.A.; TOBÓN, R.M.; CANO, B.C.A.; MIRA, H.J.; SÚÁREZ, O.A.P.; VÁSQUEZ, E.M. 2010. Valores hematológicos en caballos criollos colombianos del Valle de Aburrá. Disponible desde Internet en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/73/1/245-262.pdf> (con acceso 20/02/2013).
13. CASTILLO, J.; CEPERO, O.; SILVEIRA, E.; CASANOVA, R.; QUIÑONES, R.; MONTEAGUDO, E.; GUTIÉRREZ, I. 2006. Caballos de tracción de la ciudad de Santa Clara, Cuba. II Algunos parámetros hematológicos. Rev. Electr. Vet. REDVET VII (9):1-5. Disponible desde Internet en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090906/090617.pdf> (con acceso 20/02/2013)
14. CENTER FOR FOOD SECURITY AND PUBLIC HEALTH (CFSPH). 2008. Equine piroplasmiasis. Iowa State University and Institute for International Cooperation in Animal Biologics. Disponible desde Internet en: http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/piroplasmiasis_equina.pdf. (con acceso 20/02/2013).
15. CONGRESO NACIONAL DE COLOMBIA. 1989. Ley 84. Por la cual se adopta el estatuto nacional de protección de los animales y se crean unas contravenciones y se regula la referente a su procedimiento y competencia. República de Colombia, gobierno nacional. Diario Oficial 39120 de diciembre 27 de 1989. Disponible desde Internet en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8242> (con acceso 20/02/2013).
16. CORTO, M.A.; CLARK, C.K.; HARVEY, J.W.; WENZLOW, N.; HAWKINSS, I.K.; ALLRED, D.R.; KNOWLES, D.P.; CORN, J.L.; GRAUSE, J.F.; HENNAGER, S.G.; KITCHEN, D.L.; TRAU, D.; JOSUE, L. 2012. Outbreak of equine piroplasmiasis in Florida. J. Am. Vet. Med. Assoc. 240(5):588-595.
17. De VERA, M.; GUILLÉN, A.T.; GARCÍA, F.; CONTRERAS, R.; SIERRALTA, A.; LEÓN, E. 2006. Seroprevalencia de la babesiosis equina en caballos pura sangre de carrera alojados en los hipódromos La Rinconada y Nacional de Valencia, Venezuela. Vet. Trop. 31(1-2):43-52.
18. DEPARTMENT AGRICULTURE FISHERIES AND FORESTRY (DAFF). 2008. Exotic animal diseases bulletin. Equine piroplasmiasis. Austral. Vet. J. 86(11):20-21.
19. FARKAS, R.; TÁNCZOS, B.; GYURKOVSKY, M.; FÖLDVÁRI, G.; SOLYMOSI, N.; EDELHOFER, R.; HORNOK, S. 2013. Serological and molecular detection of *Theileria equi* infection in horses in Hungary. Vet Parasitol. 192(1-3):143-138
20. GARCÍA, B.I.; ARENAS, M.A.; HERNÁNDEZ, E.; ADASZEK, L.; CARBONERO, A.; ALMERIA, S.; TÉLLEZ, J.J.A.; PALOMINO, G.P.; ARENAS, A. 2013. Seroprevalence and risk factors associated with *Babesia caballi* and *Theileria equi* infection in equids. Vet J. 195(2):172-178.
21. GOLYNSKI, A.A.; FERNANDES, K.R.; BALDANI, C.D.; GOLYNSKI, A.L.; MACHADO, R.Z.; BOTTEON, P.

- DE T., MASSARD, C.L. 2008. Seroepidemiological studies on *Babesia equi* in horses from the state of Rio Grande do Sul determined by indirect immunofluorescence test and Elisa. *Parasitol. Vet.* 186(3-4):461-465.
22. GRANDI, G.; MOLINARI, G.; TITTARELLI, M.; SASSE-RA, D.; KRAMER, L.H. 2011. Prevalence of *Theileria equi* and *Babesia caballi* infection in horses from northern Italy. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 11(7):955-956.
23. GUILLÉN, A.T.T.; LEÓN, A.E.A.; ARAGORT, F.W.; SILVA, M. 2001. Diagnóstico de hemoparásitos en el Instituto de Investigaciones Veterinarias. Período 1986-2000. *Vet. Trop.* 26(1):47-62.
24. HAILAT, N.Q.; LAFI, S.Q.; DARRAJI, A.M.; AI ANI, F.K. 1997. Equine babesiosis associated with strenuous exercise: Clinical and pathological studies in Jordan. *Vet. Parasitol.* 69(1-2):1-8.
25. HORNOK, S.; EDELHOFER, R.; FÖLDVÁRI, G.; JOACHIM, A.; FARKAS R. 2007. Serological evidence for *Babesia canis* infection of horses and an endemic focus of *B. caballi* in Hungary. *Acta Vet. Hung.* 55(4):491-500.
26. HUNFELD, K.P.; HILDEBRANDT, A.; GRAY, J.S. 2008. Babesiosis: Recent insights into an ancient disease. *Int. J. Parasitol.* 38:1219-1237.
27. IKADAI, H.; TAMAKI, X.; XUAN, I.; IGARASHI, I.; KAWAI, S.; NAGASAWA, H.; FUJISAKI, K.; TOYODA, Y.; SŪZUKI, N.; MIKAMI, T. 1999. Inhibitory effect of monoclonal antibodies on the growth of *Babesia caballi*. *Int. J. Parasitol.* 29:1785-1791.
28. KARATEPE, B.; KARATEPE, M.; ÇAKMAK, A.; KARAER, Z.; ERGÜN, G. 2009. Investigation of seroprevalence of *Theileria equi* and *Babesia caballi* in horses in Nigde province, Turkey. *Trop Anim Health Prod.* 41(1):109-113.
29. KEMBLE, T.J. 1994. Alternative site to the jugular vein for serial blood sampling. *Equine Vet. J.* 6(6):301-302.
30. KERBER, C.E.; LABRUNA, M.B.; FERREIRA, F.; DE WAAL, D.T.; KNOWLES, D.P.; GENNARI, S.M. 2009. Prevalence of equine piroplasmosis and its association with tick infestation in the State of São Paulo, Brazil. *Rev. Bras. Parasitol. Vet.* 18(4):1-8.
31. MANTRAN, A.; VOTION, D.M.; AMORY, H. 2004. Piroplasmosis: A problem in Belgium? In: Proc. Annual Congress Belgian Equine Practitioners Society, Liege, Belgium. Disponible desde Internet en: http://www.ivis.org/proceedings/BEPS/2004/Amory_nl/ivis.pdf. con acceso 20/02/2013).
32. MEHLHORN, H.; SCHEIN, E. 1998. Redescription of *Babesia equi* Laveran, 1901 as *Theileria equi* Mehlhorn, Schein. *Parasitol. Res.* 84(6):467-475.
33. MOTLOANG, M.Y.; THEKISOE, O.M.; ALHASSAN, A.; BAKHEIT, M.; MOTHEO, M.P.; MASANGANE, F.E.; THIBEDI, M.L.; INOUE, N.; IGARASHI, I.; SUGIMOTO, C.; MBATI, P.A. 2008. Prevalence of *Theileria equi* and *Babesia caballi* infections in horses belonging to resource-poor farmers in the north-eastern Free State Province, South Africa. *Onderstepoort. J. Vet. Res.* 75(2):141-146.
34. MRAD, A. 2006. Ética en la investigación con modelos animales experimentales. Alternativas y las 3 RS de Russel. Una responsabilidad y un compromiso ético que nos compete a todos. *Rev. Col. Bioét.* 1(1):163-184.
35. MUNKHJARGAL, T.; SIVAKUMAR, T.; BATTSETSEG, B.; NYAMJARGAL, T.; ABOULAILA, M.; PUREVTSEREN, B.; BAYARSAIKHAN, D.; BYAMBAA, B.; TERKAWI, M.A.; YOKOYAMA, N.; IGARASHI, Y.O. 2013. Prevalence and genetic diversity of equine piroplasms in Tov province, Mongolia. *Infect. Genet. Evol.* 16C:178-185.
36. NIJHOF, A.M.; BODAAN, C.; POSTIGO, M.; NIEUWENHUIJS, H.; OPSTEEGH, M.; FRANSSEN, L.; JEBBINK, F.; JONGEJAN, F. 2007. Ticks and associated pathogens collected from domestic animals in the Netherlands. *Vector-Borne Zoon. Dis.* 7:585-595.
37. PECKLE, M.; PIRES, S.M.; Dos SANTOS, M.T.; ROIER, C.R.E.; Da SILVA, B.C.; VILELA, A.R.J.; SANTOS, A.H.; MASSARD, L.C.; 2013. Molecular epidemiology of *Theileria equi* in horses and their association with possible tick vectors in the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Parasitol. Res.* 112:2017-2025.
38. PITEL, P.H.; PRONOST, S.; SCRIVE, T.; LÉON, A.; RICHARD, E.; FORTIER, G. 2010. Molecular detection of *Theileria equi* and *Babesia caballi* in the bone marrow of asymptomatic horses. *Vet Parasitol.* 170(1-2):182-184.

39. RASHID, A.; MUBARAK, A.; HUSSAIN, A. 2009. Babesiosis in equines in Pakistan: a clinical report. *Vet. Italiana*. 45(3):391-95.
40. SEO, M.G.; YUN, S.H.; CHOI, S.K.; CHO, G.J., PARK, Y.S.; KWON, O.D.; CHO, K.H.; KIM, T.H.; JEONG, K.S.; PARK, S.J.; KWON, Y.S.; KWAK, D. 2011. Seroprevalence of equine piroplasms in the Republic of Korea. *Vet. Parasitol.* 179(1-3):224-226.
41. SIGG, L.; GERBER, V.; GOTTSTEIN, B.; DOHERR, M.G.; FREY, C.F. 2010. Seroprevalence of *Babesia caballi* and *Theileria equi* in the Swiss horse population. *Parasitol. Int.* 59(3):313-317.
42. SLOBODA, M.; JIRKA, M.; LUKEŠOVÁ, D.; QABLAN, M.; BATSUKH, Z.; FIALA, I.; HOŘÍN, P.; MODRÝ, D.; LUKEŠ, J. 2011. A survey for piroplasmids in horses and bactrian camels in North-Eastern Mongolia. *Vet. Parasitol.* 179(1-3):246-249.
43. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS (SAS). 2001. User's guide (versión 9.1) Cary (USA). Institute SAS/STAT.

Recibido: Abril 12 de 2013

Aceptado: Agosto 26 de 2013

Como citar:

Calderón, A.; Cardona, J.; Vergara, Ó. 2013. Frecuencia de *babesia* spp. En caballos de Montería, Córdoba (Colombia). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 451-458.

DESCRIPCIÓN DEL MECANISMO BIOQUÍMICO DE LA BIOHIDROGENACIÓN EN EL RUMEN DE ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS: UNA REVISIÓN

DESCRIPTION OF THE BIOCHEMISTRY MECHANISM OF POLYUNSATURATED FATTY ACID RUMINAL BIOHYDROGENATION: A REVIEW

Julián Castillo V.¹, Martha Olivera A.², Juan Carulla F.³

¹Químico, M.Sc. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 45 No. 26-85, Bogotá D.C. Colombia. jcastillov@unal.edu.co. Autor para correspondencia: jcastillov@unal.edu.co; ²Médico Veterinario, Dr. Sci. Agric. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquía, Carrera 75 No. 65-87, Ciudadela Robledo, Medellín Colombia, syngamia@gmail.com; ³Zootecnista, M.Sc, Ph.D. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia, jecarullaf@unal.edu.co

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 16(2): 459-468, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La hidrólisis de los galactolípidos, los fosfolípidos, los sulfolípidos y los triglicéridos es el primer paso en el metabolismo de lípidos en el rumen, liberando ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Recientemente, se ha reportado que el mecanismo de producción de ácido linoléico conjugado ($C_{18:2}$ *cis*-9, *trans*-11, ALC), está asociado a un desplazamiento prototrópico y que en la síntesis de su isómero $C_{18:2}$ *trans*-10, *cis*-12, participa la forma oxidada de flavin adenin dinucleótido (FAD). Primero, el ácido linoléico ($C_{18:2}$ *cis*-9, *cis*-12, ALi) es convertido en ALC, que se transforma en ácido *trans*-vaccénico ($C_{18:1}$ *trans*-11, ATV), produciéndose, finalmente, ácido esteárico. El ALi es el precursor del ALC y ATV, y el FAD es usado como cofactor en estos procesos. Una de las conclusiones de esta revisión es que a medida que el conocimiento del proceso de biohidrogenación aumenta, se dispone de más oportunidades para su aplicación. Una de las más relevantes es el diseño de estrategias nutricionales para incrementar la concentración de ácidos grasos bioactivos en leche y en carne.

Palabras clave: Ácido esteárico, ácido linoléico, ALC, ATV, enzimas.

SUMMARY

Hydrolysis of galactolipids, phospholipids, sulfolipids and triglycerides is the first step in ruminal lipid metabolism

resulting in saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. It has been reported recently that the mechanism of conjugated linoleic acid ($C_{18:2}$ *cis*-9, *trans*-11, CLA) production is associated with a prototropic displacement and the synthesis of its isomer $C_{18:2}$ *trans*-10, *cis*-12, involves oxidated flavin adenine dinucleotide (FAD). First, linoleic acid ($C_{18:2}$ *cis*-9, *cis*-12, LiA) is converted to CLA by the action of *cis*-9, *trans*-11 octadecanoate reductase, then CLA converts to *trans*-vaccenic acid ($C_{18:1}$ *trans*-11, TVA) with the final product being stearic acid. LiA is the precursor of both CLA and TVA and FAD is used as a cofactor in these processes. One of the conclusions of this review is that as the knowledge of the ruminal biohydrogenation process increases, opportunities for its application become available. The nutritional strategies to increase the concentration of bioactive fatty acids in both milk and meat are the more relevant.

Key words: CLA, enzymes, linoleic acid, stearic acid, TVA.

INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), particularmente, el ácido linoléico ($C_{18:2}$ *cis*-9, *cis*-12, ALi) y el ácido alfa-linolénico ($C_{18:3}$ *cis*-9, *cis*-12, *cis*-15, ALn), se encuentran en altas proporciones en los lípidos de los forrajes y de algunos suplementos (Bauman *et al.* 1999; Kelly *et al.* 1998; Agazzi *et al.* 2004; Choi *et al.* 2009; Shen *et al.* 2011; Zened

et al. 2013). Estos ácidos forman parte de la dieta de los rumiantes y dependiendo de su concentración en la dieta, modifican el perfil de ácidos grasos de la leche y la carne. La composición de ácidos grasos en la leche y en la carne de los rumiantes, se caracteriza por la presencia de una mayor concentración de ácidos grasos saturados que insaturados, debido al proceso de biohidrogenación (BH) en el rumen (Ashes *et al.* 1992; Bauman *et al.* 1999; Chow *et al.* 2004; Griinari & Bauman, 1999; Dhiman *et al.* 2000; Abughazaleh & Jacobson, 2007; Shen *et al.* 2011; Zened *et al.* 2013). Es por esto, que el conocimiento del proceso de BH, se considera un punto crítico para modificar la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados, en la leche y en la carne.

Se han estudiado diversos factores que afectan el proceso de BH del ALi y ALn, como también estrategias nutricionales que muestran resultados positivos en el incremento de ácido *trans*-vaccénico (C_{18:1} *trans*-11, ATV) y ácido linoléico conjugado (C_{18:2} *cis*-9, *trans*-11, ALC), en la leche y en la carne. Se ha reportado que estos compuestos tienen efectos potencialmente benéficos para la salud humana (Harfoot & Hazlewood, 1997; O'shea *et al.* 1998; Khanal, 2004; Herrera *et al.* 2004; Perfield *et al.* 2007). En un trabajo *in vitro*, recientemente realizado en nuestro laboratorio, se encontró que la proporción, en la cual se combinan el ALi y ALn, puede afectar el proceso de BH, modificando la proporción de los intermediarios (Castillo, J.; Pabón, M.; Olivera, M.; Daza, E.; Ribeiro, C.; Carulla, J, en proceso de elaboración para su publicación). En esta revisión, se busca presentar el conocimiento existente sobre el mecanismo bioquímico de la BH en el rumen, lo que permitiría diseñar estrategias nutricionales para incrementar la concentración de ácidos grasos poliinsaturados en la leche y en la carne. Esta revisión describirá el metabolismo de lípidos en el rumen y las principales rutas del proceso de biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados.

BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE LIPÓLISIS

Los lípidos de los forrajes contienen galactolípidos (mono y digalactosildiacilglicéridos) y, en una menor proporción, sulfolípidos (sulfoquinovosildiacilglicérido) y fosfolípidos (principalmente, fosfatidilcolina, fosfatidilglicerol y fosfatidiletanolamina) (Lee *et al.* 2007; Kaniuga, 2008; Halmemies-Beauchet-Filleau *et al.* 2013). Los cereales o los alimentos balanceados que contienen aceites vegetales son ricos en triacilglicerol (Harfoot & Hazlewood, 1997; Buccioni *et al.* 2006; AbuGhazaleh & Jacobson, 2007; Albertí *et al.* 2013).

En rumiantes, el proceso de lipólisis lo realiza, principalmente, la especie bacteriana *Anaerovibrio lipolítica*, por la acción de sus lipasas asociadas a sus estructuras membranosas

externas, presentándose así un mecanismo lipolítico, estrictamente extracelular (Hobson & Summers, 1966; Hobson & Summer, 1967; Enjalbert *et al.* 2003). Las lipasas tienen una actividad máxima enzimática a pH=7,4 entre 20-22°C, que se potencializa con el incremento de la concentración de CaCl₂ y BaCl₂ y que se inhibe con la presencia de ZnCl₂ y HgCl₂ (Henderson, 1971).

Aunque el proceso lipolítico no se atribuye enteramente a la especie mencionada, ya que existen reportes de otros microorganismos con actividad lipolítica, como lo son las especies bacteriales *Butirivibrio fibrisolvens* y *Butirivibrio LM8/1B* (Hassim *et al.* 2010), esta especie se considera como la más relevante en la lipólisis; el papel de los protozoos es reducido y con resultados muy variables y los hongos no intervienen en este proceso (Harfoot & Hazlewood, 1997; Jenkins *et al.* 2008).

En la lipólisis, los galactosildiacilglicerol, ácidos grasos y galactosa; los fosfolípidos, a ácidos grasos libres, fosfato y glicerol y los triacilglicerol, a ácidos grasos y glicerol (Dawson *et al.* 1974; Jenkins *et al.* 2008; Kaniuga, 2008; Cabiddu *et al.* 2010; Halmemies-Beauchet-Filleau *et al.* 2013).

El glicerol, se incorpora rápidamente a la glicólisis para la producción de piruvato, el cual, es posteriormente transformado en propionato, mediante el proceso de fermentación anaerobia (Jouany *et al.* 2007; Jenkins *et al.* 2008). La galactosa es rápidamente fermentada y transformada en ácidos grasos volátiles y los ácidos grasos mono y poliinsaturados, se biohidrogenan (Dawson *et al.* 1974; Hazlewood *et al.* 1976; Doreau *et al.* 2007).

Los monogalactosildiacilglicerol, se hidrolizan más rápidamente que los digalactosildiacilglicerol (Dawson & Hemington, 1974; Dawson *et al.* 1974; Cabiddu *et al.* 2010) y los diacilglicerol, se hidrolizan más rápidamente que los triacilglicerol (Harfoot & Hazlewood, 1997; Shen *et al.* 2011). La velocidad de lipólisis aumenta cuando se incrementa el grado de insaturación de los ácidos grasos, con la excepción de los ácidos grasos presentes en los aceites de pescado (Harfoot & Hazlewood, 1997; Jenkins, 1993; AbuGhazaleh & Jenkins, 2004).

BIOQUÍMICA DEL PROCESO DE BIOHIDROGENACIÓN

Hace aproximadamente 81 años, se encontró que los lípidos que forman los tejidos de los rumiantes eran más saturados que los de los no rumiantes (Banks & Hilditch, 1931) y, por muchos años, se creyó que el proceso de BH de los lípidos ocurría en los tejidos. En la actualidad, se sabe que este pro-

ceso ocurre en el rumen por acción de los microorganismos y, en una pequeña proporción, en el tracto intestinal posterior (Harfoot & Hazlewood, 1997; Lee & Jenkins, 2011).

Wright (1959; 1960) encontró que las bacterias son los microorganismos más importantes en el proceso de BH, lo cual, también es concluido por Dawson & Kemp (1969) y Singh & Hawke (1979). En otros estudios, se halló que, aproximadamente, la mitad de los microorganismos involucrados en la digestión de los lípidos se encuentran asociados a la porción líquida del rumen (BAL) y los restantes se hallaban adheridos a las superficies del alimento (BAS) (Hungate, 1966).

Utilizando contenidos ruminales, se evidenció que la presencia de partículas del alimento aumenta la velocidad del proceso de biohidrogenación (Herrera *et al.* 2004). Martin & Valeille (2002) notaron que el proceso de BH del ALi en el rumen ocurre por la adhesión del ALi a las partículas de alimento.

Legay-Carmier & Bauchart (1989) encontraron que en una dieta para vacas suplementada con aceite de soya, el 70% en masa de las bacterias eran BAS y, solamente un 7%, BAL; el restante 23% era de bacterias pobremente adheridas a la superficie o se transferían, de manera constante, desde las partículas al medio líquido ruminal. Bauchart *et al.* (1990) mostraron que existe “preferencia” por parte de los ácidos grasos a adherirse a las partículas de alimento y que la concentración total de los ácidos grasos que se adherían a las BAS era casi del doble, con respecto al del BAL.

Se puede concluir que después de la lipólisis y de la liberación de ácidos grasos, éstos se adhieren a las partículas sólidas de alimento y son hidrogenados de manera preferencial por las BAS, pudiéndose generar competencia entre las partículas y las bacterias.

Descripción del mecanismo de la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados: La lipólisis constituye un paso obligado antes de la BH y las bacterias son las principales responsables del proceso de BH, aunque los hongos y los protozoos pueden participar en la biohidrogenación (Harfoot & Hazlewood, 1997; Yañez-Ruiz *et al.* 2006; Maia *et al.* 2007; Váradyová *et al.* 2008; Buccioni *et al.* 2012).

Sachan & Davis (1969) hallaron que la especie *Borrelia* B25 biohidrogenaba el ALi, pero no el ácido oléico (C_{18:1} *cis*-9, AOI). Kemp *et al.* (1975) registraron tres especies bacteriales implicadas en la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados, siendo estas *Ruminococcus albus*, *Eubacterium* y *Fusocillus*.

La especie *Fusocillus* biohidrogenó el AOI y ALi hasta ácido esteárico (C_{18:0}) y el ALn hasta C_{18:1} *cis*-15. La especie *R. al-*

bus y la de *Eubacterium* no biohidrogenaron el AOI, pero sí convirtieron el ALi y ALn en una mezcla de ácidos octadecénicos, donde el ATV fue el isómero predominante.

Harfoot & Hazlewood (1997) y Maia *et al.* (2010) ilustran el papel de una gran variedad de microorganismos que participan en el proceso de BH. Otros trabajos, como los de Maia *et al.* (2007; 2010) y Jenkins *et al.* (2008) presentan una caracterización reciente del ambiente microbiológico ruminal y reportan la toxicidad de diferentes niveles de inclusión de ácidos grasos mono y poliinsaturados, sobre el crecimiento de las especies implicadas en el proceso de biohidrogenación.

La identificación de los intermediarios producidos y de los diferentes microorganismos ruminales que participan en el proceso de BH ruminal, ha permitido establecer su mecanismo (Bauman *et al.* 1999; Lee & Jenkins, 2011; Buccioni *et al.* 2012). El proceso de BH involucra varios pasos bioquímicos, con velocidades, intermediarios y especies bacteriales características (Bauman *et al.* 1999). Lourenço *et al.* (2010) presentan una descripción general del amplio número ácidos grasos, resultantes de la BH del ALi y ALn.

Para los pasos principales, Kemp & Lander (1984) dividieron las bacterias en dos grupos, considerando las reacciones químicas en que intervenían y los productos de la BH. El grupo A es el responsable de transformar el ALi hasta el ATV; por su parte, el grupo B transforma el ATV en C_{18:0}. Para el ALn, la BH es más compleja e involucra los dos grupos de bacterias en todos los pasos (Figura 1). Ambos mecanismos presentan, como paso inicial, la isomerización del enlace *cis*-12, de lo cual, resulta la formación de un intermediario químico con un sistema conjugado con isomería geométrica *cis*-9, *trans*-11 (Harfoot & Hazlewood, 1997; Buccioni *et al.* 2012). Esto está de acuerdo con lo evidenciado en un estudio realizado en nuestro laboratorio, en donde se evaluó el efecto de la combinación de diferentes proporciones de ALi y ALn, sobre su BH y la concentración de los principales intermediarios generados, a partir de dichos ácidos grasos (Castillo, J.; Pabón, M.; Olivera, M.; Daza, E.; Ribeiro, C.; Carulla, J., en proceso de elaboración para su publicación), apreciando que se produce un incremento en la concentración de ALC, en función del aumento de la relación ALi:ALn.

En estudios con *Butirivibrio fibrisolvens*, se ha establecido que el primer paso es realizado por la enzima linoleato isomerasa (EC 5.2.1.5), que se encuentra en la membrana de las bacterias (Jenkins *et al.* 2008). Kepler *et al.* (1971) propusieron, por primera vez, un mecanismo de reacción, definiendo que existen dos sitios de interacción entre la molécula de ALi y la enzima, los cuales, son el sistema de electrones π (*cis*-9, *cis*-12) y el grupo carboxilo. Al presentarse la interacción de estas regiones con la enzima, se produce una conformación definida de la molécula de ALi y así, se puede transferir un

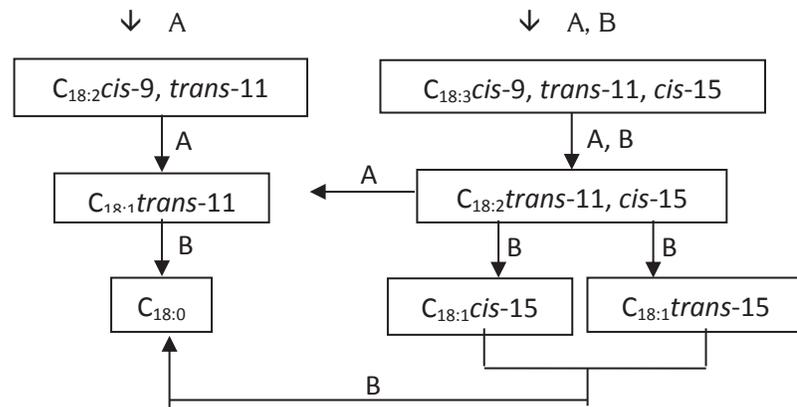


Figura 1. Rutas principales de la biohidrogenación del ácido linoléico y alfa-linolénico en el rumen, junto con los grupos de microorganismos implicados (Harfoot & Hazlewood, 1997; Buccioni *et al.* 2012). Las letras A y B indican los dos grupos bacteriales implicados en el proceso.

protón de una tercera región donante de la enzima al carbono 13, haciendo que éste adquiera una configuración D, con lo cual, se produce un compuesto con el sistema conjugado *cis-9, trans-11*. Kepler *et al.* (1971) demostraron que para que se lleve a cabo el proceso de BH, el grupo carboxilo del ácido graso debe estar libre.

Cuando la linoleato isomerasa se incubó con ALi en presencia de $^2\text{H}_2\text{O}$, un átomo de ^2H se incorporó resultando en la formación del ALC en una configuración R (grado de marcación, 88%); esto sugiere, que el mecanismo de isomerización es de desplazamiento prototrópico. Mediante el uso de ALi deuterado en la posición 11, como sustrato para esta enzima, se mostró que el mecanismo de isomerización de la linoleato isomerasa de *Butirivibrio fibrisolvens* involucra la remoción del hidrógeno ubicado en el carbono 11 y su transferencia en la misma molécula, ya que no se detectó su pérdida (Liavonchanka & Feussner, 2008).

Los mecanismos de isomerización mejor conocidos son los de las isomerasas producidas por *Butirivibrio fibrisolvens* (IBF), *Propionobacterium filicina* (IPF) y *P. acnes* (IPA) (Liavonchanka & Feussner, 2008). Se tiene conocimiento para el ALi, que la IPA transfiere un hidrógeno del carbono 11 con estereoquímica R al carbono 9, con la misma estereoquímica R.

La IPF transfiere un hidrógeno del carbono 11 con estereoquímica S a la posición 13, cuya estereoquímica se desconoce y, para la IBF, ocurre el proceso inverso, es decir, la estereoquímica del protón retirado de la posición 11 es desconocida, pero la del agregado en el carbono 13 presenta estereoquímica R (Liavonchanka *et al.* 2006).

Liavonchanka *et al.* (2006) estudiaron la estructura y el mecanismo de la isomerasa de AGPI de *P. acnes*, estableciendo que el proceso catalítico de conversión del ALi en $\text{C}_{18:2}$ *trans-10, cis-12* (que se produce cuando se administran dietas altas en almidón) (Halmemies-Beauchet-Filleau *et al.* 2013) (Figura 2), se realiza por medio del cofactor Flavin Adenin Dinucleótido (FAD), mediante la abstracción de un hidruro del carbono 11 del ALi en configuración R, produciéndose un carbocatión estabilizado por resonancia, en el cual, se realiza la isomerización del doble enlace *cis* de la posición 9, a la posición 10 con geometría *trans*, que produce un segundo carbocatión, cuya carga se ubica en el carbono 9, posición donde es transferido el hidruro inicialmente removido, produciéndose el isómero $\text{C}_{18:2}$ *trans-10, cis-12* (Liavonchanka & Feussner, 2008).

Termodinámicamente, la isomerización de ALi en $\text{C}_{18:2}$ *trans-10, cis-12* es un proceso que demanda energía, porque se requiere la ruptura de un enlace C-H, como paso previo a la isomerización del doble enlace. Para la formación del intermediario alílico, se requiere, aproximadamente, $+16,7\text{kJ}\cdot\text{M}^{-1}$, haciendo de esta reacción, un proceso termodinámicamente irreversible (Liavonchanka & Feussner, 2008). Aunque no se tiene claro cómo es suministrada esta energía para las IBF e IPF, para la IPA se sabe que la activación y la transferencia del hidrógeno de la posición 11, es mediada por el FAD. La energía libre de Gibbs (ΔGrxn) a 37°C , para la isomerización del ALi ($-4,856\text{ kcal/mol}$) y ALn (-754 kcal/mol), a sus intermediarios conjugados, permite definir que dichos procesos se constituyen como termodinámicamente favorables, según los valores calculados en nuestro laboratorio (Castillo, J.; Pabón, M.; Olivera, M.; Daza, E.; Ribeiro, C.; Carulla, J., en proceso de elaboración para su publicación).

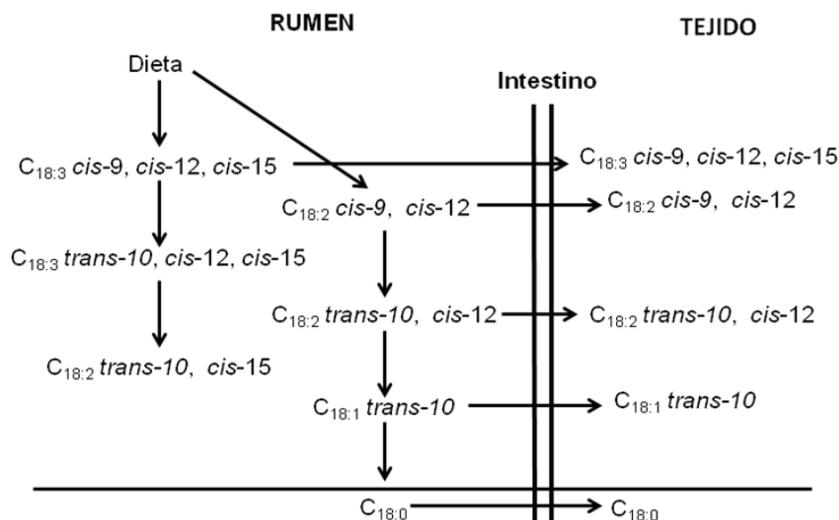


Figura 2. Biohidrogenación de ácidos grasos insaturados en el rumen, a pH bajo (adaptado de Buccioni *et al.* 2012).

La IBF a diferencia de la IPA realiza un intercambio de un protón entre el solvente y el isómero $C_{18:2}$ *cis-9, trans-11*. Liavonchanka & Feussner (2008) propusieron que la geometría del sitio activo de la *trans-10, cis-12* isomerasa podría ser diferente al de la *cis-9, trans-11* isomerasa, argumentando la posible presencia de agua o residuos de aminoácidos polares en el sitio activo de las isomerasas.

Así, la protonación del ALi en la posición 13 podría ser mediada por el nitrógeno 5 del FAD, considerando que al formar un grupo amino terciario, éste tiene la capacidad de intercambiar rápidamente protones con el solvente e incorporar deuterio (^2H) en el isómero $C_{18:2}$ *cis-9, trans-11* (Wallace *et al.* 2007).

Kemp *et al.* (1984a) evaluaron la BH de isómeros geométricos de ácidos grasos de 18 carbonos, con dos dobles enlaces conjugados en diferentes posiciones, utilizando uno de los grupos de bacterias A o B. De todos los isómeros posibles, el único que no fue alterado estructuralmente fue el isómero *cis-14, cis-17*. Además, se encontró que los isómeros *cis-2, cis-5* y *cis-9, cis-12*, fueron los únicos que se isomerizaron en sus correspondientes estructuras *cis, trans*, antes de ser biohidrogenados. McKain *et al.* (2010) evaluaron el proceso de BH de diferentes isómeros posicionales y geométricos del ALC y AOI en óxido de deuterio (D_2O) al 37,4%, mediante el uso de *Butirivibrio fibrisolvens* JW11, *B. proteoclastus* P-18 y *P. acnés*.

Teniendo en cuenta que durante la incubación de los isómeros geométricos con insaturaciones en las posiciones 9

y 11, el enriquecimiento con deuterio de los intermediarios formados fue alrededor de la mitad del de los isómeros $C_{18:2}$ *trans-10, cis-12* y AOI, los autores sugieren que la reducción de los isómeros geométricos 9, 11 ocurre mediante un mecanismo diferente al de los otros ácidos grasos insaturados (Wallace *et al.* 2007).

El mecanismo de formación de los isómeros del ALC a partir de ALi, utilizando contenido ruminal de ovejas o cultivos de microorganismos puros de *B. fibrisolvens* y *C. proteoclasticum*, mostraron que los isómeros del ALC, $C_{18:2}$ *trans-9, trans-11* y $C_{18:2}$ *trans-10, cis-12* eran los que se producían en mayor cantidad y se encontraron trazas de $C_{18:2}$ *trans-9, cis-11*, $C_{18:2}$ *cis-9, cis-11* y $C_{18:2}$ *cis-10, cis-12* (Wallace *et al.* 2007).

Wallace *et al.* (2007) sugirieron que el mecanismo de biosíntesis del ALC, se inicia con la abstracción del H del carbono 11 del ALi, formándose un radical termodinámicamente inestable, en el cual, se produce la translocación del doble enlace, de la posición 12 a la posición 11, con cambio de geometría *cis* a *trans*, con lo que se forma un radical, cuyo electrón desapareado se ubica en el carbono 13. A partir de marcación isotópica y mediante espectrometría de masas, se sugirió que los isómeros geométricos del ALC que presentaban insaturaciones en las posiciones 10 y 12, eran sintetizados por un mecanismo que difiere de la síntesis de los isómeros 9, 11.

Finalmente, un átomo de hidrógeno es proporcionado por una molécula de agua al carbono 13, para producir ALC.

A partir del mecanismo propuesto, Wallace *et al.* (2007)

afirmaron que las diferencias en concentración encontradas para los isómeros del ALC, se podrían sustentar por la formación de intermediarios energéticamente menos favorables. Lo anterior es claramente coincidente con los resultados encontrados por Kemp *et al.* (1984a) y podría dar una explicación parcial a los resultados, donde se evaluó la cinética de BH de ALi y ALn y la generación de intermediarios y productos (Chouinard *et al.* 2001; Troegeler-Meynadier *et al.* 2003; Ribeiro *et al.* 2007; Shingfield *et al.* 2010; Prieto *et al.* 2013).

El segundo paso en el proceso de BH es la reducción del enlace *cis*-9 del sistema conjugado, para producir el ATV a partir del ALi y el C_{18:2} *trans*-11, *cis*-15 a partir del ALn. Este paso involucra la adición de dos hidrógenos al enlace *cis*-9 del sistema dieno conjugado *cis*-9, *trans*-11, por la enzima *cis*-9, *trans*-11 octadecadienoato reductasa (EC 1.3.1.-), la cual, ha sido aislada y purificada de *B. fibrisolvens* (Hughes *et al.* 1982; Jenkins *et al.* 2008; Sterk *et al.* 2010).

La enzima es una glicoproteína con 10 moles de fucosa y 12 de galactosa por mol de enzima y que presenta Fe³⁺ coordinado, indispensable para su actividad enzimática y se encuentra involucrado directamente en el proceso de reducción (Harfoot & Hazlewood, 1997; Buccioni *et al.* 2012).

El segundo paso de la BH en el rumen, ha sido estudiado para la especie *B. fibrisolvens* (Rosenfeld & Tove, 1971; Lee & Jenkins, 2011). Yamazaki & Tove (1979) aislaron, a partir de *B. fibrisolvens*, un electrodonor para la BH del enlace *cis*-9, que fue identificado como alfa-tocoferolquinol (TQH₂) (Hughes & Tove, 1980a). Los mismos autores (1980b), sugirieron que dos moléculas de TQH₂ fueron oxidadas a dos semiquinonas (TQH), aportando así cada una, un electrón para la reducción del enlace *cis* del sistema conjugado.

Estudios *in vitro* usando ALi marcado mostraron que la isomerización del enlace *cis*-12 involucra la rápida BH del ALC hasta ATV. La BH del ATV (tercer paso de la BH) ocurre más lentamente y, por lo tanto, se acumula y puede aumentar su disponibilidad para su absorción (Singh & Hawke, 1979; Moate *et al.* 2008; Buccioni *et al.* 2012). Experimentos *in vitro* en nuestro laboratorio, sugirieron que la proporción de ALi y ALn en una mezcla alteró la concentración de ALi y de diversos intermediarios y productos (Castillo J., Pabón M., Olivera M., Daza E., Ribeiro C., Carulla J, en proceso de elaboración para su publicación).

Adicionalmente, las tasas de conversión de ALi a ácido esteárico, para diferentes relaciones de ALi y ALn, eran menores que las de isomerización de ALi y ALn, donde una mayor proporción de ALi en la mezcla producía una mayor acumulación de ATV (Castillo, J.; Pabón, M.; Olivera, M.; Daza, E.; Ribeiro, C.; Carulla, J., en proceso de elaboración para su publicación).

Estos hallazgos son coherentes con lo hallado por Kemp *et al.* (1984b), quienes evaluaron la habilidad de la especie *Fusocillus* (perteneciente al grupo B), para hidrogenar diferentes isómeros de ácidos octadecenoicos, hasta C_{18:0}. Empleando diferentes isómeros *cis*, desde el *cis*-2 hasta el *cis*-13 (excepto el *cis*-3) y todos los isómeros *trans*, desde el *trans*-2 hasta el *trans*-13 (excepto el *trans*-3 y *trans*-4), encontraron que se registraron conversiones a C_{18:0}, en un rango entre 73 y 79%, para los isómeros *cis*, del *cis*-3 al *cis*-11 y, aproximadamente el 45%, de los isómeros *trans*-8, *trans*-9 y *trans*-10 fueron hidrogenados.

La reducción del ATV parece ser el paso determinante de la BH de ALi y ALn y, por lo tanto, este intermediario se podría acumular en el rumen (Moate *et al.* 2008), aumentándose así su disponibilidad para ser absorbido.

Conclusiones: Esta revisión muestra que la BH del ácido linoléico y alfa-linolénico se realiza por etapas sucesivas de biohidrogenación e isomerización, con características químicas y termodinámicas distintivas y por acción de especies microbianas diferentes, donde el producto final es el ácido esteárico. Las rutas metabólicas de la BH del ácido alfa-linolénico son más extensas, lo que sugiere que este ácido produce un mayor número de compuestos que pueden aparecer en la biohidrogenación de los ácidos grasos, como el ALC y el ATV. Por el contrario, el ácido linoléico presenta un menor número de vías de biohidrogenación, lo que indicaría que ocurre por la ruta principal y las secundarias.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este trabajo fue financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (Colciencias) y la División de Investigación de Bogotá (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABUGHAZALEH, A.A.; JACOBSON, B.N. 2007. The effect of pH and polyunsaturated C18 fatty acid source on the production of vaccenic acid and conjugated linoleic acid in ruminal cultures incubated with docosahexaenoic acid. *Anim. Feed Sci. Technol.* 136:11-22.
2. ABUGHAZALEH, A.A.; JENKINS, T.C. 2004. Disappearance of Docosahexaenoic and Eicosapentaenoic acids from cultures of mixed ruminal microorganisms. *J. Dairy Sci.* 87:645-651.

3. AGAZZI, A.; BAYOURTHE, C.; NICOT, M.C.; TROEGELER-MEYNADIER, A.; MONCOULON, R.; ENJANBERT, P. 2004. In situ ruminal biohydrogenation of fatty acids from extruded soybeans: effects of dietary adaptation and of mixing with lecithin or wheat straw. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117:165-175.
4. ALBERTÍ, P.; GÓMEZ, I.; MENDIZABAL, J.A.; RIPOLL, G.; BARAHONA, M.; SARRIÉS, V.; INSAUSTI, K.; BERRIAIN, M.J.; PURROY, A.; REALINI, C. 2013. Effect of whole linseed and rumen-protected conjugated linoleic acid enriched diets on feedlot performance, carcass characteristics, and adipose tissue development in young Holstein bulls. *Meat Sci.* 94:208-214.
5. ASHES, J.R.; SIEBERT, B.D.; GÚLATI, S.K.; CUTHBERTSON, A.Z.; SCOTT, T.W. 1992. Incorporation of n-3 fatty acids of fish oil into tissue and serum lipids of ruminants. *Lipids.* 27:629-631.
6. BANKS, A.; HILDITCH, T.P. 1931. The Glyceride structure of beef talows. *Biochem. J.* 25:1168-1182.
7. BAUCHARTE, D.; LEGAY-CARMIER, F.; DOREAU, M.; GAILLARD, B. 1990. Lipid metabolism of liquid-associated and solid-adherent bacteria in rumen contents of dairy cows offered lipid supplemented diet. *Br. J. Nutr.* 63:563-578.
8. BAUMAN, D.E.; BAUMGARD, L.H.; CORL, B.A.; GRINIARI, J.M. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants. *J. Anim. Sci.* 77:1-15.
9. BUCCIONI, A.; ANTONGIOVANNI, M.; PETACCHI, F.; MELE, M.; SERRA, A.; SECCHIARI, P.; BENVENUTI, D. 2006. Effect of dietary fat quality on C18:1 fatty acids and conjugated linoleic acid production: An *in vitro* rumen fermentation study. *Anim. Feed Sci. Technol.* 127:268-282.
10. BUCCIONI, A.; DECANDIA, M.; MINIERI, S.; MOLLE, G.; CABIDDU, A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174:1-25.
11. CABIDDU, A.; SALIS, L.; TWEED, J.K.S.; MOLLE, G.; DECANDIA, M.; LEE, M.R.F. 2010. The influence of plant polyphenols on lipolysis and biohydrogenation in dried forages at different phenological stages: *in vitro* study. *J. Sci. Food Agric.* 90:829-835.
12. CHOUINARD, P.Y.; CORNEAU, L.; BUTLER, B.R.; CHILLIARD, Y.; DRACKLEY, J.K.; BAUMAN, D.E. 2001. Effect of dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentration in milk fat. *J. Dairy Sci.* 84:680-690.
13. CHOI, N.; PARK, H.G.; KIM, J.H.; HWANG, H.; KWON, K.H.; YOON, J.A.; KWON, E.G.; CHANG, J.; HWANG, I.H.; KIM, Y.J. 2009. Characterization of environmental factors in Conjugated Linoleic Acid Production by mixed rumen bacteria. *J. Agric. Food Chem.* 57:9263-9267.
14. CHOW, T.T.; FIEVEZ, V.; MOLONEY, A.P.; RAES, K.; DEMEYER, D.; SMET, S. 2004. Effect of fish oil *in vitro* rumen lipolysis, apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid and accumulation of biohydrogenation intermediated. *Anim. Feed Sci. Technol.* 117:1-12.
15. DAWSON, R.M.C.; KEMP, P. 1969. The effect of defaunation on the phospholipids and on the hydrogenation of unsaturated fatty acids in the rumen. *Biochem. J.* 115:351-352.
16. DAWSON, R.M.C.; HEMINGTON, N. 1974. Digestion of grass lipids and pigments in the sheep rumen. *Br. J. Nutr.* 32:327-340.
17. DAWSON, R.M.C.; HEMINGTON, N.; GRIME, D.; LANDER, D.; KEMP, P. 1974. Lipolysis and hydrogenation of galactolipids and the accumulation of phytanic acid in the rumen. *Biochem. J.* 144:169-171.
18. DHIMAN, T.R.; SATTER, L.D.; PARIZA, M.W.; GALLI, M.P.; ALBRIGHT, K.; TOLOSA, M.X. 2000. Conjugated linoleic acid (ALC) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 83:1016-1027.
19. DOREAU, M.; REARTE, D.; PORTELLI, J.; PEYRAUD, J.L. 2007. Fatty acid ruminal metabolism and digestibility in cows fed perennial ryegrass. *Eur. J. Lip. Sci. Technol.* 109:790-798.
20. ENJALBERT, F.; EYNARD, P.; NICOT, M.C.; TROEGELER-MEYNADIER, A.; BAYOURTHE, C.; MONCOULON, R. 2003. *In vitro* versus *in situ* ruminal biohydrogenation of unsaturated fatty acids from raw or extruded mixture of ground canola seed/canola meal. *J. Dairy Sci.* 86:351-359.
21. GRINIARI, J.M.; BAUMAN, D.E. 1999. Biosynthesis of conjugated linoleic acid and its incorporation into meat and milk in ruminants. In: Yurawecs, M.P.; Mos-

- soba, M.M.; Kramer, J.K.; Pariza, M.W.; Nelson, G.J.; (eds.). *Advanced in conjugated linoleic acids research* Vol. 1 Champaign (IL): AOCS Press. p.180-200.
22. HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU, A., KAIRENIUS, P.; AHVENJÄRVI, S.; CROSLY, L.K.; MUETZEL, S.; HUHTANEN, P.; VANHATALO, A.; TOIVONEN, V.; WALLACE, R.J.; SHINGFIELD, K.J. 2013. Effect of forage conservation method on ruminal lipid metabolism and microbial ecology in lactating cows fed diets containing a 60:40 forage-to-concentrate ratio. *J. Dairy Sci.* 96:2428-2447.
 23. HARFOOT, C.G.; HAZLEWOOD, G.P. 1997. Lipid metabolism in the rumen. In: Hobson, P.N.; Stewart, C.S. (eds). *The Rumen Microbial Ecosystem*, ed. Chapman and Hall, London, UK. p.382-426.
 24. HASSIM, H.A.; LOURENÇO, M.; GOEL, G.; VLAEMINCK, B.; GOH, Y.M.; FIEVEZ, V. 2010. Effect of different inclusion levels of oil palm fronds on *in vitro* rumen fermentation pattern, fatty acid metabolism and apparent biohydrogenation of linoleic and linolenic acid. *Anim Feed Sci. Technol.* 162:155-158.
 25. HAZLEWOOD, G.P.; KEMP, P.; LANDER, D.; DAWSON, R.M.C. 1976. C18 unsaturated fatty acid biohydrogenation patterns of some rumen bacteria and their ability to hydrolyse exogenous phospholipids. *Br. J. Nutr.* 35:293-297.
 26. HENDERSON, C. 1971. A Study of the Lipase Produced by *Anaerovibrio Lipolytica*, a Rumen Bacterium. *J. Gen. Microbiol.* 65:81-89.
 27. HERRERA, J.A.; SHAHABUDIN, A.K.M.; FAISAL, M.; ERSHENG, G.; WEI, J.; LIXIA, D.; GANDAHO, T.; LOPEZ, P. 2004. Efectos de la suplementación oral con Calcio y ácido linoléico conjugado en primigrávidas de alto riesgo. *Colombia Médica.* 35(1):1-8.
 28. HOBSON, P.N.; SUMMERS, K. 1966. Effect of growth rate on the lipase activity of a rumen bacterium. *Nature.* 209:736-737.
 29. HOBSON, P.N.; SUMMER, R. 1967. The continuous culture of anaerobic bacteria. *J. Gen. Microbiol.* 47:53-65.
 30. HUGHES, P.E.; TOVE, S.B. 1980a. Identification of an endogenous electron donor for biohydrogenation as α -tocopherolquinol. *J. Biol. Chem.* 255:4447-4452.
 31. HUGHES, P.E.; TOVE, S.B. 1980b. Identification of deoxy- α -tocopherolquinol as another endogenous electron donor for biohydrogenation. *J. Biol. Chem.* 255:11802-11806.
 32. HUGHES, P.E.; HUNTER, W.J.; TOVE, S.B. 1982. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. Purification and properties of cis-9, trans-11-octadecadienoate reductase. *J. Biol. Chem.* 257(1):3643-3649.
 33. HUNGATE, R.E. 1966. *The rumen and its microbes*. New York academic press, New York, NY, USA. p.315-328.
 34. JENKINS, T.C. 1993. Lipid metabolism in the rumen. *J. Dairy Sci.* 76:3851-3863.
 35. JENKINS, T.C.; WALLACE, R.J.; MOATE, P.J.; MOSLEY, E.E. 2008. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *J. Anim. Sci.* 86: 397-412.
 36. JOUANY, J.P.; LASSALAS, B.; DOREAU, M.; GLASSER, F. 2007. Dynamic features of the rumen metabolism of linoleic acid, linolenic acid and linseed oil measured *in vitro*. *Lipids.* 42: 351-360.
 37. KANIUGA, Z. 2008. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals. *Plant Biol.* 10:171-184.
 38. KELLY, M.L.; KOLVER, E.S.; BAUMAN, D.E.; VAN AMBURGH, M.E.; MÜLLER, L.D. 1998. Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:1630-1636.
 39. KEMP, P.; LANDER, D.J. 1984. The hydrogenation of the series of methylene-interrupted cis,cis-octadecadienoic acids by pure cultures of six rumen bacteria. *Br. J. Nutr.* 52:171-177.
 40. KEMP, P.; LANDER, D.J.; HOLMAN, R.T. 1984a. The hydrogenation of the series of methylene-interrupted cis, cis-octadecadienoic acid by pure cultures of rumen bacteria. *Br. J. Nutr.* 52:171-177.
 41. KEMP, P.; LANDER, D.J.; GUNSTONE, F.D. 1984b. Hydrogenation of some cis and trans octadecenoic acid to stearic acid by a rumen *Fusocillus* sp. *Br. J. Nutr.* 52:165-170.
 42. KEMP, P.; WHITE, R.W.; LANDER, D.J. 1975. The hydrogenation of insaturated fatty acids by five bacterial isolates from the sheep rumen, including a new species. *J. Gen. Microbiol.* 90:100-114.

43. KEPLER, C.R.; TUCKER, W.P.; TOVE, S.B. 1971. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. V. Stereospecificity of proton addition and mechanism of action of linoleic acid Δ^{12} -cis, Δ^{11} -trans- isomerase from *butyrivibrio fibrisolvens*. J. Biol. Chem. 246:2765-2771.
44. KHANAL, R.C. 2004. Potential health benefits of conjugated linoleic acid (CLA): A review. Asian-Australasian J. Anim. Sci. 17(9):1315-1328.
45. LEE, M.R.F.; PAFITT, L.J.; SCOLLAN, N.D.; MINCHIN, F.R. 2007. Lipolysis in red clover with different polyphenol oxidase activities in the presence and absence of rumen fluid. J. Sci. Food Agric. 87:1308-1314.
46. LEE, Y.; JENKINS, T.C. 2011. Biohydrogenation of linolenic acid to stearic acid by the rumen microbial population yields multiple intermediate conjugated diene isomers. J. Nutr. 141(8):1445-1450.
47. LEGAY-CARMIER, F.; BAUCHART, D. 1989. Distribution of bacteria in the rumen contents of dairy cows given a diet supplemented with soya-bean oil. Br. J. Nutr. 61:725-740.
48. LIAVONCHANKA, A.; HORNUNG, E.; FEUSSNER, I.; RUDOLPH, M.G. 2006. Structure and mechanism of the *Propionibacterium acnes* polyunsaturated fatty acid isomerase. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 103:2576-2581.
49. LIAVONCHANKA, A.; FEUSSNER, I. 2008. Biochemistry of PUFA Double Bond Isomerases Producing Conjugated Linoleic Acid. ChemBioChem. 9:1867-1872.
50. LOURENÇO, M.; RAMOS-MORALES, E.; WALLACE, R.J. 2010. The role of microbes in rumen lipolysis and biohydrogenation and their manipulation. Animal Feed Sci. Techn. 4(7):1008-1023.
51. MAIA, M.R.G.; CHAUDHARY, L.C.; FIGUERES, L.; WALLACE, R.J. 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. Antonie Van Leeuwenhoek. 91:303-314.
52. MAIA, M.R.G.; CHAUDHARY, L.C.; BESTWICK, C.S.; RICHARDSON, A.J.; MCKAIN, N.; LARSON, T.R.; GRAHAM, I.A.; WALLACE, R.J. 2010. Toxicity of unsaturated fatty acids to the biohydrogenating ruminal bacterium, *Butyrivibrio fibrisolvens*. BMC Microbiol. 10:52-62.
53. MARTIN, J.C.; VALEILLE, K. 2002. Conjugated linoleic acids: all the same or to everyone its own function? Reprod. Nutr. Dev. 42:525-536.
54. MCKAIN, N.; SHINGFIELD, K.J.; WALLACE, R.J. 2010. Metabolism of conjugated linoleic acids and 18:1 fatty acids by ruminal bacteria: products and mechanisms. Microbiol. 156:579-588.
55. MOATE, P.J.; BOSTON, R.C.; JENKINS, T.C.; LEAN I.J. 2008. Kinetics of ruminal lipolysis of triacylglycerol and biohydrogenation of long-chain fatty acids: New insights from old data. J. Dairy. Sci. 91:731-742.
56. O'SHEA, M.; LAWLESS, F.; STATON, C.; DEVERY, R. 1998. Conjugated linoleic acid in bovine milk fat: a food-based approach to cancer chemoprevention. Trends in Food Sci. & Technol. 9:192-196.
57. PERFIELD, J.W.; LOCK, A.L.; GRIINARI, J.M.; SÆBØ, A.; DELMONTE, P.; DWYER, D.A.; BAUMAN, D.E. 2007. *Trans*-9, *cis*-11 conjugated linoleic acid reduces milk fat synthesis in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 90: 2211-2218.
58. PRIETO, N.; DUGAN, M.E.R.; LÓPEZ-CAMPOS, Ó.; AALHUS, J.L.; UTTARO, B. 2013. At line prediction of PUFA and biohydrogenation intermediates in perirenal and subcutaneous fat from cattle fed sunflower or flaxseed by near infrared spectroscopy. Meat Sci. 94:27-33.
59. RIBEIRO, C.V.M.; EASTRIDGE, L.; FIRKINS, J.L.; ST-PIERRE, N.R.; PALMQUIST, D.L. 2007. Kinetics of fatty acid biohydrogenation in vitro. J. Dairy. Sci. 90:1405-1416.
60. ROSENFELD, I.S.; TOVE, S.B. 1971. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. IV. Source of hydrogen and stereospecificity of reduction. J. Biol. Chem. 246:5025-5030.
61. SACHAN, D.S.; DAVIS, C.L. 1969. Hydrogenation of linoleic acid by a rumen spirochete. J. Bacteriol. 98(1):300-301.
62. SHEN, X.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, K.; NUERNBERG, G.; ZHAO, R. 2011. *Trans*-18:1 and CLA isomers in rumen and duodenal digesta of bulls fed n-3 and n-6PUFA-based diets. Lipids. 46:831-841.
63. SHINGFIELD, K.J.; LEE, M.R.F.; HUMPHRIES, D.J.;

- SCOLLAN, N.D.; TOIVONEN, V.; REYNOLDS, C.K.; BEEVER, D.E. 2010. Effect of incremental amounts of fish oil in the diet on ruminal lipid metabolism in growing steers. *Brit. J. Nutr.* 104:56-66.
64. SINGH, S.; HAWKE, J.C. 1979. The in vitro lipolysis and biohydrogenation of monogalactosyldiglyceride by whole rumen contents and its fractions. *J. Sci. Food Agric.* 30:603-612.
65. STERK, A.; HOVENIER, R.; VLAEMINCK, B.; VAN VUUREN, A.M.; HENDRIKS, W.H.; DIJKSTRA, J. 2010. Effects of chemically or technologically treated linseed products and docosahexaenoic acid addition to linseed oil on biohydrogenation of C18:3n-3 in vitro. *J. Dairy Sci.* 93:5286-5299.
66. TROEGELER-MEYNADIER, A.; NICOT, M.C.; BAYOURTHE, C. 2003. Effects of pH and concentration of linoleic and linolenic acid on extent and intermediates of ruminal biohydrogenation in vitro. *J. Dairy Sci.* 86:4054-4063.
67. VÁRADYOVÁ, Z.; KIŠIDAYOVÁ, P.S.; DUŠAN, J. 2008. Comparison of fatty acid composition of bacterial and protozoal fractions in rumen fluid of sheep fed diet supplemented with sunflower, rapeseed and linseed oils. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 144:44-54.
68. WALLACE, R.J.; MCKAIN, N.; SHINGFIELD, K.J.; DEVILLARD, E. 2007. Isomers of conjugated linoleic acids are synthesized via different mechanisms in ruminal digesta and bacteria. *J. Lipid. Res.* 48:2247-2254.
69. WRIGHT, D.E. 1959. Hydrogenation of lipids by rumen protozoa. *Nature.* 184:875-876.
70. WRIGHT, D.E. 1960. Pectic enzymes in rumen protozoa. *Arch. Biochem. Biophys.* 86:251-254.
71. YAMAZAKI, S.; TOVE, S.B. 1979. Biohydrogenation of unsaturated fatty acids. Presence of dithionite and an endogenous electron donor in butyrovibrio fibri-solvens. *J. Biol. Chem.* 254(10):3812-3817.
72. YAÑEZ-RUIZ, D.R.; SCOLLAN, N.D.; MERRY, R.J.; NEWBOLD, C.J. 2006. Contribution of rumen protozoa to duodenal flow of nitrogen, conjugated linoleic acid and vaccenic acid in steers fed silages differing in their water-soluble carbohydrate content. *Br. J. Nutr.* 96:861-869.
73. ZENED, A.; ENJALBERT, F.; NICOT, M.C.; TROEGELER-MEYNADIER, A. 2013. Starch plus sunflower oil addition to the diet of dry dairy cows results in a trans-11 to trans-10 shift of biohydrogenation. *J. Dairy Sci.* 96:451-459.

Recibido: Septiembre 26 de 2012

Aceptado: Junio 4 de 2013

Como citar:

Castillo V., J.; Olivera A., M.; Carulla F., J. 2013. Descripción del mecanismo bioquímico de la biohidrogenación en el rumen de ácidos grasos poliinsaturados: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 459-468.

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA EN EMBARCACIONES “PARGUERAS” ARTESANALES DEL CARIBE COLOMBIANO, A TRAVÉS DE LA MECANIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE PESCA

IMPROVING EFFICIENCY OF COLOMBIAN CARIBBEAN ARTISANAL “PARGUERAS” BOATS THROUGH MECHANIZATION OF FISHING OPERATIONS

Harley Zúñiga¹, Jairo Altamar², Andrik Fernández³

¹Ingeniero Pesquero, M.Sc. Laboratorio de Investigaciones Pesqueras Tropicales, Universidad del Magdalena. Cra. 32 # 22-08, Edificio INTROPIC, Santa Marta, Colombia, hzuñiga@unimagdalena.edu.co; ²Ingeniero Pesquero, cPh.D. Laboratorio de Investigaciones Pesqueras Tropicales, Universidad del Magdalena, jaltamar@unimagdalena.edu.co; ³Ingeniero Pesquero. Programa de Ingeniería Pesquera, Universidad del Magdalena, andrikfernandezc@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 469-478, Julio- Diciembre, 2013

RESUMEN

En el Caribe colombiano existe una flota de embarcaciones artesanales denominadas “pargueras”, consideradas las más desarrolladas de la región; no obstante, las operaciones de pesca se realizan manualmente, lo que implica mayor esfuerzo físico y restricción de las zonas de pesca, haciendo de esta una actividad poco productiva; en este sentido, la incorporación de maquinaria a la flota “parguera” artesanal, contribuye a mejorar la eficiencia. En consecuencia, se diseñaron, se calcularon, se construyeron y se instalaron en una embarcación dos máquinas hidráulicas: un tambor, para calado e izado de una red y un cobra-líneas, para virar palangres y nasas. Se realizó un seguimiento de las operaciones de pesca de la embarcación con las innovaciones y la flota tradicional, para comparar tiempos y movimientos, y a partir de las capturas desembarcadas, se realizó un análisis económico comparativo. Los resultados indicaron que la unidad con las máquinas disminuyó los tiempos de calado e izado de las artes de pesca y, consecuentemente, la tripulación evidenció reducción del esfuerzo físico. El incremento de las capturas demostró que las utilidades de la embarcación innovada triplicaron a las tradicionales (229% más); sin embargo, se identificaron actos inseguros, que obligan implementar normas de seguridad, para evitar accidentes. En conclusión, la mecanización de la flota facilitó las operaciones de pesca, mejoró la posición ergonómica, aumentó el tiempo efectivo de pesca, incrementó las capturas y permitió acceder a otros caladeros para disminuir la presión que soportan los tradicionales.

Palabras clave: Pesca artesanal, maquinaria pesquera, hidráulica, Caribe colombiano.

SUMMARY

In the Colombian Caribbean a fleet of artisanal vessels called “pargueras” is considered the most developed in the region. However, fishing operations are done manually which involves physical effort and restricted fishing areas, making this an unproductive activity, in this sense, incorporating machinery to the fleet “parguera” helps to improve efficiency. Consequently, in an artisanal boat two hydraulic machines were designed, calculated, constructed and installed: A net drum for setting and hauling gillnets and a hauler for longlines and traps. Fishing operations of the vessel with the innovations and traditional fleet were monitored, to compare times and movements and a comparative economic analysis from landed catches was carried out. The results indicated that the vessel using innovations decreased the time setting and hauling of fishing gear and consequently the crew evidenced a reduction of physical effort. The increase in catches showed that the profits of the innovated vessel tripled the traditional ones (more than 229%), however, unsafe acts were identified that require implementing security standard protocols to prevent accidents. In conclusion, the mechanization of the “pargueras” fleet facilitated fishing operations, improved ergonomic position, increased effective fishing time and catches and allowed access to other fishing grounds to reduce the pressure on the traditional ones.

Key words: Artisanal fisheries, fisheries machine, hydraulic, Colombian Caribbean.

INTRODUCCIÓN

El total de la producción mundial de la pesca de captura sigue manteniéndose estable, en torno a los 90 millones de toneladas, aunque se han producido unos cambios notables en las tendencias de las capturas por país, zona pesquera y especies (FAO, 2012), de las cuales, las pesquerías de pequeña escala llegan a capturar entre un cuarto y un tercio del total de las capturas marinas del mundo (Chuenpagdee *et al.* 2006) y aunque la proporción de empleo correspondiente a la pesca de captura, se está estancando o reduciendo; esta actividad emplea más del 99% de los 51 millones de pescadores en el mundo (Berkes *et al.* 2006).

En Colombia, la actividad pesquera ha registrado un decrecimiento promedio anual del 2%, de 129.463t, en el 2000 a 113.950t, en el 2006 (INPA, 2001; CCI, 2009), debido, entre otras, al colapso de la flota de camarón de aguas someras (Zúñiga *et al.* 2006), que capturaba una porción importante de fauna acompañante y, en la actualidad, carece de acertadas medidas de manejo (Paramo & Saint-Paul, 2010). Además, en el norte del Caribe colombiano, gran parte del esfuerzo pesquero está dirigido a la explotación de los pargos y es ejercido por las comunidades de pescadores costeros del Magdalena y La Guajira y la flota de embarcaciones artesanales denominada “pargueras”, que opera desde la población de Taganga (Gómez-Canchong *et al.* 2004).

La pesca artesanal marítima desarrollada en el Caribe colombiano, se caracteriza porque ha tenido poco desarrollo tecnológico, observándose una desproporción entre el esfuerzo y la captura. Además, sus operaciones se despliegan en un radio de acción que escasamente alcanza las 10 millas náuticas de distancia, con respecto a la línea de costa. La explotación continua de los mismos caladeros en la plataforma continental registra disminución de los volúmenes de captura (Arévalo *et al.* 2004).

Los mecanismos de halado aplicados a las pesquerías de pequeña escala comenzaron a principios del siglo antepasado; en 1883, fue inventado el elevador, para extraer el pescado del bolso de los chinchorros; en 1907, elaboraron la maquinilla de tracción a caballo, pero la primera iniciativa de mecanización para la recogida de cabos de los chinchorros data de 1912, conocida como la maquinilla de Tereshenco, cuyo principio sigue vigente en la pesca de arrastre (Torbán, 1975).

En Latinoamérica, los trabajos para mejorar los mecanismos de halado de las redes de arrastre iniciaron en México, en 1986,

desarrollando modificaciones en la transmisión del malacate R600 del B/E ITMAR I (Murillo & Vásquez, 2001). Luego, en 1988, se construyeron cobra-líneas con transmisiones mecánicas, accionadas por motores a gasolina, para el virado del ancla y de palangres horizontales y verticales de la pesca de tiburón en embarcaciones menores sin cubierta, los cuales, por las condiciones del mar, resultaron ser poco eficientes (Murillo & Vásquez, 2001).

En Colombia, solamente la pesca industrial utiliza maquinas especializadas para las operaciones; no obstante, el Proyecto de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), en sus tres etapas de donación, que iniciaron en 1982, incluyó una flotilla de embarcaciones “palangreras”, para operar en el Golfo de Morrosquillo, cuyas líneas de mano verticales eran operadas por maquinillas manuales, con el antecedente del deterioro de las mismas, por la falta de costumbre en su uso (Zúñiga *et al.* 2006). En el 2001, en la Universidad del Magdalena, se construyó una máquina cobra-línea, accionada mediante un motor a gasolina (Murillo & Vásquez, 2001). En el mismo año, en el marco del Programa PRONATTA y dentro del desarrollo del Proyecto “Capacitación con transferencia de tecnología de la pesquería de sardina con red de cerco y uso de luces”, se construyó la primera máquina hidráulica, para el cobrado del cable de jareta (Zúñiga *et al.* 2002).

El presente trabajo de innovación tecnológica exploró la viabilidad de incorporar maquinaria pesquera hidráulica en la flota “parguera” artesanal y para ello, se diseñaron, se construyeron, se instalaron y se evaluaron dos máquinas para el virado de las artes de pesca, en una embarcación. Mediante un análisis comparativo entre la tecnología tradicional y la innovada, se determinó la eficiencia en términos de tiempos empleados, durante las maniobras de pesca y de resultados económicos de la producción. En el anexo 1, se presenta un listado de términos técnicos pesqueros útiles para facilitar la comprensión del manuscrito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la instalación de las maquinas, se utilizó una embarcación “parguera” con motor interno de 140 HP y eslora de 12m. La selección, se realizó previa caracterización tecnológica de la flota, que permitiera conocer las ventajas técnicas y operativas de cada embarcación.

Dimensionamiento de los órganos de trabajo y cálculo del accionamiento hidráulico: El órgano de trabajo del cobra-líneas está compuesto por el acoplamiento de un tambor de fricción y una polea. Las dimensiones del tambor, se determinaron en función del calibre del cabo seleccionado, utilizando la información de la tabla 1. El diámetro primitivo de la polea y el tambor son equivalentes y la garganta de la

Tabla 1. Dimensiones del tambor de fricción. dc: diámetro del cabo, Do: diámetro primitivo, D1: diámetro interno, D2: diámetro externo, Lt: longitud del tambor, A: longitud de D2 a Do, R, R1 y R2: radios de construcción de la curvatura del tambor.

Código de tambor	Cabo (mm)		Do	D ₁	D ₂	Lt	A	R	R ₁	R ₂
	Cables (diámetro)	Cabos								
1	7,5	19	135	170	220	125	78	210	14	28
2	9,0	24	170	215	275	160	95	265	18	35
3	11,5	32	210	265	340	195	120	325	22	44
4	13,5	36	245	310	400	230	140	380	25	50
5	15,0	40	270	345	445	255	155	425	28	56
6	17,0	48	305	290	500	290	175	480	32	64
7	19,0	56	340	435	550	325	195	540	36	72
8	22,5	64	405	515	655	380	230	640	42	84
9	24,5	72	440	565	725	415	255	695	45	92
10	28,0	86	505	645	625	475	290	795	52	104
11	30,0	95	540	690	885	510	310	850	56	112

Tomado de Torbán (1975)

polea, se construyó con un ángulo de acuñamiento entre 40° y 45°, según recomendación de Torbán (1975).

La capacidad del tambor de red (Ec. 1), se determinó según Okonski & Martini (1987), teniendo en cuenta para su dimensionamiento las recomendaciones pragmáticas reportadas por Torbán (1975).

$$LR = \frac{\pi \times Cre \times Lt}{4 \times dc^2} (De^2 - Di^2) \tag{1}$$

Donde:

- LR= Longitud de la red
- Di = Diámetro interno del tambor
- De= Diámetro externo
- Lt = Longitud del tambor
- dc = Diámetro del mazo de red
- Cre = Coeficiente de relleno (0,85)
- t = Paso de enrollamiento del órgano flexible sobre el tambor

Siendo:

- Di = (14 a 23) dc el óptimo para pesca Di ≥ 20 dc
- Lt = (40 a 60) t considerando el espacio disponible
- De = (2,5 a 3,7) Di
- t = 1,06dc + (0,2 - 0,4) mm

Para la selección de la bomba y el motor hidráulico, se empleó el catálogo de motores marca Char-Lynn, en función de las revoluciones del órgano de trabajo (Ec. 2) y el torque en el eje expresado en lbf.pulg (Ec. 3).

$$\eta_{ot} = \frac{Vv}{\pi * D_o} \tag{2}$$

$$M_{ot} = \frac{T * D_o}{2} \tag{3}$$

Donde:

- n_{ot} = Revoluciones del órgano de trabajo
- M_{ot} = Torque
- Vv = Velocidad de virado
- D_o = Diámetro primitivo

La potencia requerida para el accionamiento de los órganos de trabajo N_{ot} (Ec. 4), se calculó a partir del torque (par-motor) M_{ot} y las revoluciones n_{ot}; expresado en caballos de fuerza (HP).

$$N_{ot} = \frac{M_{ot} * n_{ot}}{726,1} [HP] \tag{4}$$

Una vez conocidos los parámetros técnicos de la bomba hidráulica, se calcularon los diámetros de las tuberías de presión y retorno, a partir del caudal y la velocidad máxima admitida. Las revoluciones del embrague requerido para absorber la potencia de la bomba, se calculó a 2/3 de las revoluciones del motor propulsor y la fuerza, se tomó del eje del cigüeñal, mediante el acople de una polea de 80 mm de diámetro de doble entrada y acuñaamiento tipo B.

Establecidas las dimensiones de los órganos de trabajo, se seleccionaron los materiales para la construcción de la estructura, los cuales, fueron modelados con el programa SAP2000 V11 y regulados con los reglamentos más conocidos, tales como: ACI en USA, RCDF en México y EUROCODIGO en Europa (NTC-RCDF, 2004).

Para evaluar la eficiencia entre tecnologías, se compararon los tiempos de las maniobras de pesca y los aspectos económicos, que fueron obtenidos mediante registros a bordo y en puerto, tanto de la captura de la embarcación con las innovaciones como de los desembarques del resto de la flota tradicional. Basados en un diseño de muestras independientes, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, para comparar medias de muestras relacionadas con el análisis económico. Además, la comparación gráfica de las medias de gastos, de ingresos, de utilidades y de capturas, se realizó mediante la técnica bootstrap (Efron, 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de trabajo de las máquinas: Para una fuerza de tiro de 200kg y una velocidad de virado de las artes de pesca de 60m/min, las revoluciones del órgano de trabajo fueron de 136 RPM y el torque o par-motor en el eje de 1.219,2lbf. pulg. El gasto volumétrico de admisión: $190\text{cm}^3/\text{rev}$. Los diámetros internos de las mangueras calculados fueron $\frac{3}{4}$ ", para las de alta y retorno y $\frac{1}{2}$ ", para las de alta, que van y regresan de la válvula de control al motor hidráulico.

Tambor de red: Las dimensiones calculadas fueron: $D_i=113\text{mm}$, $D_e=1060\text{mm}$ y $L_t=1220\text{mm}$. Las tapas, se construyeron con plástico reforzado de polietileno, acopladas mediante tornillos a dos coronas de acero inoxidable de $\frac{3}{16}$ " y $\varnothing 50$ cm, que van soldadas interna y externamente al cilindro central. Para la estructura del caballete de soporte, se utilizaron tubos de acero inoxidable 304, con espesores SCH 10 y SCH 40.

En el interior de cilindro central, se aloja un eje de acero 4140 de $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " que, a su vez, descansa sobre chumaceras de pedestal de contacto rodante. La base del caballete aloja al motor hidráulico, cuyo eje está acoplado al eje principal, mediante un entredós de acero 4140 de $\varnothing 2$ ", cuya función

es servir de fusible para proteger el eje del motor, en caso de sobre esfuerzo.

Órganos de trabajo del cobra-línea: Están constituidos por dos (2) componentes: i) una polea viradora con $D_o=140\text{mm}$; $D_e=240\text{mm}$; ángulo de acuñaamiento 40° y separación de garganta 40mm y, ii) un tambor de fricción cuyo $D_o=140\text{mm}$; $D_e=240\text{mm}$; $D_i=170\text{mm}$; $L=125\text{mm}$, construidos en aleación de aluminio y cobre. Ambos soportados mediante un eje de acero inoxidable de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ ".

Cobralínea con estructura y pescante acoplados: El material empleado para la construcción de la estructura de soporte del cobra-línea es acero inoxidable 304, con tubo de $\varnothing 4$ " SCH 10 y láminas de $\frac{1}{4}$ " y $\frac{3}{16}$ " en la base y la caja que soporta a los órganos de trabajo. El pescante va acoplado a la estructura de la máquina y es de acero inoxidable 304, con tubos de $\varnothing 3$ " SCH 10. Los órganos de trabajo van centrados mediante chumaceras de pared dentro de una caja de acero inoxidable, que va soldada a la estructura principal. El eje del motor hidráulico va conectado al eje central que sostiene al tambor de fricción y la polea cobra-línea, mediante un entredós, que hace las veces de fusible de protección al eje del motor.

Elementos del sistema hidráulico: El esquema de la figura 1 muestra el sistema hidráulico integrado a los órganos de trabajo, el cual, está constituido por: una bomba hidráulica marca Vicker 20; un motor hidráulico marca Char- Lynn serie 2000 tipo orbit de alto torque y bajas revoluciones; un control de mando de 4 vías, con válvula de alivio incorporada; filtro de retorno; sistema de mangueras hidráulicas de alta presión R_2 de $\varnothing \frac{3}{4}$ " y de retorno R_1 de $\varnothing \frac{3}{4}$ ", con sus correspondientes cápsulas, uniones, reducciones y racores y, finalmente, mangueras de presión R_2 de $\varnothing \frac{1}{2}$ ", en la entrada y salida del motor hidráulico. Tanque hidráulico construido en hierro "cool rol" lámina No. 8, cuyas dimensiones son $40 \times 50 \times 30\text{cm}$, para almacenar 18gl, con espacio libre de cabeza de 5,8gl, que equivale a 73mm, con sus correspondientes accesorios: filtro de retorno, filtro de descarga en su interior, tapa filtro y visor de nivel.

En cuanto a la modelación tridimensional de las estructuras, los resultados indicaron que las dimensiones y la selección de materiales resultaron adecuadas y satisfacen los esfuerzos soportados durante las operaciones (Figura 2), solamente se detectó una zona crítica en el tubo vertical del pescante, que se reforzó con un "pie de amigo", sujeto a la borda de la embarcación.

El análisis económico comparativo, se realizó con 14 registros de desembarcos, cuatro de ellos a la embarcación con innovaciones y 10 a las que operaron en forma tradicional. Los resultados de la prueba de Wilcoxon

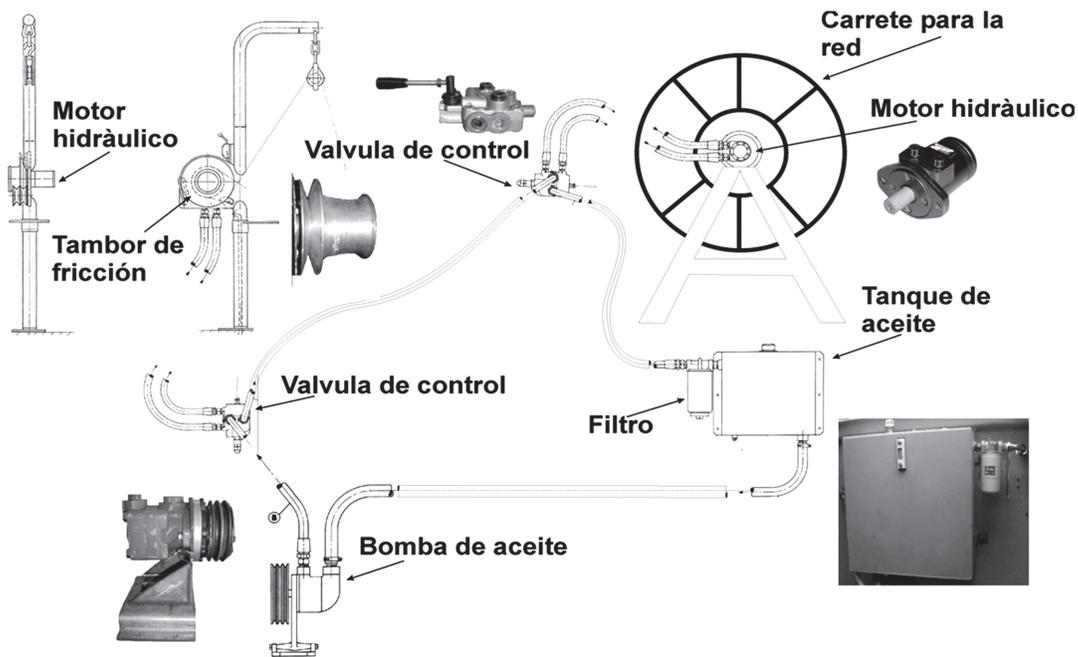


Figura 1. Esquema del sistema hidráulico para accionamiento de dos máquinas (cobra-líneas y tambor de red).

indicaron diferencias entre las medias de las tecnologías comparadas ($p < 0,05$), excepto en los gastos operativos, que fueron similares en los dos modelos comparados. Los promedios de captura de la embarcación innovada son del orden de 787kg, en comparación con las capturas de las embarcaciones tradicionales de 280kg, para generar una utilidad promedio que alcanza el 229% más, con respecto a las que operaron manualmente (Figura 3).

Diferentes factores tienen un efecto sobre la producción de las operaciones pesqueras, entre ellos, se resaltan aspectos biológicos, meteorológicos, oceanográficos, artes de pesca, equipos electrónicos, mercadeo, manejo de pesquerías y junto con estos, la maquinaria pesquera, que resulta decisiva en el éxito de las maniobras (Thomsen *et al.* 2004).

Las primeras iniciativas de mecanización de la flota artesanal en México y en Colombia incorporaron máquinas cobra-líneas, cuyos accionamientos eran mecánicos con motores a gasolina y el empleo de transmisiones por cadena (Murillo & Vásquez, 2001; Zúñiga *et al.* 2002), contrario a las máquinas desarrolladas en este trabajo, que se construyeron con accionamiento hidráulico.

Por las condiciones del mar Caribe, que es más agitado que el Pacífico mexicano, no es conveniente emplear motores a gasolina en la cubierta de las embarcaciones artesanales; en este sentido, los sistemas hidráulicos son recomendables para

trabajo en el mar, brindándole al pescador mayor seguridad a bordo (Czekaj, 1988). Otra diferencia de las experiencias realizadas en México es que estuvieron orientadas hacia una pesca mono-específica, contrario a la de Colombia, cuya intención de incrementar la eficiencia se logró al convertir esta embarcación en multipropósito, instalando más de una máquina que permitiera el uso de diferentes artes de pesca y la diversificación de las capturas.

A nivel mundial, se ha comprobado que el desarrollo tecnológico, debido al uso de maquinaria para la pesca, GPS y ecosonda tienden a aumentar el esfuerzo pesquero (ICES, 2006), principalmente, incrementando el poder de pesca en términos de operación del número y magnitud de las artes; no obstante, para el desarrollo de una pesca sostenible y acorde a las normas del código de conducta para la pesca responsable (Caddy, 2000; Sinclair *et al.* 2002), dependerá de los pescadores y de los administradores del recurso que fomenten la exploración de otras zonas de pesca y limiten las frecuentemente explotadas.

El proyecto UE-INPA VECEP (1999) implementó tecnologías que han resultado exitosas en las pesquerías de la región, tales como la incorporación de geo-posicionadores satelitales y ecosondas; sin embargo, la reticencia de los pescadores a experimentar innovaciones tecnológicas tendientes a mejorar su producción ha sido puesta en consideración (Marín, 2000); no obstante, los buenos resultados obtenidos

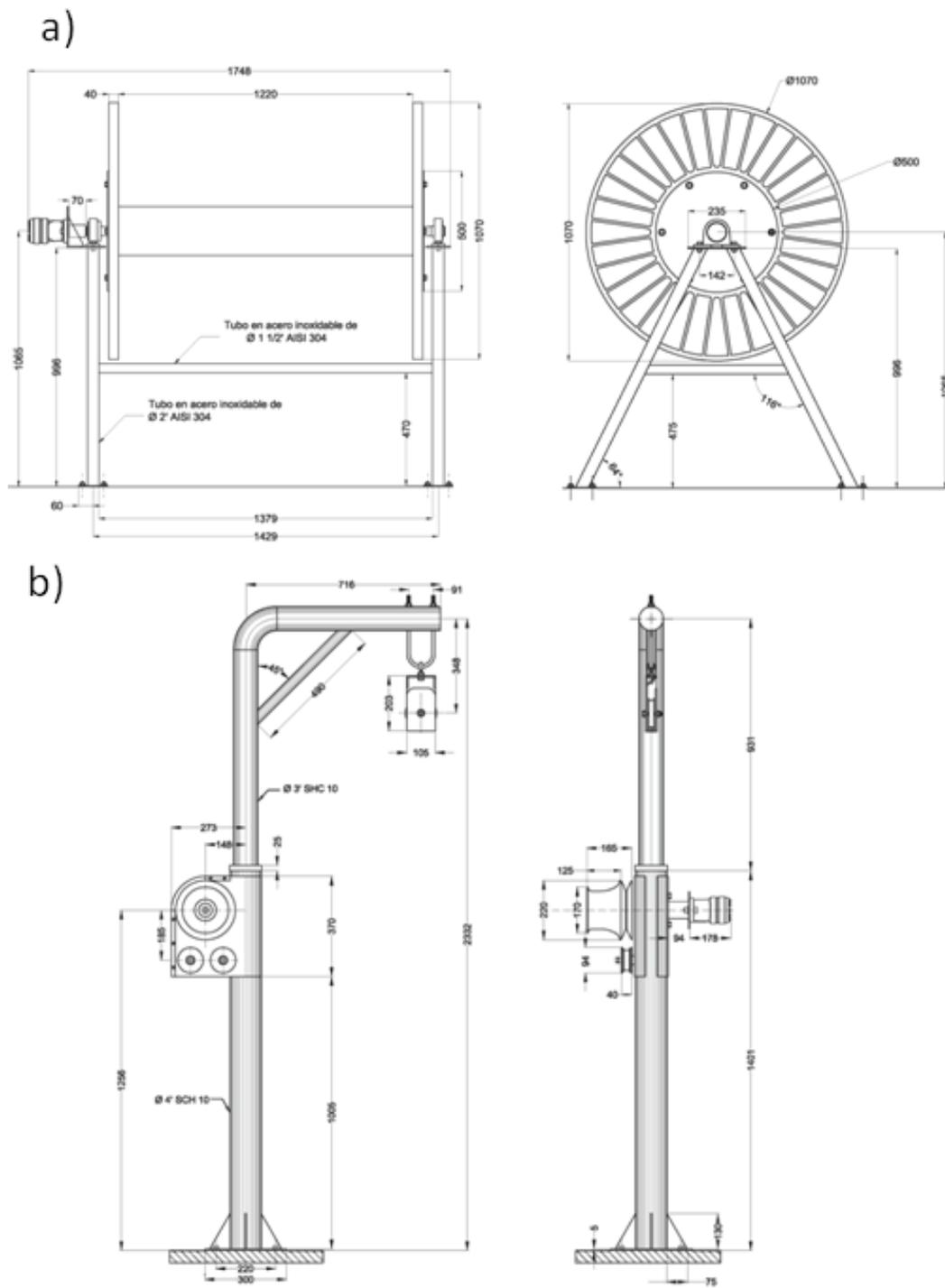


Figura 2. Plano general de a) tambor de red y b) cobra-línea (vistas frontal y lateral).

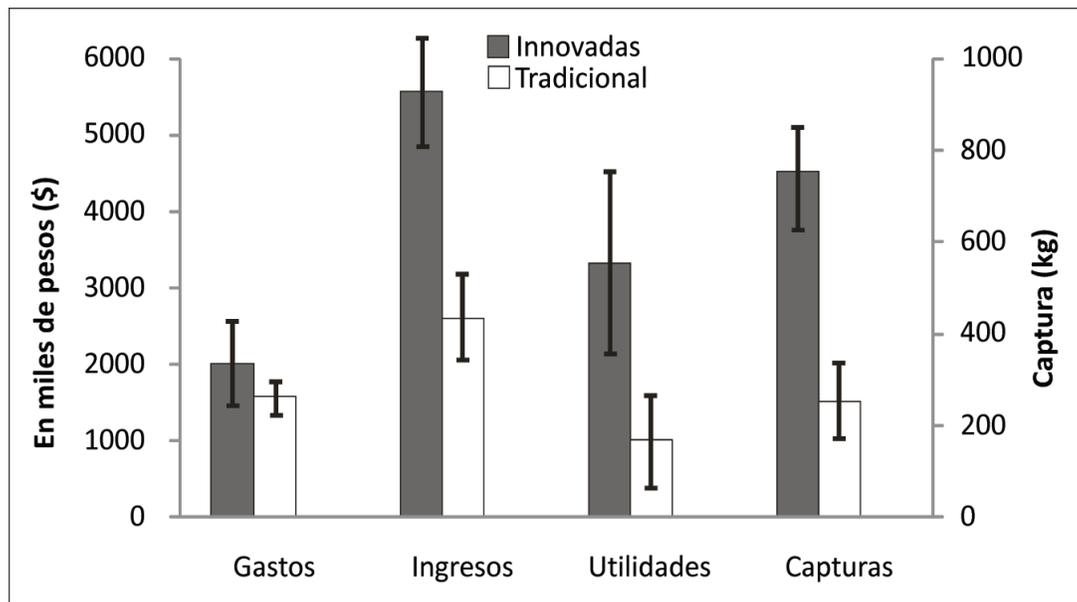


Figura 3. Comparación de medias de las variables económicas y la captura, registradas en los desembarcos de la embarcación con la tecnología innovada y las tradicionales.

de la comparación de las embarcaciones que operan en forma tradicional y la innovada demostraron un aumento en las utilidades en más del 200%, por lo cual, el proceso de apropiación de la nueva tecnología fue rápidamente asimilado.

Otras pesquerías, a nivel mundial, han incorporado intervenciones ergonómicas simples, que han contribuido a reducir la exposición a los factores de riesgos usuales en las pesquerías (Mirka *et al.* 2011; Kucera & McDonald, 2010). En este estudio, se destaca la mejora de parámetros ergonómicos, ya que durante la operación de la máquina fue notoria la corrección de la posición de trabajo de los pescadores. Además, se identificaron acciones durante la maniobra, que aumentan los riesgos de accidentes. Es sabido que la combinación de máquinas y de aparejos hacen de la pesca una de las actividades laborales, en la que se producen accidentes de trabajo graves (Aasjord, 2006; Saldanha *et al.* 2012). Los riesgos de accidentes, se presentan tanto en la pesca artesanal como industrial y poco son tenidos en cuenta al momento del diseño de embarcaciones y de maquinarias pesqueras (Chauvin *et al.* 2008; Kucera *et al.* 2010).

A lo anterior, se agrega la reducción del esfuerzo físico, demostrado en la disminución de los tiempos efectivos de pesca (Tabla 2). Particularmente, el caso de las nasas que, tradicionalmente son caladas por parejas a profundidades cercanas a 60m y levantadas en forma manual por tres o cuatro hombres, demorando alrededor de media hora (Zúñiga *et al.* 2009), mientras que con la máquina instalada,

se cobraba un tren compuesto por 10 nasas, separadas 30m entre sí, en un tiempo promedio de 14 minutos. Por otro lado, en la operación del palangre, se pudo observar un mayor tiempo en la maniobra de calado, debido a que la utilización de un palangre mecanizado requiere el uso de ganchos para sujetar los bajantes a la línea madre, lo que demanda mayor tiempo, circunstancia que no se presenta en los artesanales, cuyos bajantes permanecen anudados a la línea principal.

Al reducir el esfuerzo físico y el tiempo efectivo de pesca es posible aumentar el esfuerzo pesquero por dos vías: i) más disponibilidad de tiempo para seguir pescando o, ii) aumentando el tamaño de las artes; sin embargo, la incorporación de maquinaria pesquera podría ser perjudicial para el ecosistema marino, si se utiliza para continuar aumentando los regímenes de capturas en zonas que hoy son objeto de sobre-explotación. Una pesquería sostenible, eficiente y rentable, debería apuntar al uso de artes de pesca más selectivos, diferentes objetivos de captura, exploración de nuevos sitios de pesca, disminución del tiempo de viaje, mejoramiento de las condiciones ergonómicas y reducción de índices de accidentes.

Agradecimientos: La investigación, se desarrolló en el marco del proyecto "Incorporación de la mecanización a la flota artesanal parguera como una alternativa para mejorar su eficiencia" (Código: 032-2007T6669-342-07), financiado por la Universidad del Magdalena y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Agradecimientos a las tripulaciones del

Tabla 2. Comparación de los tiempos de las operaciones de pesca entre las tecnologías tradicional e innovada.

Arte de pesca	Operación	Tradicional (min)	Innovada (min)
Palangre	Calado	35	45
	Virado	95	35
Nasa	Calado	14	3
	Virado	210	15
Red de enmalle	Calado	15	12
	Virado	45	43

Pulí y Pescamar I y a los armadores de la flota “parguera” de Taganga. J.A. también reconoce a Karim Erzini, del Coastal Fisheries Research Group en la Universidad de Algarve, por el apoyo logístico en el marco del Programa Doctoral en Ciencias del Mar y del Ambiente (Universidad de Aveiro). Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- AASJORD, H. 2006. Tools for improving safety management in the Norwegian fishing fleet occupational accidents analysis. *Int. Marit. Health.* 57:1-4.
- ARÉVALO, J.C.; MELO, G.; MANJARRÉS, L. 2004. Inventario y caracterización general de la flota de lanchas “pargueras” de Taganga, Mar Caribe de Colombia. En: Manjarrés, L. (ed.) *Pesquerías demersales del área norte del Mar Caribe de Colombia y parámetros biológico-pesqueros y poblacionales del recurso pargo.* INPA, COLCIENCIAS, Unimagdalena. (Santa Marta). p.37-44.
- BERKES, F.; HUGHES, T.P.; STENECK, R.S.; WILSON, J.A.; BELLWOOD, D.R.; GRONA, B. 2006. Globalization, roving bandits, and marine resources. *Science.* 311:1557-1558.
- CADDY, J.F. 2000. The code of conduct for responsible fisheries as a basis for evaluating fisheries research: a suggested operational procedure. *Fish. Res.* 48:205-211.
- CCI. 2009. Pesca y acuicultura, Colombia 2008. CCI. (Bogotá). 125p.
- CORTÉS, A. 2009. Pesca experimental de camarón empleando nasas en el área comprendida entre la desembocadura del río Piedras y Boca de Camarones, Mar Caribe de Colombia. Tesis Ingeniería Pesquera. Universidad del Magdalena. (Santa Marta). 97p.
- CZEKAJ, D. 1988. Aplicación de la Ingeniería: 3 Maquinaria hidráulica en embarcaciones pesqueras pequeñas. FAO. (Roma). 204p.
- CHUENPAGDEE, R.; LIGUORI, L.; PALOMARES, M.L.D.; PAULY, D. 2006. Bottom-up, Global estimates of small-scale marine fisheries catches. *Fisheries Centre Res. Report.* (British Columbia). 105p.
- CHAUVIN, C.; Le BOUAR, G.; RENAULT, C. 2008. Integration of the human factor into the design and construction of fishing vessels. *Cogn. Tech. Work.* 10:69-77.
- EFRON, B. 1987. Better bootstrap confidence intervals. *Theory and methods.* *J. Statistics Assoc.* 82:171-185.
- FAO. 2012. Informe SOFIA. Estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. FAO. (Roma). 231p.
- GÓMEZ-CANCHONG, P.; MANJARRÉS, L.; DUARTE, L.; ALTAMAR, J. 2004. Atlas pesquero del área norte del mar Caribe de Colombia. Universidad del Magdalena. (Santa Marta). 230p.
- ICES. 2006. Report of the ICES-FAO Working group on fishing technology and fish. behaviour. Report de ICES-FAO. (Turkey). 180p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUICULTURA

- INPA-. 2001. Boletín estadístico pesquero colombiano, 1999-2000. INPA. (Bogotá). 114p.
15. KUCERA, K.L.; LOOMIS, D.; LIPSCOMB, H.; MARSHALL, S.W. 2010. Prospective study of incident injuries among southeastern United States commercial fishermen. *Occup. Environ. Med.* 67:829-836.
16. KUCERA, K.L.; McDONALD, M.A. 2010. Occupational stressors identified by small-scale, independent commercial crab pot fishermen. *Safety Sci.* 48:672-679.
17. MARÍN, W. 2000. Cultura y modernización de la pesca artesanal en Chile: adaptaciones, cambios e hibridaciones en una caleta de Algareros. *Rev. Mad.* 17:113-143.
18. MIRKA, G.A.; NING, X.; JIN, S.; HADDAD, O.; KUCERA, K.L. 2011. Ergonomic interventions for commercial crab fishermen. *International J. Industr. Ergonom.* 41:481-487.
19. MURILLO, A.; VÁSQUEZ, A. 2001. Memorias del diplomado de diseño y construcción de maquinaria pesquera. Universidad del Magdalena. (Santa Marta). CD-ROM. 185p.
20. NTC-RCDF, 2004. Normas Técnicas Complementarias del RCDF-2004. Gaceta oficial del gobierno del Distrito Federal enero del 2004.k
21. OKONSKI, S.L.; MARTINI, L.W. 1987. Artes y Métodos de pesca. Materiales didácticos para la capacitación técnica, Hemisferio Sur. (Buenos Aires). 339p.
22. PARAMO, J.; SAINT-PAÛL, U. 2010. Morphological differentiation of southern pink shrimp *Farfantepenaeus notialis* in Colombian Caribbean Sea. *Aquat. Living Resour.* 23:95-101.
23. SALDANHA, M.; CARVALHO, R.; OLIVEIRA, L.; CELESTINO, J.; MACÊDO, I.; JAESCHKE, A. 2012. The construction of ergonomic demands: application on artisan fishing using jangada fishing rafts in the beach of Ponta Negra. *Work.* 41:628-635.
24. SINCLAIR, M.; ARNASON, R.; CSIRKE, J.; KARNICKI, Z.; SIGÚRJONSSON, J.; SKJOLDAL, H.; VALDIMARSSON, G. 2002. Responsible fisheries in marine ecosystem. *Fish. Res.* 58:255-265.
25. TORBÁN, S.S. 1975. Mecanización de los procesos de la pesca industrial. *Pishevaya Promishlemost.* (Moscú). 210p.
26. THOMSEN, B.; REVILL, A.; RIHAN, D.; EIGAARD, O. 2004. Efficiency and productivity in fish capture operations. Working group on fishing technology and fish behavior. ICES-FAO Report. (Poland). 189p.
27. UE-INPA VECEP. 1999. Resultado del programa de pesca, Colombia. Capacitación recursos humanos. (Bogotá). CD-ROM. 107p.
28. ZÚÑIGA, H.; ALTAMAR, J.; HINCAPIÉ, L.; BLANCO, Y.; FERNÁNDEZ, A. 2009. Mecanización de la flota de embarcaciones pargueras del Caribe colombiano como innovación para mejorar su eficiencia. Reunión Nac. y Expoingeniería ACOFI. (Santa Marta). CD-ROM.
29. ZÚÑIGA, H.; ALTAMAR, J.; MANJARRÉS, L. 2006. Diagnostico tecnológico de la flota de arrastre de camarón en el mar Caribe de Colombia: modificaciones para mejorar su eficiencia. FAO. 20p.
30. ZÚÑIGA, H.; HINCAPIÉ, L.; ATENCIO, M. 2002. Manual para la pesca de sardinas con redes de cerco de jareta y luces. Publideas. (Santa Marta) 35p.

Recibido: Febrero 27 de 2013

Aceptado: Octubre 27 de 2013

Como citar:

Zúñiga, H.; Altamar, J., Fernández, A. 2013. Mejoramiento de la eficiencia en embarcaciones "pargueras" artesanales del caribe colombiano, a través de la mecanización de las operaciones de pesca. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 469-478

Anexo 1. Listado abreviado y explicativo de términos técnicos pesqueros utilizados en el manuscrito, relacionados según el orden de aparición, tomado de Cortés (2009) y autores.

Chinchorro: es una red de tiro operada desde la playa; para ser operado, se necesita la fuerza de varios hombres para halar el arte hacia la costa.

Recursos demersales: especies que viven cerca del fondo y que dependen de él. El término "pez demersal", usualmente, se refiere al modo de vida del adulto.

Recursos pelágicos: especies que pasan la mayoría de su vida en la columna de agua con poco contacto o dependencia del fondo. Usualmente, se refiere a la etapa adulta de una especie.

Cobra-línea: máquina para halar las artes de pesca tirando de cabos o cables.

Jareta: cabo que pasa por las argollas colocadas en la parte inferior de una red de cerco, es útil para cerrar la red por abajo y formar el bolso.

Red de enmalle: arte de pesca que consiste de una o varias redes que operan verticalmente en la columna de agua, en la cual, los peces al entrar en contacto con ella quedan enredados o enmallados.

Cobrado o virado: maniobra en la que las artes de pesca son regresadas a cubierta, se puede realizar mediante la acción de virar un cabrestante.

Adujado: recoger en vueltas o roscas circulares un cabo, cadena o vela enrollada.

Tambor: mecanismo que sirve para enrollar un cable y cuya rotación permite tirar de él.

Nasa: arte de pesca; son trampas o jaulas empleadas para capturar peces, crustáceos o cefalópodos.

Calado: maniobra para disponer en el agua debidamente un arte de pesca.

REMOCIÓN DE PLOMO Y NÍQUEL EN SOLUCIONES ACUOSAS USANDO BIOMASAS LIGNOCELULÓSICAS: UNA REVISIÓN

REMOVAL OF LEAD AND NICKEL IN AQUEOUS SOLUTIONS USING LIGNOCELLULOSIC BIOMASS: A REVIEW

Edgar Quiñones¹, Candelaria Tejada², Cesar Arcia³, Víctor Ruiz⁴

¹ Ing. Civil. Ph.D. en Ingeniería Ambiental. Docente de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Cartagena, 130006. Avenida el Consulado calle 30 N° 48-152, Cartagena-Bolívar, Colombia, garedbolanos@hotmail.com; ² Ing. Química. Magister en Educación. Candidata a Magister en Ingeniería Ambiental. Docente Universidad de Cartagena, calle 30 # 50-100, Cartagena-Bolívar, Colombia, ctejadat@unicartagena.edu.co; ³ Ing. Civil. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cartagena, 130006, Cartagena-Bolívar, Colombia, arcialafont@yahoo.com; ⁴ Ing. Civil. Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad de Cartagena, 130006, Cartagena-Bolívar, Colombia, v_ruiz_r@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 479-489, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

En la presente revisión, se identifican los bioadsorbentes extraídos de biomasa residual utilizada en la remoción de dos metales pesados, que presenta una amplia toxicidad para el ambiente: plomo y níquel. Se evalúa la capacidad de remoción de los mismos, destacando aquellos en los que se han obtenido altos porcentajes de remoción, mostrando la cinética aplicada en estos experimentos. Se encontró, que los bioadsorbentes más usados incluyen residuos de madera, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales y cítricos. Para la remoción de plomo (II), el bagazo de caña de azúcar, con una capacidad de remoción de 333mg/g y para el níquel (II), la corteza de Acacia, con una capacidad de remoción de 294,1mg/g, han sido los bioadsorbentes con mayor eficiencia de remoción. Se encuentra que, en la mayoría de los experimentos, la cinética del proceso de adsorción es regida por la ecuación cinética de pseudo-segundo orden. Se recomienda el diseño de plantas piloto para la remoción de iones metálicos con las biomasa que mostraron mayor capacidad de adsorción, con el fin de que estos procesos puedan ser llevados a escala industrial.

Palabras clave: Adsorción, bioadsorbente, ion metálico.

SUMMARY

The present review identifies bioadsorbents, extracted from residual biomass used in the removal of two highly toxic heavy metals in the environment: lead and nickel. The ability

of removal was evaluated, highlighting those which showed removal, presenting the kinetics applied in these experiments. The bioadsorbents used include wood waste, nut shells, grain waste and citrus. It was found that for the removal of lead(II), the sugar cane bagasse with a removal capacity of 333mg/g and for nickel (II) acacia bark with a removal capacity of 294.1mg/g, stand out. These bioadsorbents are those reported with efficient removal ability. The kinetics of the adsorption process in most of the revised experiments is governed by the rate equation of pseudo-second order. A design of a pilot plant for removal of metal ions with biomasses with high adsorption capacity is recommended in order that these processes can be carried out in an industrial scale.

Key words: Adsorption, bioadsorbent, metal ion.

INTRODUCCIÓN

Como constituyente importante de muchas aguas residuales industriales, se encuentran metales pesados, aunque su cuantificación sea a niveles de trazas (Ahluwalia & Goyal, 2007). Cualquier catión que tenga un peso atómico superior a 23, se considera un metal pesado; entre ellos, se puede destacar el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio, entre otros (Alonso, 2008; Cavaco *et al.* 2007). Todos ellos, sustancias contaminantes que se deben tener obligatoriamente en consideración, para fijar valores límites de emisiones, aunque algunos en pequeñas cantidades son imprescindibles para el normal desarrollo de

la vida biológica, por ejemplo, el crecimiento de las algas (Manzoor *et al.* 2006; Mohan & Pittman, 2006).

El incremento en el uso de sustancias químicas en los procesos industriales ha resultado en la generación de grandes cantidades de efluentes acuíferos, que contienen altos niveles de contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo cual, causa severos daños a la vida acuática, además, las sales de estos son solubles en agua y, por tanto, no pueden ser separadas por métodos ordinarios (Hussein *et al.* 2004); precisamente, por tal razón surge la bioadsorción como alternativa (Pinzón-Bedoya & Vera-Villamizar, 2009).

La adsorción es un proceso mediante el cual, se extrae materia de una fase y se concentra sobre la superficie de otra. La sustancia que se concentra en la superficie se llama "adsorbato" y la fase sobre la que se da el proceso "adsorbente"; en este proceso debe existir afinidad del adsorbente por los adsorbatos, con el fin de que estos últimos sean transportados hacia el sólido, donde van a ser retenidos. Si las moléculas penetran al interior de la fase sólida, el proceso se conoce como absorción, mientras que el término sorción, generalmente es utilizado cuando los procesos de adsorción y absorción ocurren simultáneamente y no se pueden distinguir uno de otro (Dabrowski, 2001; Cañizares-Villanueva, 2000).

En cuanto a la cinética de la adsorción, describe la velocidad de atrapamiento del adsorbato, lo que controla el tiempo de residencia en la interfase sólido-disolución del efluente tratado (Ho & McKay, 1999; Cheung *et al.* 2000). Para describir la cinética del proceso de adsorción, se deben tener en cuenta las siguientes etapas: la transferencia de masa del ión metálico desde el seno de la solución hacia la superficie del adsorbente; la adsorción del ión metálico y la difusión interna del ión metálico en el adsorbente. Para ello, se usan los modelos que se detallan a continuación: el primero es el modelo de Primer Orden Reversible, que se basa en la suposición que a cada ión metálico se le asigna un sitio de adsorción del material adsorbente y, por tanto, el mecanismo y la velocidad de adsorción dependerá de varios factores como: la presencia de otro ion en la solución, la selectividad, tipo y, en general, características del adsorbente. En términos de velocidad de reacción, el modelo se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 * (q_e - q_t)$$

Donde q_t (mmol/g) es la cantidad adsorbida en un tiempo t , q_e (mmol/g) es la cantidad adsorbida en el equilibrio y k_1 (1/min) es la constante cinética de primer orden.

El Modelo de Pseudo Segundo Orden, desarrollado por Ho & McKay (1999), supone que el adsorbato se adsorbe en dos sitios activos de la biomasa, por tanto, el mecanismo

controlante del fenómeno es la velocidad de adsorción del ion metálico en el adsorbente y no la transferencia de masa. En términos de velocidad de reacción, se expresa como:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 * (q_e - q_t)^2$$

Integrando la ecuación anterior y manteniendo constantes las condiciones de contorno descritas para este modelo, se tiene:

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 * q_e^2} + \frac{t}{q_e}}$$

Donde k_2 es la constante cinética de Pseudo Segundo Orden (g/mmol.min) y $h = k_2 * q_e^2$ siendo h (mmol/g.min) la velocidad inicial de adsorción.

Otro de los modelos usados es el de Elovich, el cual, supone que los sitios activos del bioadsorbente son heterogéneos y, por ello, exhiben diferentes energías de activación, basándose en un mecanismo de reacción de segundo orden, para un proceso de reacción heterogénea. En términos de velocidad de reacción, se expresa como:

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$$

Donde α (mmol/gmin) es la velocidad inicial de adsorción y β está relacionado con el grado de cobertura de la superficie y la energía de activación implicada en la quimisorción (g/mmol) (Cheung *et al.* 2000).

Por último, también se tiene en cuenta el modelo de Difusión Intraparticular, que establece un proceso controlado por la adsorción en los poros, en el que: la velocidad inicial es directamente proporcional a la concentración del soluto, se caracteriza por la dependencia entre la adsorción específica y la raíz cuadrada del tiempo, siendo la pendiente la velocidad de difusión (Weber & Morris, 1963). Con base en lo anterior, la ecuación que define la difusión intraparticular viene dada por:

$$q_t = k * \sqrt{t}$$

Donde k (mmol.g⁻¹.min^{-1/2}) es la constante de velocidad de difusión intraparticular.

La actividad industrial y minera supone una preocupación importante en salud pública, por su toxicidad aguda y por la amplia variedad de fuentes de exposición, al arrojar al ambiente metales tóxicos, como el plomo y el níquel. Esta situación ha conducido a la búsqueda de tecnologías para

resolver este problema, utilizando métodos tradicionales que, en su mayoría, son de alto costo e ineficiencia; sin embargo, surgen alternativas, como la adsorción con biomasa, que es de bajo costo y amigable con el ambiente, puesto que ofrece la posibilidad de recuperar desechos agrícolas e industriales para su posterior uso, generándose un valor agregado, que contribuye a la sustentabilidad del sistema. Es por las razones mencionadas, que en el presente trabajo se realiza una revisión de la literatura articulada con el uso de diferentes biomasa vegetales residuales para remover metales pesados, efectuando una descripción de las más utilizadas en la remoción de plomo y de níquel en aguas residuales, identificando aquellas con las que se han obtenido mejores resultados.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de artículos, se realizó en las bases de datos de ScienceDirect, con palabras clave, tales como biosorption, adsorption, remotion, heavy metal y los símbolos atómicos de los metales (Pb, Ni). Los resultados fueron clasificados, teniendo en cuenta que fueran de los últimos seis años y que en el artículo publicado, se estudiara el uso de biomasa residual vegetal. Se organizaron las biomasa encontradas, destacando en una tabla aquellas con las que se obtuvieron mejores resultados, identificando el tipo de biomasa, el metal que remueve, la capacidad de adsorción y la referencia bibliográfica, con el fin de estudiar aquellas, con las cuales, se pueda escalar un proceso de adsorción de metales pesados, en Colombia.

Además, se identificaron las ecuaciones cinéticas usadas en los artículos consultados, que permiten modelar la cinética de adsorción de cinco metales: plomo, níquel, cadmio, cromo y mercurio, para determinar cuál de las ecuaciones es la más aplicable y, en general, la que mejor describe el proceso de adsorción con biomasa residual.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Biomasa usadas en la remoción de plomo: Al revisar los artículos consultados, se encuentra que son diversas las biomasa lignocelulósicas residuales usadas para la remoción de metales pesados, en aguas contaminadas.

Bulut & Tez (2007), utilizando aserrín de madera de Nogal (*Juglans regia*), mostraron que la máxima adsorción de Pb(II) en solución se obtuvo con un tiempo de contacto de 60min, una concentración inicial del metal de 200mg/L, una temperatura de 25°C y una velocidad de agitación de 150rpm. Además, la ecuación de la cinética que mejor ajustó los datos experimentales fue la de pseudo-segundo orden con un R^2 de 0,9996; los autores reportaron una máxima adsorción de Pb(II) de 3,78mg/g.

El potencial de biosorción de la corteza de pino (*Pinus bru-*

tia) para la eliminación de iones Pb(II) fue evaluada por Gundogdua *et al.* (2009), quienes obtuvieron la máxima capacidad de adsorción de 76,8mg/g, con un pH de 4, un tiempo de 4 horas, una concentración inicial del metal entre 50 y 1000mg/L y una masa de la corteza de 1g/L; los autores reportaron que el modelo cinético que mejor ajustó los datos experimentales fue el de pseudo-segundo orden, con un coeficiente de correlación $R^2 = 0,999$. Por su parte, Taty-Costodes *et al.* (2003) también estudiaron el pino (*Pinus sylvestris*), usando aserrín, encontrando una capacidad de adsorción de 9,8mg/g, con un pH de 5,5 y 30 minutos de tiempo de contacto. El proceso siguió la cinética de pseudo-segundo orden, con un coeficiente de correlación R^2 de 0,91.

Rafatullaha *et al.* (2009) trabajaron el aserrín de meranti (*Acuminata shorea*) para la eliminación de Pb(II) en solución; la máxima adsorción se obtuvo a pH 6, con un tiempo de 120 min, una dosis de adsorbente de 10g/L, una temperatura de 30°C y una velocidad de agitación de 100 rpm. La cinética de adsorción que se ajustó fue la de pseudo-segundo orden, con un R^2 de 0,999, obteniéndose una máxima adsorción de 34,246mg/g.

La adsorción de Pb(II) con residuos de biomasa de algodón (*Gossypium hirsutum*) fue estudiada por Rianza *et al.* (2009); ellos indican que una dosis de 0,20g de biomasa, pH 5 y 100mg/L de concentración inicial de Pb(II) son las condiciones óptimas para obtener la mayor bioadsorción, la cual, fue de 45,01mg/g. El modelo que mejor ajustó los datos experimentales fue el de pseudo-segundo orden, con un $R^2 = 0,997$.

De lo anterior, se puede resaltar que el modelo cinético que mejor ajusta los datos obtenidos de biomasa residual lignocelulósica, como el aserrín o similares, es el de pseudo-segundo orden y la que mejor remueve los iones de Pb(II) es la corteza de pino (*Pinus brutia*).

Usando cáscara de maní (*Arachis hypogaea*) para remover Pb(II), Qaiser *et al.* (2009) encontraron una máxima capacidad de biosorción de 31,54mg/g, con un pH óptimo para la eliminación de plomo de 5. También Shih-Wei *et al.* (2011) describieron la adsorción, mediante el empleo de ceniza de cáscara de maní; se encontró una remoción máxima de 33mg/g, bajo las siguientes condiciones: 3g/L de adsorbente, 100mg/L de plomo inicial, pH 4,2 y 30°C de temperatura. Se puede afirmar, que la ceniza de la cáscara de maní tiene mejor desempeño para remover Pb(II), que la cáscara sin ninguna modificación.

Karnitz & Alves (2009) reportaron la preparación de nuevos materiales quelantes derivados del bagazo de caña de azúcar, para la adsorción de Pb(II). El material bioadsorbente, se preparó mediante dos modificaciones: la primera, fue el

bagazo de caña de azúcar mercerizado con NaOH 5mol/L y, el otro material, se obtuvo de hacerlo reaccionar con dihidrógeno etilendiaminotetraacético (EDTAD). Estos mostraron capacidades de adsorción de Pb(II), que van desde 192 a 333mg/g. Los materiales modificados con la mercerización mostraron las máximas capacidades comparados con los no mercerizados, siendo con el pH de 5,3 donde se obtuvo el mayor porcentaje de remoción.

El potencial de la cáscara de manzana blanca (*Chrysophyllum albidum*) para la remoción de Pb(II), resultó en que el proceso es altamente dependiente del pH, siendo el de 7 un pH óptimo, con el cual, se obtuvo una remoción máxima de 8,5mg/g. La ecuación cinética de adsorción no fue referenciada en este estudio (Onwu & Ogah, 2010).

García-Rosales & Colín-Cruz (2010) reportan la eliminación de Pb(II) con tallos de maíz (*Zea mays*) y demostraron que el modelo cinético de pseudo-segundo orden fue el que mejor representó el proceso, con una capacidad de adsorción máxima de 80mg/g y un pH óptimo de 6.

Chen *et al.* (2010), para la eliminación del Pb(II) de soluciones acuosas estudiaron las hojas de alcanforero (*Cinnamomum camphora*). La capacidad máxima de adsorción de este biomaterial fue de 73,15mg/g, con un pH de 5 y un tiempo de contacto de 60min. Para este fin, Chakravarty *et al.* (2010) propusieron el uso de las hojas de bael (*Aegle marmelos*), lográndose una máxima adsorción de 104mg/g, a una concentración de Pb(II), de 50mg/L, un pH de 5,1, una dosis óptima de hojas de bael de 0,2g y una temperatura de 25°C. La ecuación cinética que mejor ajustó los datos experimentales en este estudio fue de pseudo-segundo orden, con un $R^2 = 0,99$. Todavía, otra investigación fue realizada por Anwar *et al.* (2010), quienes investigaron la adsorción de Pb(II) sobre las cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*); los parámetros considerados fueron la dosis de adsorbente, pH de la solución, tiempo y velocidad de agitación. La adsorción máxima, según la isoterma de Langmuir, fue de 2,18mg/g.

Lasheen *et al.* (2012), al estudiar el uso de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), modificada con ácido nítrico como adsorbente en la remoción de Pb(II), encontrando que la cinética de la adsorción sigue el modelo de Pseudo-segundo orden. Se halló que la máxima remoción de Pb(II) fue de 73,5mg/g. También, Tapia *et al.* (2003) muestran la cáscara de naranja como un bioadsorbente con gran potencial, esta vez, modificadas con NaOH 0,2M; además, para reforzar la resistencia mecánica, los autores entrecruzaron la cáscara con CaCl₂ 0,2M, hallando una máxima adsorción de 141,1mg/g, con un pH óptimo de 5. La velocidad del proceso de biosorción fue entre 10 y 24 horas. Se observa, con el tratamiento de desmetoxilación de la pectina, que si se encuentran en gran cantidad en la naranja, se aumenta la remoción del metal.

Se concluye que el énfasis de las investigaciones en la remoción de plomo se ha encaminado hacia la búsqueda de materiales agrícolas residuales, permitiendo el uso de biomásas abundantes, en países del trópico, como el bagazo de caña de azúcar, los tallos de maíz y la cáscara de naranja, lo que puede llevar a la bioadsorción a ser una tecnología económica, que contribuya al control eficaz y a la prevención de la contaminación por metales pesados del recurso hídrico. Se recomienda la búsqueda de nuevos materiales de desecho y el estudio de condiciones necesarias, para elevar los porcentajes de remoción de los mismos, teniendo en cuenta las modificaciones físicas y químicas de estos materiales, ya que se ha reportado que mejoran su capacidad de adsorción.

Se encontró, que el mecanismo de adsorción se ve afectado por la concentración inicial, ya que a medida que la concentración aumenta el porcentaje de adsorción disminuye. También cumplen un papel fundamental el tamaño de partícula y la agitación, puesto que a menor tamaño de partículas y mayor velocidad de agitación, se produce un aumento en el porcentaje de adsorción. Además, se concluye que el pH óptimo de adsorción de plomo, se encuentra entre 5 y 6, lo que también influye en la especiación del ión metálico en solución.

Revisión de biomásas usadas en la remoción de níquel:

Un alto grado de exposición a los compuestos solubles de níquel puede provocar graves problemas a la salud y aun cuando existen estrictas regulaciones sobre vertimientos; las industrias, en su mayoría metalmeccánicas, descargan en sus efluentes grandes cantidades de níquel, por tal razón, el creciente interés por la producción de nuevos materiales capaces de remover este metal, que además sean de bajo costo, tales como la biomasa renovable.

Muhammad *et al.* (2007) investigaron la adsorción de Ni(II) con salvado de arroz (*Oryza sativa*), protonado con tres ácidos: HCl, H₂SO₄, y H₃PO₄, obteniéndose una adsorción de 102mg/g, con un pH de 6; la ecuación cinética que mejor describió los datos experimentales fue la de pseudo-segundo orden, con un coeficiente de correlación $R^2 = 1$. Otros autores experimentaron la biosorción de iones de Ni(II) con corteza de acacia (*Acacia leucocephala*), logrando el mejor ajuste de los datos con la ecuación de pseudo-segundo orden; la máxima capacidad fue de 294,1mg/g a 30°C, con un tiempo de contacto de 120min y pH 5 (Venkata *et al.* 2009).

Nuhoglu & Malkoc (2009) evaluaron la adsorción de Ni(II) usando residuos de aceite de oliva, encontrando que la máxima adsorción fue de 14,8mg/g, a 60°C y pH de 4; además, los datos siguieron el modelo cinético de pseudo-segundo orden.

El uso del aserrín de meranti (*Acuminata shorea*) en la eliminación de iones de Ni(II) mostró una adsorción de 200mg/L;

los autores lograron la máxima adsorción a pH 6, con un tiempo de contacto de 120min, una dosis de adsorbente de 10g/L, una temperatura de 30°C y una velocidad de agitación de 100rpm. La ecuación de la cinética de mejor ajuste fue la de pseudo-segundo orden, obteniéndose la máxima adsorción de Ni(II) de 35,97mg/g (Rafatullaha *et al.* 2009).

Srivastava *et al.* (2009) emplearon la cáscara de arroz como bioadsorbente en la remoción de Ni(II) y hallaron que la ceniza de esta fue efectiva, con un mayor porcentaje de eliminación de iones metálicos cuando la concentración inicial de adsorbato en la solución era baja. Se obtuvo una remoción máxima de 0,083mg/g del ion metálico.

Zaheer *et al.* (2010) estudiaron la capacidad de adsorción de las hojas del árbol de Buda (*Ficus religiosa*) tratadas con ácido. Los resultados mostraron que el equilibrio de adsorción se estableció en 60 minutos, con una capacidad de 6,35mg/g y dependió, en gran medida, del pH. También, se observó que la adsorción de Ni(II) disminuía con el aumento de la temperatura. La cinética de adsorción fue descrita por el modelo de ecuación cinética de pseudo-segundo orden. Otros autores investigaron la biosorción de Ni(II) con paja de cebada, que mostró una máxima adsorción de 35,81mg/g, con un pH de 4,85. En este trabajo, la ecuación de velocidad cinética no fue presentada (Thevannan *et al.* 2010).

La adsorción de Ni(II) utilizando cáscara de granada (*Punica granatum*) fue descrita por Bhatnagara & Minochoa (2010); la máxima capacidad de sorción fue de 52mg/g, en un tiempo de contacto de 7 horas, a una temperatura de 45°C. La ecuación de pseudo-segundo orden modeló bien el proceso.

Anoop *et al.* (2011) analizaron la adsorción de Ni(II) empleando carbón activado a partir de bagazo de caña. Las condiciones óptimas para la extracción máxima del metal, se dieron a un pH de 6,5, con el que se obtuvo una remoción máxima de 140,85mg/g. Acevedo *et al.* (2007), también usaron el bagazo de caña (*Saccharum officinarum*), modificándola con H₃PO₄ 40%p/p, durante 14 horas, el material fue pirolizado por una hora, a 400 y 500°C, obteniendo dos tipos de carbón para la remoción del metal, en una mina carbonífera. La máxima remoción de 85,66%, se logró con el carbón activado a 500°C, el pH óptimo fue de 5,5. La máxima remoción en el efluente industrial fue de 96,03%.

Igualmente, Aloma *et al.* (2012) evaluaron el bagazo de caña de azúcar, obteniéndose la máxima capacidad de sorción de 2mg/g de Ni(II), a 25°C, con un pH de 5. Estos autores encontraron que el proceso de adsorción se ajustó al modelo de pseudo-segundo orden. La activación de este material mejoró, en gran medida, su efectividad de adsorción.

El uso de la cáscara de naranja sin modificar y modificada

por copolimerización injertada, para la eliminación de iones de Ni(II) fue evaluada por Feng *et al.* (2011). La capacidad máxima de adsorción de este biomaterial fue de 162,6mg/g, para la cáscara modificada y de 9,82, sin modificar, a pH 5,5, con un tiempo de contacto de 150 min y una dosis de adsorbente de 50mg/L. La ecuación de pseudo-segundo orden fue la que mejor ajustó los datos, con un R² de 0,9936.

Harikishore *et al.* (2011) estudiaron la corteza de Moringa (*Moringa oleífera*), un residuo agrícola para la obtención de un sorbente en la eliminación de Ni(II). La capacidad máxima de bioadsorción fue de 30,38mg/g, con un pH óptimo de la solución de 6, una concentración de biomasa de 0,4g y un tiempo de contacto de 60min. Los estudios cinéticos mostraron que el modelo de pseudo-segundo orden describe bien los datos experimentales de adsorción. Los mismos autores (2012) estudiaron la bioadsorción de Ni(II) con polvo de hojas de la moringa, modificadas químicamente con NaOH y ácido cítrico. La capacidad máxima que se obtuvo fue de 163,88mg/g, con un pH de 6, a una temperatura de 49,84°C, en un tiempo de contacto de 50 min.

Al estudiar los parámetros de adsorción de níquel, al igual que en el caso del plomo, la concentración inicial del metal, el tamaño de partículas y el pH, juegan un papel predominante en el proceso de adsorción, tal que, a medida que incrementa la concentración inicial del ion y el tamaño de partícula, se disminuye el porcentaje de adsorción del metal.

De la revisión realizada, se puede observar que en los últimos seis años se ha investigado el uso de una amplia variedad de biomásas para la remoción de los iones metálicos plomo y níquel en aguas contaminadas, entre los que se incluye cortezas, residuos de madera, hojas de diferentes arboles, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales y cítricos. En la tabla 1, se muestra un resumen de las biomásas más eficientes para la remoción de ambos metales.

Se tiene que para la remoción de Pb(II), el bagazo de caña de azúcar (*S. officinarum*), con una capacidad de remoción de 333mg/g (Karnitz & Alves, 2009) y para el níquel (II), la corteza de acacia (*A. leucocephala*), con una capacidad de remoción de 294,1mg/g (Venkata *et al.* 2009), presentan la máxima capacidad de adsorción reportada.

Se destaca que el bagazo de caña de azúcar fue tratado con hidróxido de sodio, tratamiento que produce cambios en la estructura de las fibras que mejoran las propiedades de accesibilidad de la biomasa y, de hecho, reaccionar con dianhídrido etilendiaminotetraacético; en general, ambos procesos modifican los grupos químicos presentes en la caña, aumentando su capacidad de adsorción, convirtiéndose en materiales más eficientes y con mayor potencial, para un posible uso a escala industrial.

Tabla1. Capacidad de remoción de las biomásas.

Biomasa utilizada	Metal removido	Capacidad remoción (mg/g)	Ref. Bibliográfica
Hojas de Moringa (<i>M. oleifera</i>)	Ni (II)	163,88	Harikishore <i>et al.</i> 2012
Cáscara de Naranja (<i>C. sinensis</i>)	Ni (II)	162,6	Feng <i>et al.</i> 2011
Corteza de Acacia (<i>A. leucocephala</i>)	Ni (II)	294,1	Venkata <i>et al.</i> 2009
Hojas de Bael (<i>A. marmelos</i>)	Pb(II)	104	Chakravarty <i>et al.</i> 2010
Bagazo de Caña de Azúcar	Pb(II)	333	Karnitz & Alves, 2009
Tallos de Maíz (<i>Z. mays</i>)	Pb(II)	80	García & Colín, 2010

De lo anterior, se observa que ninguna biomasa muestra resultados excelentes para ambos tipos de metal; ejemplo de esta situación, es el bagazo de caña, puesto que para el plomo ha sido la biomasa que mayor eficiencia de remoción presenta, mientras que en el níquel, no se alcanza ni la mitad del porcentaje.

La biosorción se convierte en una técnica promisoría para la remoción de metales pesados de ambientes acuosos, especialmente, con adsorbentes derivados de materiales lignocelulósicos, que cuentan con una amplia variedad de polímeros en su estructura, como: celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina y proteínas, que los hacen biomateriales eficientes, siendo una tecnología limpia y barata para el tratamiento de efluentes contaminados a concentraciones tan bajas, como 1mg/L (Osman *et al.* 2010).

Comparación de la cinética de los procesos de adsorción:

Se decidió indagar por el tipo de cinética usada para varios tipos de metales pesados (Cr, Pb, Ni, Cd y Hg), con el fin de determinar la ecuación que mejor ajusta los datos experimentales trabajados, con diferentes biomásas. En la tabla 2, se observa un resumen de la información encontrada. Del estudio de la cinética usada por los procesos revisados, no sólo con el plomo y el níquel, sino también con mercurio, cromo y cadmio, es la ecuación de pseudo-segundo orden, reportando un mejor ajuste de los datos experimentales, con coeficientes de correlación superiores a la de otros modelos ensayados. Por lo tanto, el mecanismo controlante de la velocidad de adsorción no depende de la transferencia de masa, sino de la reacción de adsorción del ion metálico.

Tendencia de investigación en relación con la remoción de plomo y níquel: Al revisar la tendencia, en cuanto a la investigación de las biomásas, se identifican tres de las más

trabajadas contra el número de artículos reportados en los últimos seis años; estos datos fueron tomados de la base de datos Sciverse-Scopus. Las gráficas 1 y 2 reportan los datos encontrados para la remoción de níquel y plomo, respectivamente, para los residuos de naranja, trigo y arroz.

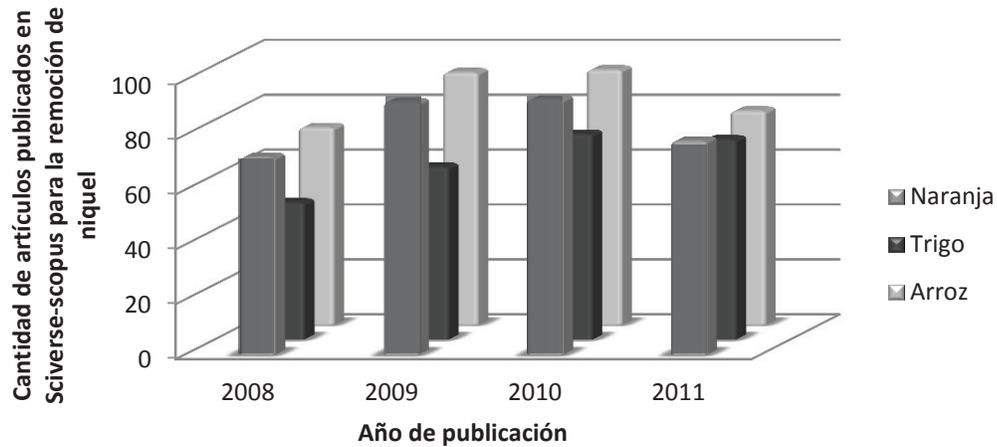
De las gráficas 1y 2, se deduce que son más de 2.000 artículos que tratan del uso de estos bioadsorbentes en la remoción de níquel y plomo, siendo la cáscara de arroz, el más estudiado; conjuntamente, se destaca que de las biomásas reportadas, para ambos metales, es el trigo la de menor contribución, siendo el níquel el metal menos trabajado comparado con el plomo; esta tendencia, se puede deber a ser el más tóxico y, por tanto, las concentraciones máximas permitidas son menores.

Se observa que son más de 700 artículos, en cuatro años, dedicados al estudio de los residuos de naranja para la remoción de plomo y de níquel, pudiendo aprovechar un desecho de la industria agrícola, abundante en países, como Colombia, para dar una solución adecuada al problema ambiental de la contaminación con efluentes que presentan altas concentraciones, de los metales en cuestión. De igual modo, se nota que aunque existen 500 artículos que evalúan, en cuatro años, lo referente a los residuos de trigo, estos son significativamente menores que los de cascara de naranja, quizás por la mayor efectividad de remoción reportada por los residuos de naranja.

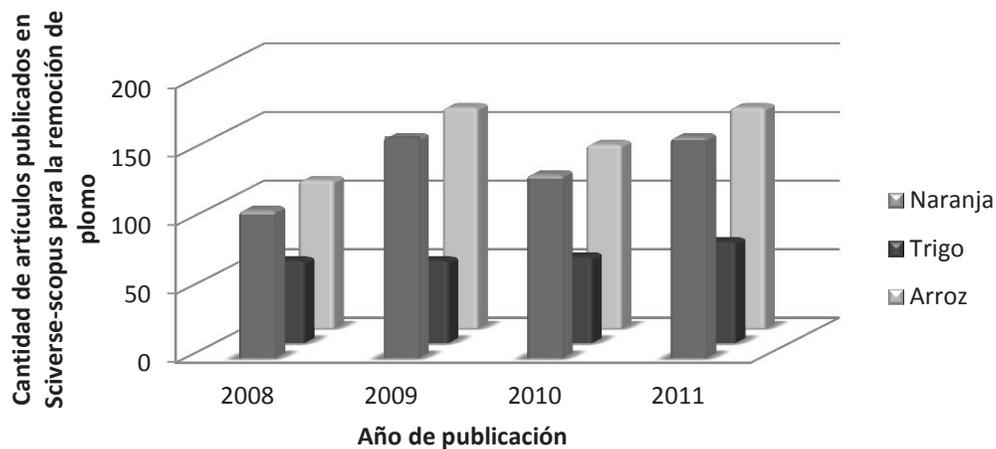
Se puede concluir que, en los últimos seis años, se ha investigado el uso de una amplia variedad de biomásas lignocelulósicas residuales para la remoción de iones metálicos, en aguas contaminadas, entre los que se incluye cortezas de arboles, residuos de madera, semillas y hojas de diferentes árboles, cáscaras de frutos secos, residuos de cereales

Tabla 2. Cinética del proceso de adsorción.

Biomasa utilizada	Metal removido	Ecuación de cinética	Referencia Bibliográfica
Aserrín	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Gupta & Babu, 2009
Aserrín de Meranti	Cr (III)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Rafatullaha <i>et al.</i> 2009
Aserrín de Meranti	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Rafatullaha <i>et al.</i> 2009
Aserrín de Meranti	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Rafatullaha <i>et al.</i> 2009
Aserrín de Nogal	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Bulut & Tez, 2007
Bagazo de Caña de Azúcar	Ni (II)	Primer Orden	Anoop <i>et al.</i> 2011
Bagazo de Caña de Azúcar	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Aloma <i>et al.</i> 2012
Cáscara de Arroz	Hg (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	El-Shafey, 2010
Cáscara de Arroz	Cd (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Ye <i>et al.</i> 2010
Cáscara de frijol	Cd (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Saeed <i>et al.</i> 2009
Cáscara de Granada	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Bhatnagara & Minochaa, 2010
Cáscara de Judía	Hg (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Madhava <i>et al.</i> 2009
Cáscara de Maní	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Qaiser <i>et al.</i> 2009
Cáscara de Maní	Cr (III)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Witek-Krowiak <i>et al.</i> 2011
Cáscara de Maní	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Shih-Wei <i>et al.</i> 2011
Cáscara de Naranja	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Lasheen <i>et al.</i> 2012
Cáscara de Naranja	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Feng <i>et al.</i> 2011
Cáscara de Naranja	Cd (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Lasheen <i>et al.</i> 2012
Cáscara de Nuez	Hg (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Zabihi <i>et al.</i> 2010
Cáscara de Pistacho	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Moussavi & Barikbin, 2010
Cáscara de Plátano	Cr (VI)	Primer Orden	Memon <i>et al.</i> 2009
Cáscara de Tamarindo	Cr (VI)	Primer Orden	Rao Popuri <i>et al.</i> 2007
Cáscara Fruta de Bael	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Anandkumar & Mandal, 2009
Cáscara Semilla Ceiba	Hg (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Madhava <i>et al.</i> 2009
Corteza de Acacia	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Venkata <i>et al.</i> 2009
Corteza de Moringa	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Harikishore <i>et al.</i> 2011
Corteza de Pino	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Gundogdua <i>et al.</i> 2009
Fruta de Gular	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Rao & Rehman, 2010
Hojas de Alcanforero	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Chen <i>et al.</i> 2010
Hojas de Bael	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Chakravarty <i>et al.</i> 2010
Hojas de Moringa	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Harikishore <i>et al.</i> 2012
Hojas Ficus Religiosa	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Zaheer <i>et al.</i> 2010
Residuos Aceite Oliva	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Nuhoglu & Malkoc, 2009
Salvado de Trigo	Cr (VI)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Singh <i>et al.</i> 2009
Salvado de Arroz	Ni (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Muhammad <i>et al.</i> 2007
Semilla de Algodón	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	Riaza <i>et al.</i> 2009
Tallos de Maíz	Pb (II)	Pseudo 2 ^{do} Orden	García & Colín, 2010



Gráfica 1. Artículos publicados sobre la adsorción de níquel con residuos de naranja, trigo y arroz.



Gráfica 2. Artículos publicados sobre la adsorción de plomo con residuos de naranja, trigo y arroz.

y cítricos. Los residuos del arroz, de trigo y de naranja son los más empleados para remover níquel y plomo, siendo el bagazo de caña el de mayor capacidad de remoción, para el plomo y, la corteza de acacia, para el níquel. Cabe mencionar, que la tendencia observada fue pre-tratar químicamente la biomasa, para aumentar, en gran medida, su capacidad de remoción.

Se destaca, además, que la cinética del proceso de adsorción, en la gran mayoría de las biomásas estudiadas, es regida por la ecuación cinética de pseudo-segundo orden de Ho & Mckay (1999), ya que con ella se obtuvieron coeficientes

de correlación muy cercanos a 1, ajustándose mejor a los datos experimentales.

Se recomienda en base a las biomásas identificadas realizar trabajos de investigación de biomásas residuales, encontradas en regiones geográficas específicas; de igual forma, cuando se realicen experimentos con una biomasa determinada, se recomienda que el bioadsorbente obtenido, además de ser utilizado en su forma natural, sea también pre-tratado químicamente, para determinar en qué proporción aumenta su capacidad de remoción. Asimismo, diseñar plantas pilotos para remoción de iones metálicos con las bio-

masas que mostraron mayor capacidad de remoción, a fin de desarrollar esta alternativa como una tecnología viable de implementar.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, S.; COLINA, M.; DÍAZ, A.; FERNÁNDEZ, N.; BEHLING, E.; MARÍN, J.; COLINA, G. 2007. Chemical activation of sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum*) on nickel(II) adsorption in industrial effluents. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 30(3):244-252.
2. AHLUWALIA, S.S.; GOYAL, D. 2007. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Biores. Techn.* 98:2243-2257.
3. ALOMA, L.; LARA, M.; RODRÍGUEZ, I.; BLAZQUEZ, G.; CALERO, M. 2012. Removal of nickel (II) ions from aqueous solutions by biosorption on sugarcane bagasse. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 43(2):275-281.
4. ALONSO, J.A. 2008. Los metales pesados en las aguas residuales. Disponible desde Internet en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698> (con acceso 13/11/2012).
5. ANANDKUMAR, J.; MANDAL, B. 2009. Removal of Cr(VI) from aqueous solution using Bael fruit (*Aegle marmelos* Correa) shell as an adsorbent. *J. Haz. Mat.* 168:633-640.
6. ANOOP KRISHNAN, K.; SREEJALEKSHMI, K.G.; BAIJU, R.S. 2011. Nickel(II) adsorption onto biomass based activated carbon obtained from sugarcane bagasse pith. *Biores. Techn.* 102:10239-10247.
7. ANWAR, J.; SHAFIQUE, U.; ZAMAN, W.; SALMAN, M.; DAR, A.; ANWAR, S. 2010. Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. *Biores. Techn.* 101:1752-1755.
8. BHATNAGARA, A.; MINOCHAA, A. 2010. Biosorption optimization of nickel removal from water using *Punica granatum* peel waste. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 76(2):544-548.
9. BULUT, Y.; TEZ, Z. 2007. Removal of heavy metals from aqueous solution by sawdust adsorption. *J. Environ. Sci.* 19:160-166.
10. CAÑIZARES-VILLANUEVA, R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 42:131-143.
11. CAVACO, S.A.; FERNANDES, S.; QUINA, M.M.; FERREIRA, L.M. 2007. Removal of chromium from electroplating industry effluents by ion exchange resins. *J. Haz. Mat.* 144:634-638.
12. CHAKRAVARTY, S.; MOHANTY, A.; NAG SUDHA, T.; UPADHYAY, A.K.; KONAR, J.; SIRCAR, J.K.; MADHUKAR, A. 2010. Removal of Pb(II) ions from aqueous solution by adsorption using bael leaves (*Aegle marmelos*). *J. Haz. Mat.* 173:502-509.
13. CHEN, H.; ZHAO, J.; DAI, G.; WU, J.; YAN, H. 2010. Adsorption characteristics of Pb(II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen *Cinnamomum camphora* leaves. *Desalination*. 262:174-182.
14. CHEUNG, C.W.; PORTER, J.F.; MCKAY, G. 2000. Elovich equation and modified second-order equation for sorption of cadmium ions onto bone char. *J. Chem. Techn & Biotechn.* 75(11):963-970.
15. DABROWSKI, A. 2001. Adsorption-from theory to practice. *Adv. Colloid and Interface Sci.* 93:135-224.
16. EL-SHAFFEY, E. 2010. Removal of Zn(II) and Hg(II) from aqueous solution on a carbonaceous sorbent chemically prepared from rice husk. *J. Haz. Mat.* 175:319-327.
17. FENG, N.; GUO, X.; LIANG, S.; ZHU, Y.; LIU, J. 2011. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by chemically modified orange peel. *J. Haz. Mat.* 185(1):49-54.
18. GARCÍA-ROSALES, G.; COLÍN-CRUZ, A. 2010. Biosorption of lead by maize (*Zea mays*) stalk sponge. *J. Environ. Manag.* 91:2079-2086.
19. GÜNDOĞDU, A.; OZDESA, D.; DURANA, C.; BULUT, V.; SOYLAKB, M.; SENTURKA, H. 2009. Biosorption of Pb(II) ions from aqueous solution by pine bark (*Pinus brutia* Ten). *J. Chem. Eng.* 153(1-3):62-69.
20. GUPTA, S.; BABU, B. 2009. Removal of toxic metal Cr(VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. *J. Chem. Eng.* 150:352-365.
21. HARIKISHORE, D.; RAMANA, D.; SESHIAH, K.; REDDY,

- A. 2011. Biosorption of Ni(II) from aqueous phase by *Moringa oleifera* bark, a low cost biosorbent. Desalination. 268(1-3):150-157.
22. HARIKISHORE, D.; REDDYA, K.; SESHAIHA, K.; REDDYB, A.; LEE S. 2012. Optimization of Cd(II), Cu(II) and Ni(II) biosorption by chemically modified *Moringa oleifera* leaves powder. Carbohydrate Polymers. 88(3):1077-1086.
23. HO, Y.S.; MCKAY, G. 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. Process Biochem. 34(5):451-465.
24. HUSSEIN, H.; IBRAHIM, S.F.; KANDEEL, K.; MOAWAD, H. 2004. Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas* sp. Environ. Biotech. 7(1):1023-1027.
25. KARNITZ, O.; ALVES, L. 2009. Adsorption of Cu(II), Cd(II), and Pb(II) from aqueous single metal solutions by mercerized cellulose and mercerized sugarcane bagasse chemically modified with EDTA dianhydride (EDTAD). Carbohydr. Polym. 77:643-650.
26. LASHEEN, M.; AMMAR, N.; IBRAHIM, H. 2012. Adsorption/desorption of Cd(II), Cu(II) and Pb(II) using chemically modified orange peel: Equilibrium and kinetic studies. Solid State Sci. 14:202-210.
27. MADHAVA, M.; KUMAR, D.; VENKATESWARLU, P.; SESHAIHA, K. 2009. Removal of mercury from aqueous solutions using activated carbon prepared from agricultural by-product/waste. J. Environ. Manag. 90(1):634-643.
28. MANZOOR, S.; SHAH, M.; SHAHEEN, N.; KHALIQUE, A.; JAFFAR, M. 2006. Multivariate analysis of trace metals in textile effluents in relation to groundwater. J. Haz. Mat. 137:31-37.
29. MEMON, J.; MEMON, S.; BHANGER, M.; EL-TURKI, A.; HALLAM, K.; ALLEN, G. 2009. Banana peel: A green and economical sorbent for the selective removal of Cr(VI) from industrial wastewater. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 70:232-237.
30. MOHAN, D.; PITTMAN, C.U. 2006. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. J. Haz. Mat. 137:762-811.
31. MOUSSAVI, G.; BARIKBIN, B. 2010. Biosorption of chromium(VI) from industrial wastewater onto pistachio hull waste biomass. J. Chem. Eng. 162:893-900.
32. MUHAMMAD, N.; RAZIYA, N.; MUHAMMAD, A. 2007. Biosorption of nickel from protonated rice bran. J. Haz. Mat. 143(1-2):478-485.
33. NUHOGLU, Y.; MALKOC, E. 2009. Thermodynamic and kinetic studies for environmentally friendly Ni(II) biosorption using waste pomace of olive oil factory. Bioresource Technol. 100:2375-2380.
34. ONWU, F.K.; OGAH, S.P. 2010. Studies on the effect of pH on the sorption of cadmium (II), nickel (II), lead (II) and chromium (VI) from aqueous solutions by african white star apple (*Chrysophyllum albidum*) shell. J. Biotechnol. 9(42):7086-7093.
35. OSMAN, H.E.; BADWY, R.K.; AHMAD, H.F. 2010. Usage of some agricultural by-products in the removal of some heavy metals from industrial wastewater. J. Phytol. 2(3):51-62.
36. PINZÓN-BEDOYA, M.L.; VERA-VILLAMIZAR, L.E. 2009. Modelamiento de la cinética de bioadsorción de Cr (III) usando cáscara de naranja. Dyna. 76(160):95-106.
37. QAISER, S.; SALEEMI, A.; UMAR, M. 2009. Biosorption of lead(II) and chromium(VI) on groundnut hull: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study. Electronic J. Biotechnol. 12(4):1-17.
38. RAFATULLAHA, M.; SULAIMANA, O.; HASHIMA, R.; AHMAD, A. 2009. Adsorption of copper (II), chromium (III), nickel (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by meranti sawdust. J. Haz. Mat. 170:969-977.
39. RAO, R.; REHMAN, F. 2010. Adsorption studies on fruits of Gular (*Ficus glomerata*): Removal of Cr(VI) from synthetic wastewater. J. Haz. Mat. 181:405-412.
40. RAO-POPURI, S.; JAMMALA, A.; NAGA, S.R.; KACHIREDDY, V.; ABBURI, K. 2007. Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. Electronic J. Biotechnol. 10(3):358-367.
41. RIAZA, M.; NADEEMA, R.; HANIFA, M.; ANSARIC, T.; REHMAN, K. 2009. Pb(II) biosorption from hazardous aqueous streams using *Gossypium hirsutum* (Cotton) waste biomass. J. Haz. Mat. 161(1):88-94.

42. SAEED, A.; IQBAL, M.; HOLL, W. 2009. Kinetics, equilibrium and mechanism of Cd^{2+} removal from aqueous solution by mungbean husk. *J. Haz. Mat.* 168:1467-1475.
43. SHIH-WEI, L.A.; CHUN-I, L.; LI-HWA, W. 2011. Kinetic study on lead (II) ion removal by adsorption onto peanut hull ash. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 42:166-172.
44. SINGH, K.; HASAN, S.; TALAT, M.; SINGH, V.; GANGWAR, S. 2009. Removal of Cr (VI) from aqueous solutions using wheat bran. *J. Chem. Eng.* 151:113-121.
45. SRIVASTAVA, V.; MALL, I.; MISHRA, I. 2009. Competitive adsorption of cadmium(II) and nickel(II) metal ions from aqueous solution onto rice husk ash. *Chem. Eng. Processing.* 48:370-379.
46. TAPIA, N.J.; MUÑOZ, J.C.; TORRES, F.; YARANGO, A. 2003. Biosorción de plomo (II) por cascara de naranja, *Citrus sinensis* modificada. *Rev. Per. Quim. Ing. Quim.* 5(2):48-53.
47. TATY-COSTODES, V.C.; FAUDUET, H.; PORTE, C.; DELACROIX, A. 2003. Removal of Cd(II) and Pb(II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *J. Haz. Mat.* 105:121-142.
48. THEVANNAN, A.; MUNGROO, R.; HUI, C. 2010. Biosorption of nickel with barley straw. *Bioresource Techn.* 101(6):1776-1780.
49. VENKATA, M.; SUBBIAH, Y.; VIJAYA, N.; SIVA, K.; SUBBA, A.; KRISHNAIAH, A. 2009. Biosorption of nickel from aqueous solutions by *Acacia leucocephala* bark: Kinetics and equilibrium studies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 74(1):260-265.
50. WEBER, W.J.; MORRIS, J.C. 1963. Kinetics of adsorption on carbon from solution. *J. San. Eng. Div. ASCE.* 89:31-59.
51. WITEK-KROWIAK, A.; SZAFRAN, R.; MODELSKI, S. 2011. Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut shell as a low-cost biosorbent. *Desalination.* 265:126-134.
52. YE, H.; ZHU, Q.; DU, D. 2010. Adsorptive removal of Cd(II) from aqueous solution using natural and modified rice husk. *Bioresource Techn.* 101:5175-5179.
53. ZABIHI, M.; HAGHIGHI, A.A.; AHMADPOUR, A. 2010. Studies on adsorption of mercury from aqueous solution on activated carbons prepared from walnut shell. *J. Haz. Mat.* 174:251-256.
54. ZAHEER, A.M.; RAMZAN, N.; NAVEED, S.Y.; FEROZE, N. 2010. Ni(II) removal by biosorption using *Ficus religiosa* (peepal) leaves. *J. Chil. Chem. Soc.* 55(1):81-84.

Recibido: Octubre 23 de 2012

Acceptado: Octubre 10 de 2013

Como citar:

Quiñones, E.; Tejada, C.; Arcia, C.; Ruiz, V. 2013. Remoción de plomo y níquel en soluciones acuosas usando biomásas lignocelulósicas: una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 479-489.

DINÁMICA DEL ENSAMBLAJE ALGAL EPIFÍTICO EN EL SISTEMA DE PLANOS INUNDABLES DE AYAPEL A TRAVÉS DEL PULSO DE INUNDACIÓN

DYNAMICS OF EPIPHYTIC ALGAE ASSEMBLAGE IN AYAPEL FLOOD PLAIN THROUGH FLOOD PULSE

Yimmy Montoya-Moreno¹, Néstor Aguirre²

¹Biólogo, Especialista en Educación Ambiental. Magíster en Biología. Doctor en Ingeniería Grupo Geolimna. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, A. A. 1226, Medellín (Antioquia), Colombia; yimmymontoya3@hotmail.com; ²Biólogo, Magíster en Biología. Doctor en Ciencias Naturales Grupo Geolimna. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, A. A. 1226, Medellín (Antioquia), Colombia; naguirre@udea.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 491-500, Julio- Diciembre, 2013

RESUMEN

Se evaluaron las variaciones espaciales y temporales de los ensambles de algas epifíticas asociadas a raíces de macrófitas, en 14 sitios de muestreo: siete zonas con condiciones lenticas y siete con condiciones lólicas del sistema de planos inundables de Ayapel. Se determinó que el grado de conectividad entre el río, los caños y las ciénagas aumentó en aguas altas, lo que produjo la uniformidad de las condiciones fisicoquímicas y limitó el desarrollo de condiciones locales. Así, los cuerpos más aislados alcanzan a generar un mayor grado de independencia del cuerpo principal, debido a la formación de gradientes horizontales. Esta individualización de las condiciones fisicoquímicas, se hace más evidente en la fase de aguas bajas. Se encontró variación de la diversidad y de la riqueza de especies a nivel espacial, ya que se presentó una baja similaridad florística entre los ensamblajes ficoperifíticos (30%), lo que favoreció la riqueza alta de especies registrada. Las diatomeas predominaron en el sistema, siendo favorecidas por la concentración de amonio y, su abundancia, se redujo con el aumento en las precipitaciones. Las clorofíceas son favorecidas por el aumento en las precipitaciones, en la variación del nivel de la ciénaga, en las concentraciones bajas de nitratos, de nitrógeno amoniacal y de la conductividad eléctrica. Se halló que las concentraciones bajas de nutrientes y la disminución de la precipitación favorecen el desarrollo de las cianofíceas. Finalmente, se consideró a las euglenofíceas, dinofíceas y crisofíceas como grupos algales minoritarios, dentro del ensamble epifítico.

Palabras clave: Epifiton, perifiton, ciénagas tropicales, Colombia.

SUMMARY

Spatial and temporal variations of the epiphytic algae assemblages associated with roots of macrophytes in 14 sampling sites, seven zones with lentic and seven with lotic conditions of the Ayapel flood plain was evaluated. It was determined that the degree of connectivity between the river, the streams and swamp increased in high waters which produced physico-chemical uniformity conditions and limited the development local conditions. Thus, the most isolated bodies reach a greater degree of independence from the main body due to the formation of horizontal gradients. This individualization of the physico-chemical conditions is most evident in the low water phase. Diversity and richness of species variation at the spatial level was found, as well as lower floristic similarity (30%) between the periphytics assemblages which favored the recorded high species richness. Diatoms predominated in the system, being favored by ammonium concentration; their abundance decreased with precipitation increase. Chlorophyceae are favored by the precipitation increase, variation in water level, low concentrations of nitrates, nitrogen ammoniacal and electrical conductivity. Low concentrations of nutrients and the decrease of precipitation favor the development of the cyanobacteria. Finally, Euglenophyceae, Dynophyceae and Chrysophyceae are considered as minority algal groups within the epiphytic assembly.

Key words: Epiphyton, periphyton, tropical swamps, Colombia.

INTRODUCCIÓN

En los ambientes de planos inundables existen pocas investigaciones sobre el perifiton en el país (Rivera-Rondón *et al.* 2010; Montoya-Moreno & Aguirre, 2008; 2009; Montoya-Moreno & Ramírez, 2009). En las planicies de inundación, las condiciones específicas de cada hábitat favorecen la existencia de una plasticidad morfológica de la vegetación acuática, en donde el tamaño, la forma y las comunidades de especies presentes se modifican, de acuerdo a un gradiente fisicoquímico (Murphy *et al.* 2003; Rodrigues *et al.* 2008). Los lagos de planos de inundación son colonizados por diferentes especies de macrofitas acuáticas y éstas, a su vez, por el perifiton; juntos son responsables de la elevada productividad de los ecosistemas acuáticos. Estos intervienen en varios procesos relevantes en la dinámica de los ecosistemas (Schwarzbold, 1990). Estas con condiciones favorecen la diversidad biológica alta y los altos niveles de producción pesquera, que permiten el sostenimiento de cientos de miles de habitantes de los planos inundables colombianos (Montoya-Moreno *et al.* 2011).

Las algas perifíticas son indicadoras biológicas del nivel trófico del agua, lo que muestra variación con los cambios en la calidad del agua y la dinámica del sistema (Junk *et al.* 1989). Las investigaciones en sistemas cenagosos se han concentrado en el fitoplancton y en las macrófitas, al evaluar los productores primarios; sin embargo, la contribución del perifiton a la producción primaria de ecosistemas someros es fundamental (Montoya-Moreno & Aguirre, 2009), por lo que se hace necesario realizar investigaciones en este tipo de ecosistema.

Por otro lado, a pesar de la gran abundancia de las áreas de inundación a escala mundial, Goldsborough & Robinson (1996) consideran que las investigaciones ficológicas se ha concentrado en otros sistemas, como lagos y ríos, de modo que la información sobre los ensamblajes algales en los ambientes de planos de inundación, en forma general, son bastante fragmentadas, particularmente, en las áreas tropicales y subárticas.

El predominio de los diferentes grupos de algas en un determinado ecosistema es función de las características dominantes en el medio (Felisberto *et al.* 2001). Los sistemas de planos inundables están sometidos a variaciones altas del nivel de la columna de agua, como respuesta a las fluctuaciones de las precipitaciones propias del ciclo hidrológico. Este conjunto de cambios debe ser internalizado por los organismos, por lo que el objetivo de este trabajo es identificar las características fisicoquímicas y ambientales, que controlan el ensamblaje y generar un modelo predictivo de fluctuación del ensamblaje en función del pulso de inundación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema cenagoso de Ayapel, se ubica en la jurisdicción del municipio de Ayapel, en el departamento de Córdoba, en la planicie atlántica del norte de Colombia. Forma parte del macrosistema de humedales y zonas anegables de la depresión Momposina. La cuenca de la ciénaga tiene un área de 1504km², situada entre 20 y 150msnm. El territorio, se ubica en la zona de bosque húmedo tropical, con temperaturas entre los 26 y 29°C (IGAC, 1986).

Se realizaron nueve muestreos, entre el 2006 y 2009, que abarcaron tres ciclos hidrológicos, bajo condiciones diferenciales del pulso de inundación, tales como mayo 2006-aguas en ascenso, julio 2006-aguas en ascenso, septiembre 2006-aguas altas, diciembre 2006-aguas en descenso, marzo 2007-aguas bajas, agosto 2007-aguas en ascenso, enero 2008-aguas altas, septiembre 2008-aguas en descenso y enero 2009-aguas en descenso. Detalles sobre la información morfométrica, fisicoquímica y ambiental, se puede consultar en Montoya-Moreno & Aguirre, 2009; Montoya-Moreno & Ramírez, 2009; Montoya-Moreno *et al.* 2011.

En los parches de macrofitas, se determinaron cuáles eran las especies más abundantes por inspección visual del borde del parche; se tomaron tres muestras de raíces por cada especie de planta; se evaluó la transparencia, la temperatura del agua, el oxígeno disuelto y su porcentaje de saturación, la conductividad eléctrica, el pH, la profundidad total, la alcalinidad y la dureza y se tomaron muestras de 3L de agua, para la determinación en el laboratorio de los nutrientes, tales como nitrógeno amoniacal, nitratos, nitritos, fósforo soluble reactivo y sulfatos, evaluados según APHA (2005).

Las muestras fueron depositadas en frascos de plástico de 100mL, se fijaron con solución de lugol, hasta obtener una concentración final del 4%. Las raíces recolectadas fueron llevadas al laboratorio biológico del grupo Gaia, para la determinación de las especies del ficoperifiton, con base en literatura especializada (Montoya-Moreno *et al.* 2011). El conteo, se realizó a partir del uso de cámaras de Segdwick-Rafter de 1mL de capacidad, empleándose 50 campos aleatorios, que se determinaron al tener en cuenta curvas de saturación de especies y para calcular la densidad del fitoperifiton se utilizó la fórmula de Ross (1979).

La composición, la abundancia y la diversidad de la comunidad, se evaluó mediante curvas de importancia y se usaron los índices comunitarios. Se empleó la prueba de correlación lineal múltiple de Spearman (rs) y un análisis de regresión lineal simple, para evaluar el efecto de las diferentes variables físicas, químicas y ambientales, sobre los grupos algales componentes del ensamblaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El momento hidrológico en el que se realiza el muestreo es el factor principal en el comportamiento de las condiciones fisicoquímicas del sistema de planos inundables de Ayapel.

Incluso, se encontró que para una misma fase del pulso en ciclos sucesivos, se registran diferencias en la dinámica del sistema. Las características fisicoquímicas del agua del sistema de planos inundables de Ayapel están dadas por las temperaturas elevadas del agua, la baja transparencia, conductividad, oxígeno disuelto y pH neutro (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de cada variable respecto al pulso de inundación.

Variable/sistema	Pulso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Profundidad (m)	A.A	3,5	4,2	4,2	4,5	4,2	3,5	3	2	3,7	3,3	5	4,3	2,9	5
	A.B	4,3	5,7	5,7	6,2	2,5	3	2,4	3,1	4,5	3,5	5	3,6	3,6	3,45
	A.B.a	3,3	5,2	3,5	4,84	3	2,3	1,7	2,8	3,7	2,04	3,3	3	2,9	3,3
	A.A.d	1,2	2,3	1,8	3	1,5	0,61	0,7	2,32	3	0,7	0,41	0,25	2,9	0,41
Transparencia (m)	A.A	0,45	0,57	0,57	0,23	0,57	0,15	0,33	0,1	0,65	0,21	0,5	0,67	0,32	0,5
	A.B	1,03	1,06	1,06	0,6	0,7	0,6	0,35	0,37	0,57	0,4	0,41	0,27	0,27	0,4
	A.B.a	0,9	1,27	0,91	0,65	0,96	0,65	0,3	0,45	1,3	0,23	0,38	1	0,3	0,38
	A.A.d	0,32	0,35	0,24	0,26	0,12	0,08	0,23	0,28	0,54	0,3	0,15	0,05	0,3	0,15
Temperatura del agua (°C)	A.A	29,8	29,4	29,4	30,2	29,4	28,9	31,9	30,6	28,2	31,2	29	32	29,6	29
	A.B	32,2	31,8	31,8	31,9	34	30,3	34,1	32,3	30,2	31,6	29,1	31,7	31,7	35,6
	A.B.a	30,1	29,2	30,5	31,5	30,5	32,1	31,7	31,4	31,1	30,4	32,8	31,7	31,5	32,8
	A.A.d	31,4	29,9	30,3	30,2	29,5	32,3	29,5	31	31	32,3	29,8	34,1	29,5	29,8
Oxígeno disuelto (mg/l)	A.A	1,13	6,88	6,88	5	6,88	3	4,9	5,52	3,25	8,8	6,3	4,45	1,24	6,3
	A.B	2,79	5,46	5,46	6,09	5,42	5,2	5,78	6,14	7,11	4,89	7,98	0,6	0,6	7,03
	A.B.a	2,51	4,2	5,51	6,4	2,53	5	6	5,1	5,6	4,6	5,9	0,6	3,87	5,9
	A.A.d	5,8	4,65	5,03	5,62	3,25	6,03	6,6	6,69	3,18	4,46	4,97	6,02	3,25	4,97
Saturación de oxígeno (mg/l)	A.A	14	83,8	65,1	93,9	41,2	53	65,1	82	65,7	67,6	82,2	37,5	16	82,2
	A.B	39,9	77	77	93,9	76,5	71	82,7	83,5	102	67	104	8,3	8,3	101
	A.B.a	33	83,8	65,1	93,9	33	64,7	80	82	65,7	67,6	65,8	8,3	21	79,4
	A.A.d	79	62	68	74,6	42,8	83,4	87,6	90,1	43	62	68	92	29	68
pH (unidades de pH)	A.A	6,75	6,15	6,15	6,48	6,15	6,41	6,6	7,32	6,49	6,57	7,25	6,52	6,25	7,25
	A.B	6,9	6,15	6,15	6,65	6,58	6,99	6,95	7,02	6,3	6,51	6,9	6,98	6,98	7,25
	A.B.a	6,8	6,2	6,5	6,8	6,39	7	6,9	7	7,3	6,4	8	6,98	5,3	8
	A.A.d	7,01	7,39	6,9	6,54	5,7	6,28	7,25	7,73	6,5	6,05	6,38	0,29	5,7	6,38
Conductividad eléctrica (μS/cm)	A.A	127	33,2	33,2	60,1	33,2	47,8	110	75,2	41	25,8	103	76,4	152	103
	A.B	82	12,1	12,1	21,2	17,7	15,5	52,1	24,2	30	18,9	44,5	131	131	37,1
	A.B.a	113	19,5	20,9	53,9	44,5	41	85,4	51,3	50,5	26,9	66,5	131	108	66,5
	A.A.d	164	23	19,3	43,5	31,6	40,7	50,8	45,5	80,4	34,7	59,6	38	31,6	59,6
Nitratos (mg/l)	A.A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,6	0,9	0,9	0,9	2,1	0,9	0,9	2,1
	A.B	0,8	2,4	2,4	4	1,6	4	4	4	0,9	0,9	1,19	0,06	0,06	4
	A.B.a	4,6	0,9	1,06	0,12	4,2	0,1	1,6	0,12	0,19	0,15	1,4	0,46	0,5	1,4
	A.A.d	1,3	1,8	1,06	2,6	0,5	5	4,2	2,8	0,8	1,5	4,5	0	1,4	4,5
Nitritos (mg/l)	A.A	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,07	0,53	0,06	0,04	0,13	0,07	0,08	0,04	0,07
	A.B	0	0	0	0,04	0,53	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,19	0,1	0,1	0,11
	A.B.a	0,33	0,02	0,01	0,06	0,4	0,03	0,53	0,06	0,09	0,05	0,06	0,07	0,05	0,06
	A.A.d	0,07	0,13	0,01	0,16	0,03	0,71	0,4	0,16	0,04	0,15	0,31	0	0,1	0,31

Continuación Tabla 1.

Nitrógeno amoniacal (mg/l)	A.A	0,05	0,17	0,17	0,22	0,17	0,07	0,09	0,17	0,03	0,09	0,21	0,18	0,2	0,21
	A.B	0,02	0,02	0,02	0,09	0,09	0,1	0,17	0,05	0,01	0,06	0,03	0,1	0,1	0,15
	A.B.a	0,01	0,17	0,1	0,1	0,3	0,1	0,09	0,1	0,1	0,01	0,15	0,12	0,14	0,15
	A.A.d	0,09	0,1	0,1	0,1	0,01	0,42	0,3	0,07	0,01	0,01	0,24	0	0,1	0,24
Fosfatos (mg/l)	A.A	0,36	0,21	0,21	0,47	0,21	0,97	0,66	0,62	0,4	1,57	1,15	1,11	0,72	1,15
	A.B	0,1	0,1	0,1	0,24	0,66	0,21	0,36	0,49	0,1	0,2	56	0,53	0,53	1,91
	A.B.a	0,18	0,21	0,1	0,19	1,8	0,2	0,66	0,19	0,34	0,3	0,2	1,11	0,12	0,18
	A.A.d	0,36	0,5	0,1	0,7	0,22	2,8	1,8	0,9	0,46	0,5	1,9	1,7	0,6	1,9
Sulfatos (mg/l)	A.A	4	5,3	4	5,1	4	4	10	7	4	5,2	13	4	5,4	13
	A.B	0,2	5	0,56	5,28	3,9	0,99	7,3	7	0,22	0,26	3,37	0,12	5,2	1,05
	A.B.a	1,15	5	2,52	5,28	3,9	0,11	5	6,4	0,15	0,06	0,45	2,64	5	0,45
	A.A.d	0,39	4	2,52	0,6	3,9	1,67	4	5	0,2	0,39	1,3	3	4	1,3

Convenciones: AA: Aguas altas, AB: aguas bajas, ABa: aguas bajas en ascenso, AAd: aguas altas en descenso, 1) Ciénaga Playa Blanca, 2) Ciénaga Escobillitas, 3) Ciénaga Escobillas, 4) Ciénaga Ayapel frente al pueblo, 5) Ciénaga Hoyo los Bagres, 6) Ciénaga Paticos, 7) Ciénaga La Miel, 8) Caño Pinto, 9) Caño Barro, 10) Caño Quebradona, 11) Caño Grande, 12) Caño Muñoz Gamba, 13) Caño Muñoz Gusana y 14) Caño Viloría.

Las variables fisicoquímicas, se pueden ordenar en tres grupos: las de baja variabilidad (CV < 15%), como la temperatura del agua y el pH; las de variabilidad media (40% > CV < del 75%), como la transparencia, la profundidad, el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de O₂, la conductividad eléctrica y el tercer grupo, de mayor variabilidad (CV > 90%), que incluye los nutrientes (nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, FSR y sulfatos) y los SDT.

El análisis de correlación lineal múltiple (Tabla 2) evidenció que son pocas las relaciones estadísticamente significativas halladas: 1) De manera positiva, se relacionó la alcalinidad con la abundancia de las diatomeas (r²=0,45; p=0,013); las dinofíceas con la concentración de sulfatos y la concentración de nitritos (r²=0,45; p=0,011; r²=0,31, p=0,026); la transparencia del agua y el número total de algas perifíticas (abundancia total), las clorofíceas y la diversidad de especies

(r²=0,5; p=0,001; r²=0,44, p= 0,015, respectivamente); 2) En forma negativa, se relacionó la alcalinidad con la abundancia de las clorofíceas (r²=-0,44; p=0,014), la abundancia de diatomeas y de cianofíceas con la diversidad (r²=-0,41; p=0,021; r²=-0,36; p=0,045, respectivamente).

Se observó que hay variación de los estimadores de la composición, la abundancia y la diversidad del ensamblaje, a través del pulso y entre ambientes lénticos y lóticos, incluso, entre el grupo de ciénagas y de caños (Figura 1). Se identifica que no se presenta dominancia alta de ninguna morfoespecie, ya que las abundancias relativas de las especies no alcanzan a superar el 20%. Se evidencian algunas tendencias, ya que la equitatividad muestra un valor medio poco variable durante toda la investigación; la dominancia revela pequeñas variaciones, en especial en aguas bajas en ascenso (mayo 2007) y presentó los mayores valores en aguas altas en des-

Tabla 2. Matriz de correlaciones entre las variables físicas y químicas.

Variables	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NO ₂	FSR	Zsd	D	OD	pH	C.E	Tw	Precip
N-NH ₄		0,43	0,53	0,60	-0,37	-0,23	0,41	0,20	0,05	0,09	-0,39
N-NO ₃	0,43		0,62	0,43	-0,29	-0,26	0,29	0,20	-0,06	0,14	-0,28
N-NO ₂	0,53	0,62		0,59	-0,32	-0,51	0,09	0,08	0,08	-0,01	-0,19
FSR	0,6	0,43	0,59		-0,54	-0,44	0,32	-0,2	-0,01	0,07	-0,29
Zsd	-0,37	-0,29	-0,32	-0,54		0,66	-0,27	0,14	-0,23	-0,19	0,29
D	-0,23	-0,26	-0,51	-0,44	0,66		-0,13	0,27	-0,27	-0,22	0,20
OD	0,41	0,29	0,09	0,32	-0,27	-0,13		0,04	-0,28	0,36	-0,31
pH	0,2	0,2	0,08	-0,16	0,14	0,27	0,04		0,13	-0,13	0,01
C.E	0,05	-0,06	0,08	-0,01	-0,23	-0,27	-0,28	0,13		0,02	-0,28
Tw	0,09	0,14	-0,01	0,07	-0,19	-0,22	0,36	-0,1	0,02		0,17
Precipitac	-0,39	-0,28	-0,19	-0,29	0,29	0,20	-0,31	0,01	-0,28	0,17	

censo (2008), ambos momentos asociados al mismo año hidrológico. Finalmente, la diversidad registra una tendencia a aumentar en el tiempo, al igual que la riqueza de especies.

El nivel de la ciénaga estuvo relacionado, de manera negativa, con la concentración de nitratos y FSR y, en forma positiva, con el pH. Las variables físicas, químicas y climáticas

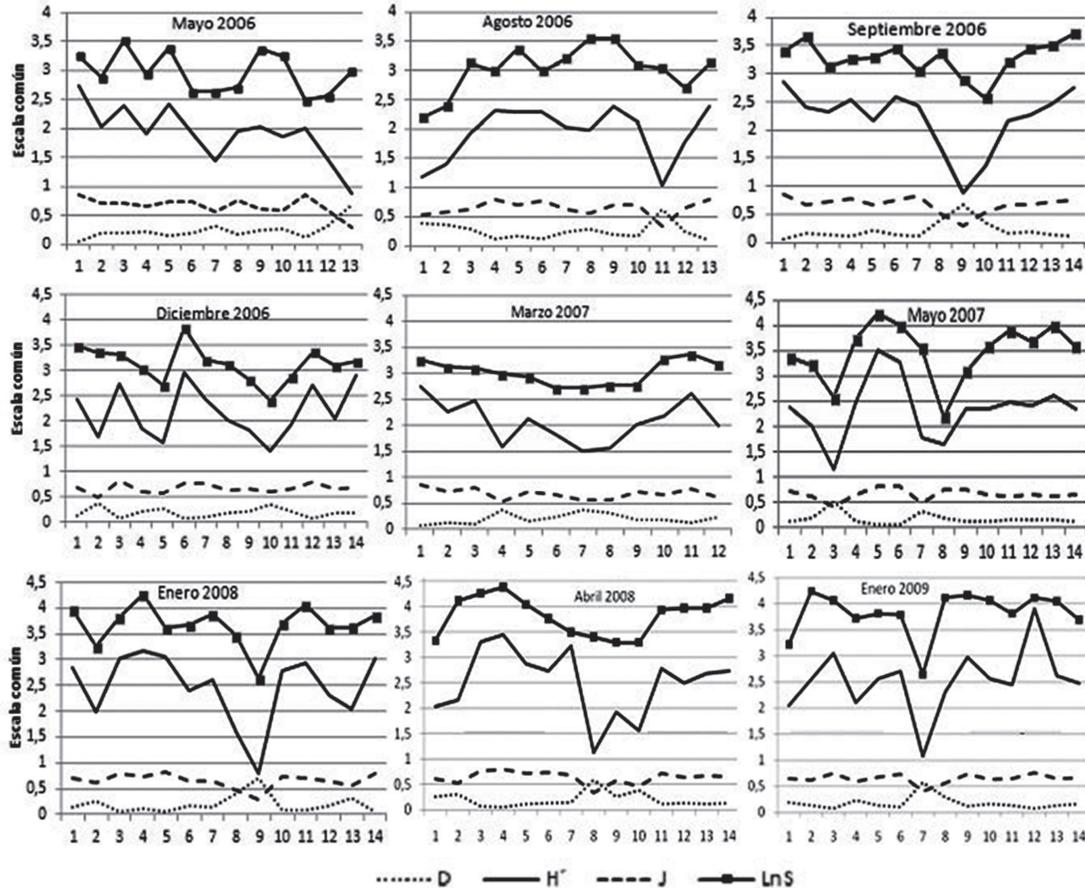


Figura 1. Variación espacial y temporal de los índices comunitarios en las 14 estaciones de muestreo. Simbología: D: dominancia; H': diversidad; J: equitatividad; S: riqueza de especies.

Estaciones de muestreo: 1) Ciénaga Playa Blanca, 2) Ciénaga Escobillitas, 3) Ciénaga Escobillas, 4) Ciénaga Ayapel frente al pueblo, 5) Ciénaga Hoyo los Bagres, 6) Ciénaga Paticos, 7) Ciénaga La Miel, 8) Caño Pinto, 9) Caño Barro, 10) Caño Quebradona, 11) Caño Grande, 12) Caño Muñoz Gamba, 13) Caño Muñoz Gusanera y 14) Caño Viloría.

evaluadas no registraron relación estadística significativa con los estimadores de diversidad, excepto la dureza (relación negativa con la riqueza de especies) y la concentración de nitritos (relación positiva con la riqueza de especies y con la abundancia total de algas en la matriz perifítica).

Las diatomeas registraron mayor abundancia en los periodos de aguas bajas, ya que, en esta situación, el sistema tiende a fragmentarse en varios subsistemas, estos quedan total o parcialmente aislados del cuerpo principal. Bajo estas circunstancias, la temperatura alta, la resuspensión del sedimento y la disminución de la transparencia generan condiciones limitantes para las poblaciones perifíticas (Montoya-Moreno *et al.* 2011).

Las diatomeas poseen diminutos tamaños que les permiten tener una rápida fijación de nutrientes en una menor superficie, por lo que son favorecidas en sistemas con velocidades de la corriente moderadas a altas (Horner *et al.* 1990). La mayoría de las diatomeas registradas en la investigación presentaron estructuras especializadas para la fijación al sustrato, como pedúnculos mucilaginosos en las especies del género *Gomphonema*, matrices gelatinosas, como en *Cymbella*, *Navicula*, *Encyonema* y colonias en forma de estrella o de ramos, como *Eunotia*, *Fragillaria*, *Diademsis*. Este conjunto de características ofrecen ventajas competitivas al grupo de las diatomeas sobre las otras algas, razón por la cual, no solamente se encuentran estos organismos adheridos al sustrato o matriz perifítica sino que es posible

y común, según el medio, encontrar a las diatomeas, como epífitos de otras algas, especialmente, de las formas filamentosas, como *Oedogonium*.

Respecto a las características hidráulicas, bajo las condiciones de aguas bajas el tiempo de retención hidráulico, se reduce, ya que disminuye el caudal. Numerosos investigadores han registrado que las diatomeas son favorecidas por caudales medios a altos (Allan, 1995; Stevenson, 1996; Montoya-Moreno & Ramírez, 2007), los cuales, se presentan en la época de lluvias en este sistema. Incluso, se ha llegado a plantear que, en regiones con caudal medio, se presenta un mejor desarrollo del ensamblaje (Martínez & Donato, 2003; Rivera-Rondón & Díaz, 2004; Zapata & Donato, 2005; Ramírez & Plata, 2008).

Se encontró que el aumento de las precipitaciones, el nivel de la ciénaga y la conductividad eléctrica afectan el ensamblaje, mediante una reducción en la abundancia de las diatomeas. Otro aspecto a tener en cuenta es el efecto del material resuspendido durante las aguas bajas en la ciénaga, material que limita la transparencia del agua y, posiblemente, la fijación sobre las macrofitas, debido al efecto del oleaje, lo que redundaría en la disminución de la densidad algal y el aumento de la dominancia de las diatomeas, que se ven favorecidas por tener estructuras especializadas para su fijación.

La resuspensión de sedimentos por acción del viento es uno de los principales factores que gobiernan el funcionamiento de los sistemas someros (Goldsborough & Robinson, 1996), lo cual, parece, en el sistema de Ayapel, favorecer en aguas bajas a las diatomeas, pero limita la densidad algal epifítica y la diversidad total de la matriz. Conde *et al.* (1999), en lagunas de Uruguay, encontraron que el principal efecto del proceso de resuspensión es el aumento de la densidad y la biomasa algal en la columna de agua, así como de su productividad por unidad de área y eficiencia fotosintética; estas condiciones han sido registradas en la ciénaga de Ayapel en el plancton (Hernández-Atilano *et al.* 2005; Montoya-Moreno & Aguirre, 2010). Se podría inferir que la mayor disponibilidad de energía y de turbulencia del agua exporta material del perifiton al plancton; además, que limita la adhesión del metafiton al perifiton, por lo que en el epifiton, se presentaría una condición inversa, es decir, la resuspensión, como un factor que discrimina qué organismos pueden conformar la biopelícula y limita la densidad que pueden alcanzar. La resuspensión inducida por el viento y por los animales puede afectar al cuerpo de agua, según su morfometría (Thomaz *et al.* 2007), ya que al aumentar el perímetro disminuye la pista de acción del viento sobre el espejo de agua.

Las algas clorofíceas, se vieron favorecidas por el aumento en las precipitaciones, en especial, sobresalen el grupo de las desmidiáceas, que alcanzan más del 90% de la riqueza

grupal. De acuerdo con Coesel (1982), la composición y la abundancia de las desmideas está relacionada con los valores elevados de la temperatura del agua, del pH, de la conductividad y de la mayor riqueza de macrofitas. Rodrigues & Bicudo (2001) relacionaron la gran riqueza de desmideas perifíticas con la presencia de estanques de macrofitas. La presencia de las macrofitas estimula el desarrollo de las algas perifíticas al proporcionar el sustrato para la fijación y por el aporte de material nutritivo proveniente de su propio proceso de envejecimiento y muerte (Schwarzbold, 1990; Felisberto *et al.* 2001).

Otra característica que favorece a las desmideas es la alta temperatura promedio del agua, ya que las temperaturas entre 25 y 30°C son ideales para el desarrollo de estas algas, ya que su origen es tropical (Coesel, 1982).

La variación del nivel de la ciénaga y de las precipitaciones estuvo asociada con la abundancia de las clorofíceas, puesto que al aumentar la columna de agua acentuó la transparencia, lo que generó un incremento en la riqueza y abundancia de las clorofíceas, además de un aumento en la diversidad algal perifítica. Se ha considerado que las clorofíceas son fuertemente dependientes de una disponibilidad alta de nutrientes en el agua (Borchardt, 1996), por lo que los resultados aquí encontrados están de acuerdo con esta afirmación, ya que las clorofíceas mostraron mayores abundancias en aguas altas, aunque en el último pulso estudiado (2008-2009), se evidencia una tendencia opuesta.

Las concentraciones bajas de nitratos, de nitrógeno amoniacal y de los valores bajos de la conductividad eléctrica favorecen el predominio de las clorofíceas en el sistema cenagoso de Ayapel. Respecto a esta variable, Felisberto *et al.* (2001) encontraron que las desmideas presentaron una mayor abundancia en las zonas lenticas de un embalse brasilero, cuando aumentó la conductividad eléctrica, la temperatura del agua y el pH.

Sobre el incremento en las densidades de desmideas perifíticas en aguas con bajas concentraciones de nutrientes, Coesel (1996) afirma que estas algas son encontradas, generalmente, en aguas ácidas, pobres en nutrientes y con baja conductividad eléctrica (valores inferiores a 100 μ S/cm), lo que explica el predominio que alcanza este grupo dentro del ensamblaje perifítico, en el sistema de Ayapel. Este último aspecto es cuestionable, puesto que las relaciones con las diatomeas son un factor a considerar, además de la mezcla, la cual, puede facilitar la liberación de desmidiáceas de la matriz o del metafiton hacia el plancton.

Las concentraciones altas de nutrientes, la disminución de las precipitaciones y niveles del agua intermedios y el aumento de la temperatura del agua favorecen el desarrollo de

las cianobacterias. Roldán & Ramírez (2008) consideran que estas abundan en los meses más calientes del año; condiciones similares fueron registradas por Huszar *et al.* (2000). Según Schindler (1977), una de las hipótesis de la posible causa del desarrollo de cianobacterias en sistemas acuáticos es la relación entre nitrógeno y fósforo. Cuando esta relación es menor que 10, se espera el desarrollo de las cianobacterias. Condiciones de limitación de nutrientes, particularmente nitrógeno, benefician a las cianobacterias por: i) su habilidad para fijar nitrógeno molecular (formas fijadoras); ii) su capacidad de migrar a lo largo de la columna de agua, para tener acceso a los nutrientes (formas con pseudovacúolas o aerótopos) y, iii) su competencia exitosa, por el amonio frente a otras algas más grandes, por su alta relación superficie-volumen, debido a sus formas picoplanctónicas (Wenzel & Díaz, 2008).

Las cianobacterias presentaron baja abundancia y su distribución no alcanza mayores valores en la estructura del ensamblaje; por ser un sistema somero, la polimixis reduce sus densidades, aunque se alcanzan a presentar blooms de *Cylindrospermopsis raciborskii* en la columna de agua del sector de La Miel. Algunas cianobacterias son capaces de almacenar fósforo (Majewski-Algarte *et al.* 2006), lo que favorece el aumento de la densidad de ese grupo, incluso, en aguas altas, cuando la concentración de fósforo disminuye.

Las euglenofíceas, dinofíceas y crisofíceas son los grupos algales minoritarios dentro del ensamblaje epifítico en el sistema de Ayapel; se evidenció que las crisofitas exhibieron un mayor número de relaciones con variables abióticas y bióticas. Vale la pena ampliar la información sobre este grupo, ya que es escasa la información taxonómica y ecológica registrada en Colombia.

La densidad de crisofíceas aumenta con el incremento en la temperatura del agua, el pH y el nivel de la ciénaga y disminuye con el aumento en la concentración del PSR, la conductividad eléctrica y la diversidad de especies, en el sistema de planos inundables de Ayapel. Roldán & Ramírez (2008) afirman que las crisofíceas, en general, se relacionan con aguas pobres en nutrientes y viven, en su mayoría, en aguas oligotróficas; estas relaciones se han encontrado también en el epifiton de la ciénaga de Ayapel.

Las euglenofíceas evidenciaron un ligero incremento en su abundancia en aguas bajas, pero respecto a otros grupos algales, se les consideró como acompañantes de los grupos mayoritarios (diatomeas, clorofíceas y cianoprocarotas), junto con las crisofíceas y los dinoflagelados. Una situación similar fue descrita por Donato (2001), quien estudió las variaciones en la composición del fitoplancton en algunas ciénagas del Magdalena, de acuerdo con los cambios hidrológicos en su ciclo anual; en la época de verano, debido a

la disminución de nutrientes, se favorece la presencia de dinoflagelados, como *Peridinium* sp. y crisofíceas, como *Dinobryon divergens*, mientras que en la época de inundación, se observa el desarrollo de euglenofíceas.

Las dinofíceas fueron el único grupo que presentó relación positiva con la concentración de sulfatos; además, evidenciaron una relación inversa con la diversidad y el número total de organismos en el ensamblaje epifítico. Según Taniuchi *et al.* (2005), los fitoflagelados presentan picos de desarrollo asociados a los periodos posteriores a la perturbación (mezcla de la columna de agua por el viento o periodos de precipitación); es, en este momento, cuando tienen ventajas competitivas sobre los otros grupos de algas, por lo que son considerados como oportunistas.

Al comparar las ciénagas y los caños, se evidencia que existen diferencias entre las especies ficoperifíticas de mayor importancia, ya que en los caños dominan las diatomeas, mientras que en las ciénagas, este grupo comparte importancia con las clorofíceas y unas pocas cianofíceas y euglenofíceas. El aumento del tiempo de retención hidráulico en ambos sistemas, sumado a los procesos de estratificación térmica y química, inciden en la distribución de los organismos. Otro aspecto relevante tiene que ver con que algunas estructuras están predominantemente condicionadas por la potamofase, otras por la limnofase, en tanto que otros han sido favorecidos por su capacidad de adecuación a una amplia gama de condiciones del régimen pulsátil y se los conoce como euritípicos (Neiff, 1999).

La riqueza de especies fue mayor en los caños que en las ciénagas (350 contra 288), debido al aumento de la heterogeneidad espacial y de los gradientes térmicos y químicos en las ciénagas. Una situación similar fue encontrada por Rodrigues & Bicudo (2001), quienes compararon la flora del perifiton en tres sistemas, con diferente régimen hidrodinámico, en un sistema de planos inundables brasileros. Estos autores concluyen que el tipo de ambiente y no el régimen hidrológico ejercieron mayor influencia sobre la riqueza específica de la comunidad. Otro aspecto a tener en cuenta es el aporte de algas desde los caños hacia las ciénagas, lo que incidiría en la mayor riqueza en estos ambientes dirigidos por el flujo. Finalmente, la ampliación registrada en los últimos años de la potamofase sobre la limnofase en el sistema, debería ser objeto de estudio de futuros trabajos.

El ficoperifiton mostró cambios en su estructura en relación al pulso de inundación. De esta forma, se pudieron discriminar cuatro ensambles característicos de los diferentes momentos hidrológicos ocurridos en el sistema (Figura 2).

1) Aguas Bajas. Aumento del efecto de cada sistema (caños y ciénagas) sobre el ensamble, debido a la reducción del

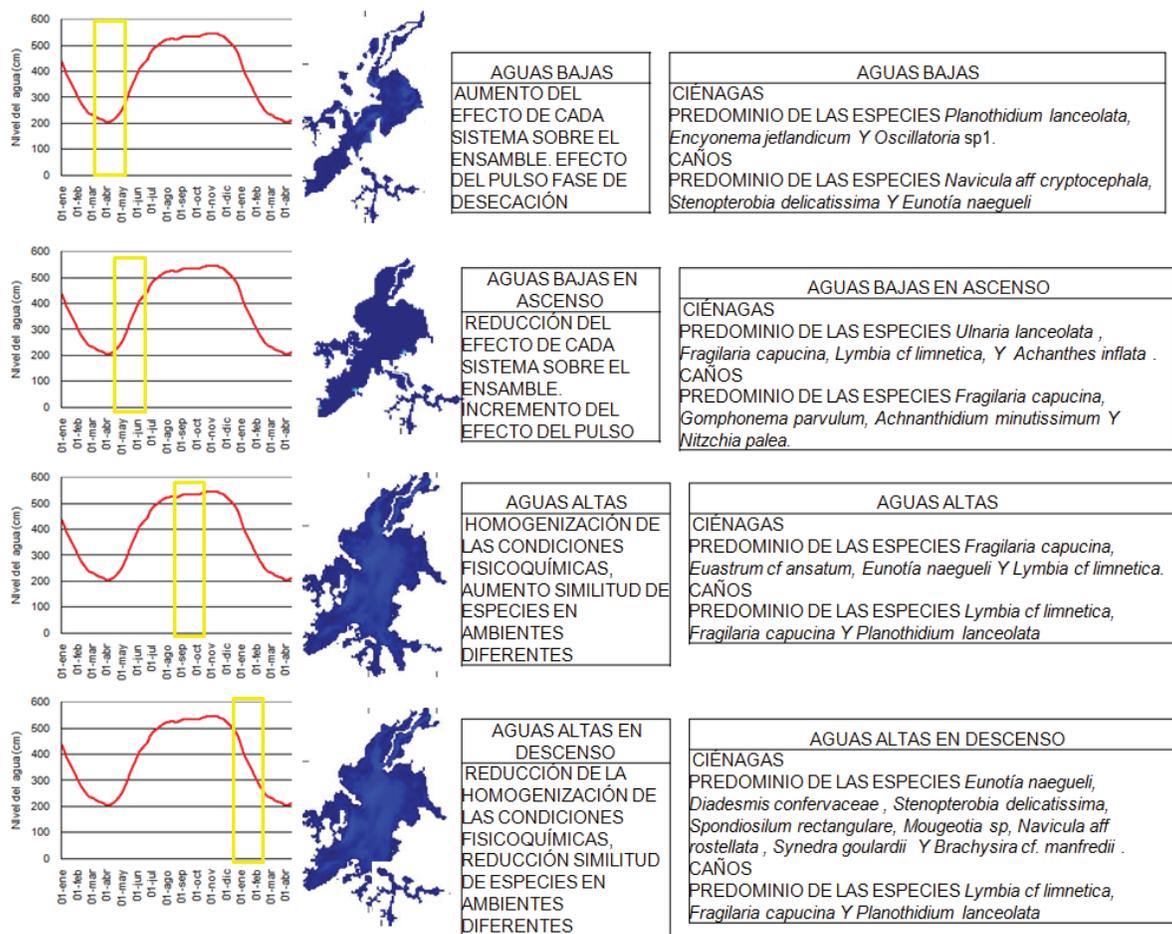


Figura 2. Análisis general de las especies ficoperifíticas en las ciénagas y los caños, a través de las fases del pulso de inundación.

caudal del río y caños (efecto del pulso fase de desecación). Dinámica particular de las diferentes variables físico-químicas en los caños y en las ciénagas, debido al aislamiento (o desconexión) con el río. Ello determinó que las estructuras de los ensambles epífitos fueran diferentes de un cuerpo de agua a otro. Predominan en las ciénagas las especies *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema jetlandicum* y *Oscillatoria* sp.1 y en los caños *Navicula cryptocephala*, *Stenopterobia delicatissima* y *Eunotia naegueli*.

2) Aguas Bajas en Ascenso. Reducción del efecto de cada sistema sobre el ensamble e incremento del efecto del pulso de inundación. En las ciénagas predominaron las especies *Ulnaria lanceolata*, *Fragilaria capucina* y *Lymbya cf. limnetica*. En los caños fueron abundantes *F. capucina*, *Achanthes inflata*, *Achnanthydium minutissimum*, *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia palea*.

3) Aguas Altas. Uniformidad de las condiciones fisicoquímicas en los caños y en las ciénagas por la entrada de agua

desde el río. Similitud de la composición específica del ficoperifiton en los diferentes ambientes. Predominan en las ciénagas *F. capucina*, *Eunotia naegueli*, *Euastrum cf. ansatum*, y *L. cf. limnetica* y en los caños *F. capucina*, *P. lanceolatum* y *Lymbya cf. limnetica*.

4) Aguas Altas en Descenso. Reducción de la uniformidad en las condiciones fisicoquímicas del agua, por la disminución del caudal procedente del río. Reducción en la similitud de la composición específica de los ensambles de diferentes ambientes. Predominaron en las ciénagas, las especies *Synedra goulardii*, *E. naegueli*, *Diademsis confervaceae*, *Brachysira cf. manfredii*, *Navicula rostellata*, *S. delicatissima*, *Spondylosium rectangulare* y *Mougeotia sp*. En los caños fueron abundantes *L. cf. limnetica*, *F. capucina* y *P. lanceolatum*.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que

ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Antioquia, el grupo de investigación Gaia y por el convenio Universidad de Antioquia-Gaia-Universidad Nacional de Colombia, en el proyecto Grecia-Colciencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALLAN, J. 1995. *Stream Ecology*. Chapman y Hall, Londres. 388p.
2. APHA, AWWA, WPCF. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF) (Washington). 1325p.
3. BORCHARDT, M.A. 1996. Nutrients. In Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L.; Lowe, R.L. (eds) *Algal Ecology. Freshwater benthics ecosystems*. Academic Press, INC. San Diego, California, p.184-218.
4. CONDE, D.S.; BONILLA, L.; AUBRIOT R, DE LEÓN.; PINTOS, W. 1999 Comparison of the areal amount of chlorophyll a of planktonic and attached microalgae in a shallow coastal lagoon. *Hydrobiol.* 408-409:285-291.
5. COESEL, P.F. 1996. Biogeography of desmids. *Hydrobiol.* 336:41-53.
6. COESEL, P.F. 1982. Structural characteristics and adaptations of desmid communities. *J. Ecol.* 70:163-177.
7. DONATO, R.J. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del Norte de Suramérica (Colombia): Composición y Factores. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 19. Bogotá, 231p.
8. FELISBERTO, S.A.; RODRIGUES, L.; LEANDRINI, J.A. 2001. Chlorococcales registradas en la comunidad perifítica de la represa Corumbá, Estado de Goiás, Brasil, antes y después del represamiento de las aguas. *Acta Scient.* 23(2):275-282.
9. GOLDSBOROUGH, L.G.; ROBINSON, G.G. 1996. Pattern in wetlands. In *Algal ecology, freshwater benthic ecosystems* (Stevenson, R.J.; Bothwell, M.L.; Lowe, R.L. (eds.)). Academic Press, San Diego. p.78-117.
10. HERNÁNDEZ-ATILANO, E.; AGUIRRE, N.J.; PALACIO, J.A. 2005. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuencia de la quebrada la vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Act. Biol.* 27(82):67-77.
11. HORNER, R.R.; WELCH, E.B.; SEELEY, M.R.; JACOBY, J.M. 1990. Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration: *Freshwater Biol.* 24(2):215-232.
12. HUSZAR, V.L.M.; SILVA, L.H.S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P.; SANT'ANNA, C.L. 2000. Cyanoprocaryote assemblages in eight productive tropical Brazilian waters. *Hydrobiol.* 424:67-77.
13. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). 1986. Estudio general de los suelos de los municipios de Ayapel, Buenavista, Planeta Rica y Pueblo Rico (Departamento de Córdoba). Bogotá. 282p.
14. JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river -floodplain systems. En: Dodge, D.P. (ed). *Proceedings of the international large river symposium*. Can. Sper. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106:110-127.
15. MAJEWSKI-ALGARTE, V.; MORESCO, C.; RODRIGUES, L. 2006. Algas do perifiton de distintos ambientes na planície de inundação do alto rio Paraná. *Acta Sci. - Biol. Sci.* 28(3):243-251.
16. MARTÍNEZ, L.F.; DONATO, J. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25(2):337-354.
17. MONTOYA-MORENO, Y.; RAMÍREZ, J.J. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 55(2):585-593.
18. MONTOYA-MORENO, Y.; AGUIRRE, N. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiol.* 18(3):189-198.
19. MONTOYA-MORENO, Y.; AGUIRRE, N. 2009. Dinámica del perifiton asociado con macrofitas en la ciénaga de Escobillitas y su relación con el pulso de inundación. *Rev. U. Tecnol. Chocó.* 28(2):196-202.
20. MONTOYA-MORENO, Y.; RAMÍREZ, J.J. 2009. Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín, Antioquia (Colombia). *Rev. Act. Biol.* 30(89):181-189.

21. MONTOYA-MORENO, Y.; AGUIRRE, N. 2010. Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación. *Rev. Fac. Ingeniería. U. Antioquia*. 55(2):76-89.
22. MONTOYA-MORENO, Y.; AGUIRRE, N.; GONZÁLEZ, E.M. 2011. El perifiton del sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba-Colombia. Editorial Universidad de Medellín. ISBN: 978-958-8692-42-5. 84p.
23. MURPHY, K.J.; DICKINSON, G.; THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; DICK, K.; GREAVES, K.; KENNEDY, M.P.; LIVINGSTONE, S.; MCFERRAN, H.; MILNE, J.M.; OLDROYD, J.; WINGFIELD, R.A. 2003. Aquatic plant communities and predictors of diversity in a subtropical river floodplain: the upper Rio Paraná, Brazil. *Aqu. Bot.* 77:257-276.
24. NEIFF, J.J. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. 97-145. En: Malvarez, A.I.; Kandus, P. (eds.). *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos. ORCYT-MAB-UNESCO*. p. 224.
25. RAMÍREZ, A.M.; PLATA-DÍAZ, Y. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biol. Col.* 13(1):199-216.
26. RIVERA-RONDÓN, C.A.; DÍAZ, C. 2004. Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum*. 9:75-86.
27. RIVERA-RONDÓN, C.A.; ZAPATA, A.M.; PÉREZ, D.; MORALES, Y.; OVALLE, H.; ÁLVAREZ, J.P. 2010. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta Biol. Col.* 15(1):1-16.
28. RODRIGUES, L.; BICUDO, D.C. 2001. Similarity among periphyton algal communities in lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Rev. Bras. Bot.* 24(3):235-248.
29. RODRIGUES, L.; ZANON, J.E.; CARAPURNALA, L.; BILO, S. 2008. Perifiton. En: *A Planície Alagável do Rio Paraná: Estrutura e Processo Ambiental*. Disponible desde Internet en <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf> (con acceso el 17/07/2010).
30. ROLDÁN, P.G.; RAMÍREZ, J.J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín. 2ª Ed. 440p.
31. ROSS, J. 1979. *Prácticas de ecología*. Omega, Barcelona, España. 250p.
32. SCHWARZBOLD, A. 1990. Métodos ecológicos aplicados ao estudo do perifiton. *Acta Limn. Bras.* 3:545-592.
33. SCHINDLER, D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*. 195:260-262.
34. STEVENSON, R.J. 1996. The Stimulation and Drag of Current. En: *Algal Ecology Freshwater Benthic Ecosystems*. Stevenson, R.J., Bothwell, M.L.; Lowe, R.L. (eds). Academic Press. p.141-168.
35. TANIGUCHI, G.M.; BICUDO, D.C.; SENNA, P.A. 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e fitorifiton em uma lagoa da planície de inundação do Rio Mogi-Guaçu. *Rev. Bras. Bot.* 28(1):137-147.
36. THOMAZ, S.M.; BINI, L.M.; BOZELLI, R.L. 2007. Floods increase similarity among habitats in river-floodplain systems. *Hydrobiol.* 579:1-13.
37. WENZEL, M.T.; DÍAZ, M.M. 2008. Cyanophyta del parque nacional Nahuel Huapi (Argentina), II. *Darwiniana*. 46(1):51-65.
38. ZAPATA, A.M.; DONATO, R.J. 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de la corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia). *Caldasia*. 24(3-4):327-338.

Recibido: Diciembre 21 de 2012
Aceptado: Julio 13 de 2013

Como citar:

Montoya-Moreno, Y.; Aguirre, N. 2013. Dinámica del ensamblaje algal epifítico en el sistema de planos inundables de Ayapel a través del pulso de inundación. *Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient.* 16(2): 491-500.

CURADURÍA E IDENTIFICACIÓN DE LA FAUNA DE *Bombus* DE LA COLECCIÓN DE ENTOMOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A

CURATION AND IDENTIFICATION OF *Bombus* FAUNA DEPOSITED AT U.D.C.A'S ENTOMOLOGICAL COLLECTION

Lorena Téllez-Farfán¹, Francisco J. Posada-Flórez²

¹Estudiante Fac. Ciencias Ambientales. Joven investigadora. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No.55-30, Bogotá, D.C. Colombia, e-mail: tlezzlorena@gmail.com; ²Ing. Agrónomo, Entomólogo Ph.D. Profesor investigador Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, hasta Junio 2012. e-mail: fjavierposada@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Actr. & Div. Cient. 16(2): 501-509, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Las colecciones de insectos son una herramienta de educación, extensión e investigación, que requieren el mantenimiento y la curaduría, para que la información contribuya al conocimiento y a la conservación de la biodiversidad de las especies colectadas. En este trabajo, se tuvo como objetivo realizar la curaduría e identificación de las especies de *Bombus*, depositadas en la colección entomológica de la U.D.C.A. Se encontraron ocho especies, distribuidas en seis departamentos, con procedencia de 55 localidades ubicadas en ambas vertientes de las cordilleras oriental y central, a altitudes desde los 178 hasta los 3000msnm. Se reconocieron 25 plantas hospedantes para las especies *B. atratus*, *B. robustus* y *B. rubicundus*. Dentro de las plantas visitadas, se registró la mayor frecuencia de visitas por *B. atratus* sobre la mora silvestre y el trébol. El estado de curaduría de la colección de *Bombus* alcanzó el nivel de nueve y con el material organizado, se prepararon publicaciones, con el propósito de contribuir al mayor aprovechamiento y conservación de este grupo de polinizadores nativos.

Palabras clave: Abejorros, polinizadores, plantas hospedantes, distribución.

SUMMARY

Insect collections are tools for education, extension and research and require maintenance and curation in order to

generate useful information contributing to the knowledge and conservation of the biodiversity of collected species. The objective of this study was to curate and identify the *Bombus* species deposited at U.D.C.A's entomological collection. Eight species of *Bombus* were identified from six Colombian departments distributed in 55 localities around the slopes of the eastern and central range of the Andean mountains, at altitudes oscillating from 178 to 3000 meters above sea level. Twenty-five host plants were found visited by *B. atratus*, *B. robustus* y *B. rubicundus*. Among visited plants, the highest frequency of visits by *B. atratus* was recorded on blackberry and clover flowers. The *Bombus* collection was appraised at a curation level of nine (out of ten) and the material was used to publish scientific papers contributing to a better understanding and conservation of this group of native pollinators.

Key words: Bumblebee, pollinators, host plants, distribution.

INTRODUCCIÓN

Las colecciones de insectos son una herramienta básica para la docencia en las universidades, con facultades donde se enseñan cursos de entomología, sea de tipo agrícola, veterinaria, médica o forense. Actualmente, se puede hablar de la "entomología ambiental", por la urgencia que hay de desarrollar programas para medir impactos ambientales, dirigidos a conocer la biodiversidad, establecer programas de conservación y remediación de hábitats amenazados por la

actividad humana, de alto impacto negativo sobre el medio, donde los insectos, por su diversidad, taxonomía y funciones, son utilizados para adelantar estudios e investigaciones (Chung, 1993; Klein *et al.* 2007; James, 2010; Park *et al.* 2010). Además, las colecciones juegan un papel muy importante, como referencia en los centros de educación e investigación agrícola, donde millones de hectáreas de cultivos requieren mantener un conocimiento de los insectos plagas, enemigos naturales y polinizadores (benéficos) y una vigilancia permanente para estar atentos a tomar medidas de manejo sobre las explosiones de las poblaciones o de cuando ocurre la introducción de una nueva plaga invasora, que amenaza los cultivos y a los animales, como los polinizadores y a la economía de los agricultores y el país (Hernández *et al.* 1995; Cruz & Posada, 2003).

Dentro del grupo de insectos de mayor importancia para el mantenimiento de la vida en la tierra están los polinizadores, porque con su función contribuyen a asegurar la reproducción de una tercera parte de la comida que utilizan los humanos y la producción de semillas y frutos para la alimentación de otro grupo de animales, vertebrados e invertebrados, en la cadena alimenticia que, adicionalmente, contribuyen a la repoblación de la diversidad de plantas (Nates & Gonzáles 2000; Allsopp *et al.* 2008).

Dentro del grupo de los polinizadores, se encuentran las abejas del género *Bombus* (Hymenoptera: Apidae: Bombini), conocidos popularmente como abejorros. Este grupo de insectos, en el mundo, tiene 239 especies, que pertenecen a 28 géneros (Michener, 2007). En Colombia, esta fauna está representada por nueve especies nativas (Liévano *et al.* 1994).

El conocimiento de esta fauna es importante, debido a su función polinizadora de flora, aprovechada por el ser humano, como es el caso de algunas especies de la familia Solanaceae y porque las poblaciones de la abeja melífera (*Apis mellifera*), otro representante importante de la fauna polinizadora por excelencia, están siendo sujetas al ataque de plagas y de enfermedades, tanto de origen biótico como abiótico y a la pérdida del hábitat que está diezmando sus poblaciones y que se conoce como la muerte súbita de la colonia (CCD = colony collapse disorder) (Brown & Paxton, 2009). Al igual que la abeja melífera, las poblaciones de *Bombus* y otras abejas nativas están sujetas a amenazas similares, lo que puede afectar severamente la biodiversidad y los servicios de polinización (Otterstatter & Thomson, 2008).

Los *Bombus* viven en colonias de unos cientos de individuos; son una fauna silvestre sobre la que todavía se requiere realizar mucha investigación en nuestro medio, para mantenerlos y utilizarlos en la polinización de cultivos. Estos insectos no almacenan miel para aprovechamiento humano, pero

son polinizadores muy eficientes, debido a su capacidad de zumar las flores de ciertas plantas, para el desprendimiento del polen (Delaplane & Mayer 2000; Almanza, 2007; Aldana *et al.* 2007; Cruz *et al.* 2008).

La información sobre la presencia de *Bombus* en el país mayormente proviene de los inventarios que se han realizado en colecciones (Nates & Gonzáles 2000; Liévano *et al.* 1994), de unos pocos trabajos de colección en campo (Morales-Rozo *et al.* 2006; Nates-Parra *et al.* 2006) y de la evaluación como agentes de polinización en cultivos como lulo y tomate (Almanza, 2007; Aldana *et al.* 2007). En Colombia, las especies de *Bombus* están amenazadas por la pérdida del hábitat, debido al auge de la urbanización, a la pérdida de la vegetación en los humedales, a la destrucción de los páramos, por las prácticas inadecuadas de manejo de la flora y las actividades agrícolas de uso intensivo de insecticidas y herbicidas para la destrucción de las malezas, que hacen parte de la flora que brinda los recursos néctar y polen, los cuales, son la base de la alimentación de *Bombus*.

Por la importancia de la fauna de *Bombus* en la polinización, las amenazas a sus poblaciones, por parte de las actividades humanas y la escasa información sobre esta fauna en el país, en este trabajo se tuvo por objetivo realizar la curaduría de las especies de *Bombus* presente en la colección de insectos de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en Bogotá, Colombia, identificar las especies presentes, conocer las plantas hospedantes, identificar la distribución y, con base en esta información, lograr plantear nuevas propuestas de investigación, tendientes a mejorar el conocimiento de esta fauna en el país, hacer un mejor aprovechamiento en la polinización de los cultivos y trazar planes de conservación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisó la colección de insectos de la U.D.C.A, contenida en los gabinetes y cajas con material montado en alfileres y la colección contenida en viales con alcohol. El material depositado en la colección ha sido colectado por los estudiantes de la asignatura de Entomología, como requisito de la parte práctica del curso.

El material colectado de *Bombus*, encontrado en las diferentes cajas de los gabinetes y en alcohol, se separó de otras abejas nativas, con las que presenta similitud. En la identificación, se utilizaron las características diagnósticas presentes en este grupo, según Abrahamovich & Díaz (2002), Liévano *et al.* (1994), Triplehorn & Johnson (2005) y Michener (2007). Posteriormente, el material se separó y se evaluó el estado de conservación, siguiendo la escala de curaduría propuesta por McGinley (1993) y Cruz & Posada (2003), para

el manejo de colecciones. En la evaluación, se revisó el estado de preservación de cada espécimen, para establecer si se encontraba completo, si le faltaban partes o si presentaba ataque de plagas u hongos. También, se estimó la información contenida en las etiquetas, que acompañan al espécimen, para establecer la localidad, la fecha de colección, la forma de colección (si estaba libando en una flor y el nombre de la planta hospedante o si se colectó al vuelo) y, finalmente, el nombre del colector.

La información de la evaluación de la conservación de especímenes y la información contenida en las etiquetas, se transfirió a una hoja de cálculo de Excel con todas las entradas, para cada espécimen, colocadas en columnas correspondientes a la evaluación descrita anteriormente y se calcularon las estadísticas descriptivas. Se prepararon las gráficas para representar los resultados del estado de conservación de la colección de *Bombus* de la U.D.C.A. Terminada la evaluación, se utilizó la información para preparar nuevas etiquetas con datos que contenía las etiquetas originales y complementando la faltante, con la identificación y el estado de curaduría de los especímenes.

Con la información de localidad, se estableció la procedencia de los especímenes y la distribución, tanto geográfica como altitudinal, para la cual, se tomó como referencia la cabecera municipal. Las altitudes registradas, se dividieron en rangos de 1000msnm, con el propósito de establecer la abundancia por clima cálido, medio y frío. Se preparó un mapa de distribución de las especies, tomando como base los especímenes que contenían en su ficha de colecta el municipio del que provenían. Se utilizó el programa ArcGis 9.3 (ESRI).

Igualmente, se evaluó la información sobre la forma de captura, para establecer las plantas hospedantes. En este trabajo, se dan recomendaciones para realizar la colección de especímenes de *Bombus*, para que la información de colecta tenga valor para la investigación y la conservación de este grupo de polinizadores.

La clasificación, se realizó siguiendo las características diagnósticas propuestas por Abrahamovich & Díaz (2002), Liévano *et al.* (1994), Michener (2007) y Tripplehorn & Johnson (2005) y utilizando la genitalia y cámara del agujón de las hembras (Prýs-Jones & Corbet, 1991; Liévano *et al.* 1994; Téllez & Posada, en preparación). Las genitalias extraídas, se conservaron en viales y se tomaron fotografías, utilizando un estereoscopio, con el propósito de registrar y documentar fotográficamente las especies y las características diagnósticas, para utilizarlas con fines de investigación y educación en la conservación de *Bombus*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la colección de insectos de la U.D.C.A, se encontraron 213 especímenes de *Bombus*, de los cuales, 179 (84,0%) arrojaron información, que permitió establecer el departamento y la localidad donde se colectaron. De este material colectado, 34 (16,0%) especímenes no presentaron ningún dato de valor para el conocimiento del género, lo que significa una pérdida de oportunidad del conocimiento de la biodiversidad de los lugares donde se colectaron estos especímenes y no permite establecer la relación con la flora que les sirve de sustento.

En la colección, los especímenes de *Bombus* provinieron de seis departamentos y 55 localidades o municipios colombianos. Por departamento, el mayor número de colectas de *Bombus* se realizó en Cundinamarca, con 149 especímenes (83,2%), de 30 localidades (64,0%), seguido por Boyacá, con nueve especímenes (5,0%), de nueve localidades (16,0%); Tolima, con 12 especímenes (6,7%), de cinco localidades (9,1%); Meta, con cinco especímenes (2,8%), de cuatro localidades (7,3%); Casanare, con dos especímenes (1,1%), de una localidad (1,8%) y, el Valle del Cauca, con dos especímenes (1,1%) (Figura 1A). Esta fauna de *Bombus* corresponde a la región central de Colombia, con distribución en ambos flancos de la cordillera oriental y central.

En la identificación de los especímenes de *Bombus* de la colección de la U.D.C.A, se encontraron siete especies y una morfo-especie, utilizando el patrón de coloración y la disección de especímenes, por la extracción de la genitalia y la cámara del agujón (Abrahamovich & Díaz, 2002; Liévano *et al.* 1994; Michener, 2007; Téllez & Posada, en preparación).

En la figura 1C, se presenta, para cada especie de *Bombus*, la distribución por departamento y por municipio. Tomando como base aquellos especímenes que en su ficha de colecta presentaban esta información, se obtuvo la distribución de seis especies y la morfoespecie en cinco departamentos, ubicados en la zona central de Colombia: Casanare, Boyacá, Cundinamarca, Tolima y Meta. La mayor cantidad de información de distribución por especies, se encuentra en Cundinamarca, de donde Bogotá D.C. es el lugar con el mayor número de especies (Figura 1C).

B. atratus fue la especie que presentó mayor número de colectas (73,7%); se colectó en los seis departamentos y en 45 localidades (81,8%) (Figura 1B), lo que concuerda con los datos de distribución mencionados por Nates-Parra (2005), en donde se califica a *B. atratus* como la especie más abundante y con mayor distribución del género en Colombia, de lo que se podría inferir que es una especie flexible a los cambios en su entorno. *B. robustus* fue la segunda especie con mayor número de especímenes (n=20, 9,5%); se co-

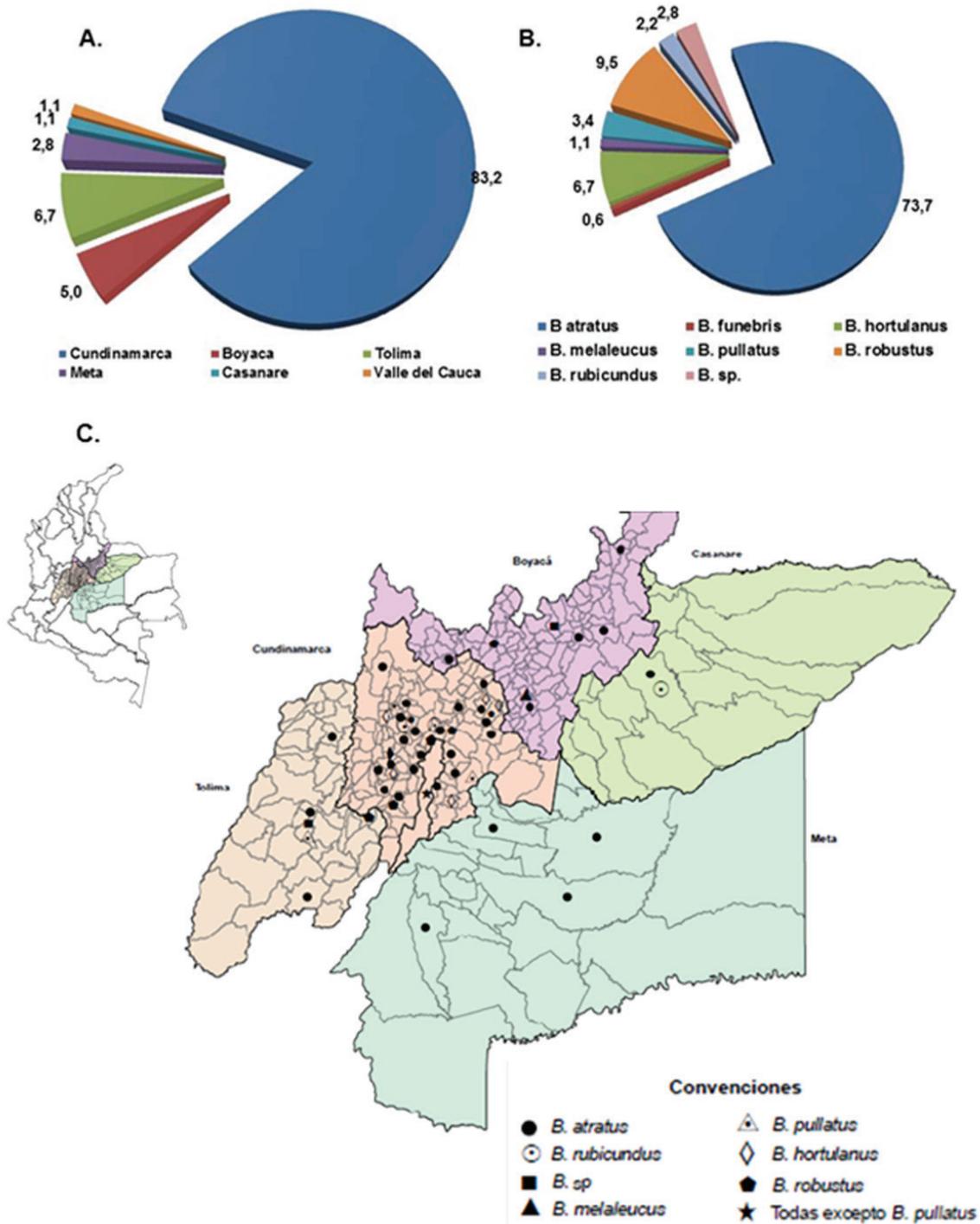


Figura 1. Distribución de las especies de *Bombus* de la colección entomológica de la U.D.C.A. A. Porcentaje según la cantidad de especímenes registrados por departamento; B. Porcentaje de la cantidad de especímenes según la especie; C. Distribución de las especies encontradas en la colección dentro de cinco departamentos ubicados en la zona central de Colombia.

lectó en tres departamentos y en diez localidades (18,2%). De *B. hortulanus*, se colectaron 15 especímenes (6,7%). *B. hortulanus* solamente se colectó en un departamento y en nueve localidades (16,4%). De *B. pullatus*, se encontraron siete especímenes (3,4%), en dos departamentos y en tres localidades (5,5%), frecuencia que no concuerda con lo descrito por Nates-Parra (2005), donde se menciona que es una especie abundante. De *B. rubicundus*, se colectaron cinco especímenes (2,2%), en dos departamentos y cuatro localidades (7,3%). De *B. melaleucus*, se colectaron dos especímenes (1,1%), en dos departamentos y dos localidades (3,6%), lo que contribuye a calificarla como especie rara, ya que se encuentra muy poco en las colecciones entomológicas (Nates-Parra, 2005). De la morfo-especie, designada como *Bombus* sp., se colectaron siete especímenes (2,8%), en tres departamentos y cuatro localidades (7,3%) (Figura 1B). Estas cifras, de la mayor o menor abundancia, procedentes de diferentes localidades son importantes para iniciar trabajos dirigidos a establecer los mapas de distribución de las especies, utilizando sistemas de información geográfica (SIG), con el propósito de conocer en detalle su ubicación y los factores que puedan estar regulando las poblaciones.

En la tabla 1, se muestra la distribución altitudinal de las especies de *Bombus* presentes en la colección entomológica de la U.D.C.A. En los registros, se encontró información para 177 (83,1%) especímenes. Las especies *B. atratus*, *B. hortulanus*, *B. robustus*, *B. rubicundus* y *B. sp.*, se evidenciaron en todos los rangos de altitud, que comprendieron 0-1000, 1001 a 2000 y 2001 a 3000msnm. De *B. funebris*, solamente se registró un espécimen, colectado en el rango de altitud de 2001 a 3000msnm, lo que concuerda con Nates-Parra (2005), en donde se menciona que esta especie es la que más resiste las grandes altitudes. De *B. pullatus*, se colectaron seis especímenes, en los rangos de altitud de 0-1000 y de 1001 a 2000msnm y de *B. melaleucus*, se capturaron dos especímenes, en los rangos de altitud de 1001 - 2000 y de 2001 a 3000msnm. Estos resultados de la distribución altitudinal requieren de mayor número de observaciones y son importantes, porque indican el valor que las especies de *Bombus* pueden tener en la polinización de cultivos y la flora silvestre en los diferentes pisos térmicos, presentes en la geografía de Colombia, que abarca los Andes, los valles interandinos, la costa y los llanos.

Tabla 1. Distribución altitudinal del número de especímenes de las especies de *Bombus* presentes en la colección entomológica de la U.D.C.A.

Altitud (msnm)	<i>B. atratus</i>	<i>B. funebris</i>	<i>B. hortulanus</i>	<i>B. pullatus</i>	<i>B. melaleucus</i>	<i>B. robustus</i>	<i>B. rubicundus</i>	<i>B. sp</i>
0-1000	15		2	4		1	1	2
1001-2000	24		2	2	1	5	1	1
2001-3000	90	1	8		1	11	2	2
Mínimo	178	2630	799	506	1757	323	350	506
Máximo	3000	2630	2713	1895	2630	2630	2630	2360

No se encontraron registros de especímenes colectados a altitudes mayores de 3000msnm, lo que significa que se requieren realizar muestreos en zonas de estas altitudes, para establecer las especies que las habitan y los hábitos y uso de flora de las mismas. Los estudios futuros deben establecer la abundancia y la presencia de estas abejas, ya que han sido denominadas las abejas de los páramos (Nates-Parra & Gonzáles, 2000) y juegan un papel importante en la conservación de estos ecosistemas. Igualmente, se debe confirmar si los abejorros del género *Bombus* se presentan a altitudes bajas, como lo registra la información de las colectas, puesto que, corrientemente, se indica que las poblaciones de estos insectos, en el trópico, se muestran, principalmente en ecosistemas de alta montaña (Michener & Amir, 1977; Nates-Para *et al.* 2006).

En cuanto a la información sobre la forma de colecta, de los 213 especímenes, 145 (68,1%) presentaron información y 68 no tenían datos (30,9%). El material con información permitió establecer que 46 especímenes (21,6%), se colectaron polinizando flores y 99 especímenes (46,5%) presentaron información incompleta, como: visitando flores (n=11; 5,2%), de los cuales, no se indicó la identificación de la planta; follaje (n=18; 8,5%), tampoco se indicó la identificación de la planta; encontrados en el suelo (n=4; 1,9%) y colectados al vuelo (n=66; 31,0%). Estos dos últimos aspectos claramente indican la necesidad de prestar atención a los hábitos y a las relaciones que establece *Bombus* con las plantas que visitan y florecen a nivel del suelo, como los tréboles o diente de león, entre otras, donde además los individuos de *Bombus* se pueden encontrar en las flores, descansando o volando

a ras del suelo, buscando alimento. La falta de información demuestra, claramente, el descuido al realizar la colección, lo que indica que es esencial instruir, de manera adecuada, a los estudiantes cuando realizan colecciones, para garantizar que sean rigurosos en el registro de la información, ya que es de valor para el uso de la colección, como herramienta de educación e investigación. Los polinizadores, por sus hábitos de alimentación, cuando visitan una especie de planta que está en floración, corrientemente repiten varias visitas, por lo que ofrecen la oportunidad al estudiante de observar el fenómeno de la polinización, coleccionar la información y unos especímenes para cumplir con el requisito del curso y, a su vez, aportar datos para la investigación y conservación de este grupo.

Sobre las plantas hospedantes, se encontraron 46 registros de *Bombus* visitando 28 especies de plantas. Estos registros corresponden a solamente tres especies de *Bombus*, de las ocho registradas en la colección. Las otras cinco especies de *Bombus*, se capturaron al vuelo o no presentaron información de captura. *B. atratus* fue la especie con mayor frecuencia de registros de plantas visitadas ($n=39$; 84,8%); *B. hortulanus*, se encontró en cuatro (8,7%) y *B. robustus*, únicamente se registró visitando tres (6,5%) plantas (Tabla 2). Ninguna planta se encontró que fuera visitada por todas las especies de *Bombus*.

La mora (*Rubus* sp., Rosaceae) fue la planta que registró el mayor número de especies de *Bombus*, como polinizadores. Se registró que es utilizada por tres especies (Tabla 2). La mora es una planta silvestre, que demuestra que es muy importante para las especies de *Bombus*; tiene amplia distribución en Colombia y crece en bordes de vías, corrientes de agua y el sotobosque, lo que la hace una candidata para propagación en los programas de conservación de *Bombus*.

B. atratus fue la única especie que registró frecuencia de colecta de cinco, tres, dos y una, mientras que las otras dos especies de *Bombus* solamente presentaron frecuencia de una colecta sobre las plantas visitadas (Tabla 2). Por especie de planta, el mayor número de frecuencia de colectas, cinco, se realizó en frijol y en trébol, seguido por tres colectas, sobre guayaba, fresa y papa. La papa y el trébol presentaron frecuencias de dos y las demás plantas, de uno. Considerar la frecuencia de las colectas es importante, porque demuestra la preferencia de las especies de *Bombus*, por determinados recursos florales (Tabla 2).

La colecta de las especies de *Bombus* en las plantas también indica que se debe evaluar no solamente el beneficio para el polinizador sino también el servicio de la polinización y el riesgo que enfrenta *Bombus* cuando estas plantas son cultivos, como la papa y la fresa, en los que se aplican, con frecuencia insecticidas, para el manejo de plagas. Se

encontró que *B. atratus* muestra preferencia por visitar estos cultivos (Tabla 2), lo que puede afectar sus poblaciones. En papa, la polinización no es indispensable para la producción de semilla, ya que la que se utiliza comercialmente son los tubérculos, mientras que en la fresa, la polinización cruzada es indispensable para obtener alta producción y frutos de buena calidad. La consideración de la presencia de *Bombus* en estos cultivos demuestra la necesidad de desarrollar programas de manejo de los polinizadores, que aseguren el servicio de polinización y la sobrevivencia en el medio.

Por familia de plantas, el mayor número de registros de especies lo presentó, con cinco, la familia Rosaceae (ciruelo, durazno, fresa, mora y rosa) y la familia Asteraceae (dalia, diente de león, girasol, margarita y botón de oro), seguidas por la Fabaceae, con cuatro especies (arveja, frijol, trébol y trébol rojo). Finalmente, las solanáceas, con tres especies (ají, papa y tomate), en las cuales, la actividad del zumbido de *Bombus* en las flores se puede percibir con claridad, para hacer desprender el polen de las anteras, que son fusionadas (Delaplane & Mayer, 2000; Almanza, 2007; Aldana *et al.* 2007).

Los resultados que se presentan sobre la flora indican que existe necesidad de recalcar la importancia de registrar las plantas hospedantes. Los registros de las plantas hospedantes solamente alcanzaron el 21,6% de la información, que debe contener el material coleccionado y únicamente dos registros presentaron los nombres científicos de las plantas (Tabla 2). La información sobre la flora es esencial para adelantar programas de manejo y conservación de las poblaciones de *Bombus*. El colector debe establecer que el insecto que se colecta está visitando las flores, ya sea para obtener polen o néctar, lo que le permite conocer y comprobar que es un polinizador. Al material coleccionado, se le deben colocar los nombres científicos y vulgares de las plantas, para tener una mayor exactitud sobre esta información.

El estado de curaduría de los especímenes, se inició con un valor promedio de tres, un mínimo de uno, para especímenes que no presentaron ninguna información y máximo de cuatro, para especímenes que presentaban información, pero que requerían curaduría. El mayor limitante consistió en que los especímenes mostraban información faltante de localidad, fecha de colección, planta hospedante y colector. Además, se hallaron dispersos en diferentes gabinetes, cajas y en viales con alcohol, sin ningún dato, que permitiera establecer dónde encontrarlos e, igualmente, no existían registros ni en tarjetas o en bases de datos, para el manejo de la información. En general, los especímenes estaban mezclados con otros insectos, exhibían pérdida de partes y presencia de plagas y hongos, por lo que el valor de la curaduría fue bajo.

La colección expone especímenes coleccionados desde 1994

Tabla 2. Registro de la frecuencia de las plantas hospedantes de las especies de *Bombus* depositadas en la colección de insectos de la U.D.C.A.

Plantas	Nombre científico	Familia	Bombus atratus	Bombus funebris	Bombus hortulanus	Bombus melaleucus	Bombus pullatus	Bombus robustus	Bombus rubicundus	Bombus sp.	Total
Dalia	<i>Dahlia</i> spp.	Asteraceae	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Diente león	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	Asteraceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Margarita	<i>Chrysanthemum</i> sp	Asteraceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Botón de oro	<i>Thyttonia diversifolia</i>	Asteraceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Besito	<i>Impatiens balsamina</i>	Balsaminaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Achira	<i>Canna</i> spp.	Cannaceae	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Batatilla	<i>Ipomoea</i> spp.	Convolvulaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Calabacín	<i>Cucurbita</i> sp.	Cucurbitaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	Fabaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fríjol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Fabaceae	5	0	0	0	0	0	0	0	5
Trébol	<i>Trifolium</i> sp.	Fabaceae	5	0	1	0	0	0	0	0	6
Trébol rojo	<i>Trifolium pratenses</i>	Fabaceae	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Tulipan	<i>Tulipa</i> spp	Liliaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Cayeno	<i>Hibiscus</i>	Malvaceae	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Guayaba	<i>Psium guaba</i>	Myrtaceae	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Ciruelo	<i>Prunus</i> spp.	Rosaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Durazno	<i>Prunus persica</i>	Rosaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Fresa	<i>Fragaria vesca</i>	Rosaceae	3	0	1	0	0	0	0	0	4
Mora	<i>Rubus</i> spp.	Rosaceae	2	0	1	0	0	1	0	0	4
Rosa	<i>Rosa</i> spp.	Rosaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Naranja	<i>Citrus</i> sp	Rutaceae	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Ají	<i>Solanum capsicum</i>	Solanaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Papa	<i>Solanum tuberosus</i>	Solanaceae	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	Solanaceae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Subtotal			39	0	4	0	0	3	0	0	46
Porcentaje			84,8	0	8,7	0	0	6,5	0	0	
Flor			8	0	1	0	0	2	0	0	11
Follaje			16	0	0	0	0	0	2	0	18
Suelo			1	1	0	0	1	0	1	0	4
Vuelo			42	1	2	2	5	7	2	5	66
Información incompleta			67	2	3	2	6	9	5	5	99
Porcentaje			67,7	2,0	3,0	2,0	6,1	9,0	5,1	5,1	
Sin información			49	0	8	0	1	8	0	2	68
Porcentaje			72,1	0	11,8	0	1,5	11,8	0	2,9	
Total			155	2	15	2	7	20	5	7	213
Porcentaje			72,8	0,9	7,0	0,9	3,3	9,4	2,3	3,3	100

hasta el 2012. Los únicos años donde no se recolectaron *Bombus* fueron 1995 y 1996. *B. atratus*, se colectó continuamente desde 1997 hasta el 2011. La colección de las otras especies fue muy variable a través del tiempo y en un bajo número. El año de mayor número de colectas fue el 2012, posiblemente, por el interés despertado con la realización del presente trabajo, que acompañó a los estudiantes al campo.

La colección de *Bombus* de la U.D.C.A, se organizó y los especímenes se colocaron en gabinetes identificados por orden (Hymenoptera), familia (Apidae) y tribu (Bombini). Dentro del gabinete, el material se dispuso por especie y la información de cada espécimen, se registró en la etiqueta. Las genitalias y las cámaras del agujón extraídas para el proceso de identificación, se dejaron adheridas al espécimen, ubicadas dentro de viales, para su conservación y posterior uso, en otros trabajos de identificación. La colección de *Bombus* de la U.D.C.A, se dejó preparada por especies en orden filogenético, de acuerdo con Michener (2007).

El valor de curaduría de la colección de *Bombus* de la Universidad, se restauró a un nivel de 9, ya que se rescató la información geográfica, ecológica, colectores y fechas. Adicionalmente, esta actualización permitió realizar investigaciones con el material, tomar datos, fotos, plasmar dibujos, mediciones, descripciones para publicaciones y estudios ecológicos, como la identificación de las especies de *Bombus* de la colección entomológica de la U.D.C.A (Télez & Posada, en preparación).

Se recomienda que para realizar la colección de material entomológico, se deben exigir a los participantes la información que deben contener los especímenes. Adicionalmente, recalcar la necesidad que los especímenes de *Bombus* sean bien montados en alfileres, con el propósito que el material sea de valor para la colección, de lo contrario, no se justifica coleccionar. Los individuos de *Bombus* y otras especies que se caracterizan por presentar pilosidad en todo su cuerpo, no se deben almacenar en alcohol, ya que cuando se secan, la pilosidad queda pegada al cuerpo, lo que puede llegar a dificultar la identificación, además de que, estéticamente, no queda presentable el insecto.

Revisar las colecciones del país, con el propósito conocer en detalle el registro de las especies de *Bombus* y conocer los aspectos de distribución y plantas hospedantes, aportaría información valiosa para el uso de las diferentes especies, en la polinización de cultivos y su conservación. Estas visitas, se deben complementar con colectas en sitios geográficos diferentes a la región central del país (Cundinamarca), para tener un mayor conocimiento de esta fauna.

Promover el conocimiento de las plantas hospedantes de *Bombus*, con el objetivo de cultivarlas o preservarlas en el

medio para mantener las poblaciones de estos polinizadores, puede ser una iniciativa pionera para la conservación de este género de abejas.

Agradecimientos: A la U.D.C.A, por el contrato de joven investigador concedido a Lorena Télez Farfán, para adelantar este trabajo de curaduría de los especímenes de *Bombus* de la colección entomológica de la Facultad de Ingeniería Agronómica. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABRAHAMOVICH, A.; DÍAZ, N. 2002. Bumble bees of the Neotropical Region (Hymenoptera: Apidae). *Biota Col.* 3(2):199-214.
2. ALDANA, J.; CURE, J.R.; ALMANZA, M.T.; VECIL, D.; RODRÍGUEZ, D. 2007. Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Agr. Col.* 25(1):62-71.
3. ALLSOPP, M.H.; DE LANGE, W.J.; VELDTMAN, R. 2008. Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. *PLoS ONE* 3(9): e3128. Disponible desde internet en <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0003128> (con acceso 23/01/2013).
4. ALMANZA, M.T. 2007. Management of *Bombus atratus* bumblebees to pollinate Lulo (*Solanum quitoense* L.), a native fruit from the Andes of Colombia. *Ecology and development Series No. 50.* 127p.
5. BROWN, M.J.F.; PAXTON, R.J. 2009. The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie.*40:410-416.
6. CHUNG, K.K. 1993. Biodiversity, conservation and inventory: why insects matter. *Biodiv. & Conserv.* 3(2):191-214.
7. CRUZ, B.C.A.; POSADA F., F. 2003. Evaluación de la biodiversidad de la zona cafetera colombiana representada en la colección de artrópodos de Cenicafe. *Rev. Col. Entomol.* 29(2):107-112.
8. CRUZ, P.; ESCOBAR, A.; ALMANZA, M.T.; CURE, J.R. 2008. Implementación de mejoras para la cría en cautiverio de colonias del abejorro nativo *Bombus*

- pauloensis* (= *B. atratus*) (Hymenoptera: Apoidea). Rev. Fac. Cienc. Bás. U. Militar Nueva Granada. 4(1):70-83.
9. DELAPLANE, K.; MAYER, D. 2000. Crop pollination by bees. CABI. New York, USA. 334p.
 10. HERNÁNDEZ, M.P.; BELLOTTI, A.C.; CARDONA, C.; LAPOINTE, S.; PANTOJA, A. 1995. Organización y Utilidad de una Colección de Insectos para referencia y en Cuatro Cultivos Tropicales. Rev. Col. Entomol. 21(1):59-62.
 11. JAMES, R. 2010. Biology, News from the USDA-ARS Pollination Insects—Biology, Management and Systematics Research Unit in Logan, UT Utah Pest News. 4: 8-9. Disponible desde internet en <http://utahpests.usu.edu/files/uploads/UtahPests-Newsletter-summer10.pdf> (con acceso 23/01/2013).
 12. KLEIN, A.M.; VAISSIÈRE, B.E.; CANE, J.H.; STEFFANDEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S.A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc. R. Soc. Lond. B, Biol. Sci., 274:303–313. Disponible desde internet en: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/citmgr?gca=royprsb;274/1608/303> (con acceso 23/01/2013).
 13. LIÉVANO, A.; OSPINA, R.; NATES-PARRA, G. 1994. Contribución al conocimiento de la taxonomía del género *Bombus* en Colombia (Hymenoptera: Apidae). Trianea. 5:221-223.
 14. MCGINLEY, R. 1993. Where's the management in collections management? Library of Congress. Vol. 3. Washington, USA. p.309-338.
 15. MICHENER, C.D. 2007. Bees of the World. 2nd Ed. The Johns Hopkins University Press. USA. 953p.
 16. MICHENER, C.D.; AMIR, M. 1977. The seasonal cycle and habitat of a tropical bumble bee. Pacific Insects. 17(2-3):237-240.
 17. MORALES-ROZO, C.; ROJAS-PRIETO, D.; CURE-HAKIM, J. 2006. Actividad forrajera de un nido silvestre de *Bombus atratus* Franklin (Hymenoptera: Apidae) en la Sabana de Bogotá. p. 49. En: III Encuentro Colombiano de Abejas Silvestres. 2006. Laboratorio de Investigaciones en Abejas LABUN, Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta, Colombia.
 18. NATES-PARRA, G. 2005. Abejas corbiculadas de Colombia, Hymenoptera: Apidae. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 156p.
 19. NATES-PARRA, G.; GONZÁLES, V. 2000. Las abejas silvestres de Colombia: por qué y cómo conservarlas. Acta Biol. Col. 5(2): 1-33.
 20. NATES-PARRA, G.; PARRA, A.; RODRÍGUEZ, A.; VAQUERO, P.; VÉLEZ, D. 2006. Abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) en ecosistemas urbanos: Estudio en la ciudad de Bogotá y sus alrededores. Rev. Col. Entomol. 32(1):77-84.
 21. OTTERSTATTER, M.C.; THOMSON, J.D. 2008. Does Pathogen Spillover from Commercially Reared Bumble Bees Threaten Wild Pollinators? PLoS ONE 3(7): e2771. Disponible desde internet en <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0002771> (con acceso 11/08/2012).
 22. PARK, M.G.; ORR, M.C.; DANFORTH, B.N. 2010. The Role of Native Bees in Apple Pollination. New York Fruit Quarterly 18(1):21-25. Disponible desde internet en <http://www.nyshs.org/pdf/fq/10spring/the-role-of-native-bees-in-apple-pollination.pdf> (con acceso 23/01/2013).
 23. PRÛS-JONES, O.; CORBET, S. 1991. Bumblebees. The Richmond Publishing Co. Ltd. England. 92p.
 24. TÉLLEZ-FARFÁN, L.; POSADA-FLÓREZ, F.J. Identificación de especies de *Bombus* de la colección de insectos de la U.D.C.A. En preparación.
 25. TRIPPLEHORN, C.A.; JOHNSON, N.F. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects, 7th edition. Thomas Brooks/Cole. USA. 864p.

Recibido: Julio 12 de 2012

Aceptado: Junio 5 de 2013

Como citar:

Téllez-Farfán, L.; Posada-Flórez, F.J. 2013. Curaduría e identificación de la fauna de bombus de la colección de entomología de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 501-509.

RESTAURACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES MEDIANTE ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES

DIGITAL IMAGE RESTORATION BY PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

Juan Gabriel Triana¹, Liliana Constanza Romero², Diego Gerardo Roldán³

¹ Matemático, Magister en Ciencias - Matemática Aplicada. Docente Universidad Manuela Beltrán. Departamento de Ciencias Básicas. Coordinador de Matemáticas. Av. Circunvalar No 60-00, Bogotá, D.C., Colombia, jtrianal@unal.edu.co; ² Matemática, Magister en Ciencias - Matemática Aplicada (C). Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, lcromerom@unal.edu.co; ³ Matemático, Magister en Ciencias - Matemática Aplicada. Docente Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ciencias y Tecnología, Campus Universitario Calle 222 No 55-37, Bogotá, D.C., Colombia, dgroldanj@unal.edu.co.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 511-518, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La restauración digital de imágenes, definida como el arte de mejorar la calidad de las imágenes, ha logrado un amplio desarrollo en los últimos años, alcanzando un alto nivel de popularidad, desde que se utilizaron métodos matemáticos y computacionales para restaurar las imágenes distorsionadas, enviadas por el telescopio Hubble; sin embargo, las imágenes no siempre son afectadas de manera total, algunas sufren pérdida de información en algunas regiones, otras simplemente son afectadas por el paso del tiempo, por tanto, es necesario establecer técnicas que permitan restaurar imágenes, en las cuales, el daño no es reversible, mediante un filtro aplicado sobre toda la imagen. En este trabajo, se establece un método que permite detectar las regiones dañadas en la imagen, realizar un proceso de restauración, basado en ecuaciones diferenciales parciales, sobre las regiones dañadas, logrando, de este modo, construir la imagen recuperada. El método propuesto en este escrito podrá ser aplicado para la restauración de imágenes en blanco y negro, a color e, incluso, imágenes de obras de arte.

Palabras clave: Análisis numérico, procesamiento de imágenes, ecuación del calor.

SUMMARY

Inpainting, art of improving the image quality, has achieved great development in recent years, reaching a high level of popularity after the restoration of images sent by the Hubble telescope, through mathematical methods and computational tools. However, the images are not always totally affected, suffering some loss of information in some

areas, others simply are affected by the passage of time, so it is necessary to establish techniques to restore images in which the damage is not reversible using a filter applied to the entire image. This study established a method which allows to detect the damaged regions of the image and to perform a restoration process on the damaged regions, based on partial differential equations, thus achieving the construction of a recovered image. The method proposed in this paper could be applied to the restoration of grayscale and color images and even of artwork.

Key words: Numerical analysis, image processing, heat equation.

INTRODUCCIÓN

La restauración de imágenes, conocida como “inpainting”, es el arte de mejorar la calidad de una imagen, compensando o eliminando las distorsiones y el deterioro de la imagen. Una restauración ideal solamente puede ser llevada a cabo si el proceso de deterioro se puede describir matemáticamente (Klette & Zamperoni, 1996).

Durante el proceso de captura de una imagen suele haber efectos indeseados, conocidos como ruido; en dichos casos, se suele modelar el tipo de daño ocasionado, como una transformación que afecta la imagen, que se denomina filtro y de este modo, se puede construir una transformación inversa, para corregir el daño generado (Klette & Zamperoni, 1996); no obstante, cuando el daño no afecta a toda la imagen, sino parte de ella, como es el caso de imágenes en las que algunas partes han sido recortadas, imágenes sobre las cuales el paso del tiempo ha hecho estragos, imágenes

con la fecha de registro, en casos como estos, aplicar un filtro sobre la imagen completa no es conveniente, ya que las regiones donde no se presenta daño también serían modificadas (Bertozzi & Schönlieb, 2011), por esta razón, es necesario diseñar una estrategia que permita detectar las regiones dañadas en la imagen y llevar a cabo el proceso de restauración, solamente sobre dichas regiones.

Una imagen, matemáticamente, puede ser descrita mediante una función que toma un punto de la imagen, (x, y) y le asigna un valor numérico; de este modo, la terna se denominará pixel (Klette & Zamperoni, 1996). El pixel se define, usualmente, como la menor unidad homogénea de color; sin embargo, si una imagen se amplía lo suficiente se podrán visualizar los pixeles y, cuando esto ocurre, se dice que la imagen presenta pixelamiento.

Considerando una imagen, es posible tomar una cuadrícula uniforme, de tal manera que cada cuadro representa un pixel y al unir todos los pixeles, se obtendrá la imagen completa, de este modo, una imagen podrá ser descrita mediante una matriz de pixeles (Esakkirajan *et al.* 2011); normalmente, un pixel es de tamaño pequeño, en comparación con toda la imagen, por esta razón, es de esperarse que la representación matricial de una imagen sea de un tamaño considerablemente grande.

En el caso en que la imagen es representada en blanco negro o en escala de grises, cada pixel guarda la información de la intensidad de brillo que corresponde a la ubicación en la matriz que este ocupa (Jähne, 2005) (Imagen 1).

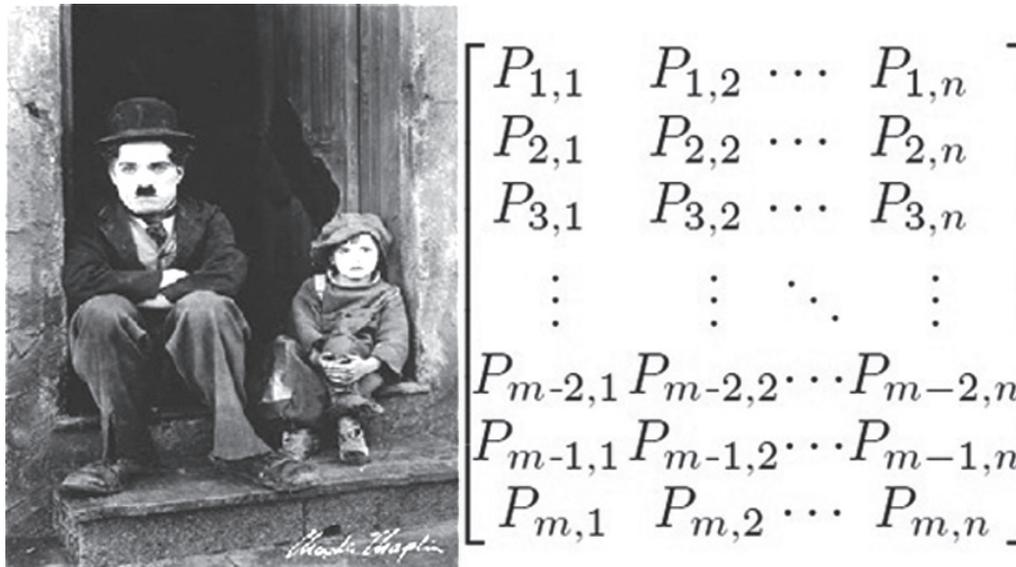


Imagen 1. Imagen en blanco y negro, poster de la película The Kid, 1921. Tomado y editado de <http://www.popartuk.com>.

En la imagen anterior, el valor $P_{i,j}$ es la intensidad almacenada en el pixel que se encuentra en la posición (i, j) . El tamaño de la imagen es dado por (m, n) , que corresponden al número de pixeles de alto y de ancho de la imagen.

Quando la imagen se encuentra a color, la representación descrita no es suficiente, ya que una matriz no basta para mostrar todos los colores, por lo tanto, es necesario interpretar la imagen mediante tres matrices (conocidas como máscaras), las cuales, representan la intensidad de tres colores específicos. Esta representación, a través de las máscaras mencionadas, puede ser realizada mediante diversos formatos; en particular, para imágenes digitales, se suele utilizar RGB, constituida por los colores rojo(R), verde(G) y azul(B) (Pratt, 2001) (Imagen 2).

Cabe destacar que las matrices R,G,B, correspondientes a cada una de las máscaras, son de m filas y n columnas, pues la imagen asociada a ellas contiene $m \cdot n$ pixeles.

El manejo, a través de las tres máscaras, es coherente, ya que a partir de estas es posible generar los colores primarios (amarillo, azul, rojo); el blanco, al tomar la máxima intensidad de los tonos y, el negro, al considerar la ausencia en la intensidad de cada tono. La información de cada pixel, se encuentra restringida al formato en que se halle la imagen; por ejemplo, en el caso de una imagen en formato JPG, cada pixel puede almacenar 8 bits de información numérica, por lo tanto, está en capacidad de tomar 2^8 posibles valores, de donde se obtiene que la información de los pixeles varía entre 0, para la mínima intensidad y 255, para la máxima intensidad (Petrou & Petrou, 2010).



Imagen 2. Guacamaya azul y amarilla, junto a su representación RGB. Tomado y editado de www.iconosdevenezuela.com.

En este escrito, se muestra cómo se realiza la construcción de la estrategia de restauración, además, se observa el funcionamiento del método al aplicarse sobre imágenes en escala de grises (blanco y negro) y a color, las cuales, presentan pérdida de información en algunas regiones, que no siempre son definidas mediante formas regulares; también se muestra cómo el método logra determinar y clasificar las regiones deterioradas de la imagen.

MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción matemática de una imagen, se lleva a cabo mediante el uso de matrices; la detección de las regiones dañadas de la imagen, se realiza por la aplicación de un filtro de detección de bordes, que permite diferenciar regiones dañadas de regiones en buen estado.

Los bordes en una imagen son percibidos por el ojo humano, como un cambio en la intensidad o el color, en ciertas regiones de la imagen. El conocimiento de los bordes de la imagen es necesario, para poder aplicar la técnica de restauración, por esta razón, se requiere diferenciarlos del resto de la imagen; para ello, se representan los bordes, mediante el color blanco, mientras el resto de la imagen, con color negro; esta técnica es conocida como binarización (Burger & Burge, 2009), que permite localizar fácilmente los bordes. En particular, si el borde representa una región cerrada, se podrá concluir si corresponde a una región, en la cual, existe un daño de algún tipo o se presenta una pérdida total de información.

El rastreo de los bordes de una imagen no es una técnica simple, existen diversos algoritmos y técnicas de filtros de detección de bordes, entre ellos, están los siguientes: Prewitt, Roberts, Laplaciano, Sobel, Canny (Pratt, 2001). En este documento, se aplicará el filtro Canny, ya que permite detectar bordes fuertes y bordes débiles, además, de mini-

mizar la probabilidad de detección de bordes falsos, ocasionados por ruido en la imagen (Canny, 1986).

El método de restauración que se aplica está basado en la ecuación del calor, descrita en 1822, por Joseph Fourier, quien concluyó que, dada la información de la tasa de cambio de la temperatura en el tiempo y ciertas condiciones iniciales, es posible obtener una ecuación que describa el comportamiento de la temperatura en un cuerpo (Weinberger, 2005), que es dada por:

$$\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = \lambda \left[\frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} \right]$$

Donde λ , se denomina constante de conductividad térmica del material, x, y son las variables espaciales, t es la variable temporal, T representa la temperatura que se obtiene en el punto x, y en el instante.

La ecuación del calor, se aplica para realizar procesos de difusión en la imagen (Sangeetha *et al.* 2011), por ello, permite transmitir información de pixeles de regiones, en buen estado, hacia las regiones de daño.

La ecuación del calor considera el tiempo como parámetro, en este caso particular, el tiempo será utilizado, de manera discreta, como el número de iteraciones que se aplica del método propuesto. El proceso de aplicación de la ecuación del calor sobre la imagen, se lleva a cabo mediante la implementación de métodos numéricos (Burden & Faires, 2002); para tal fin, se podrían escoger diferentes métodos: los implícitos, como el método de Crank-Nicolson (Crank & Nicolson, 1947), que es un método implícito de orden 2, incondicionalmente estable para la ecuación de calor (Thomas, 1995); sin embargo, considerar métodos implícitos implicaría aumentar el costo computacional, además de requerir un

planteamiento más complejo de la implementación del algoritmo, en este caso, mediante el software Matlab, en comparación con el método explícito, que es obtenido al aplicar esquemas de diferencias finitas (Canale & Chapra, 2007).

El método explícito, se obtiene al considerar la siguiente discretización en diferencias finitas de la ecuación del calor:

$$\frac{T_{i,j}^{k+1} - T_{i,j}^k}{\Delta t} = \lambda \left[\frac{T_{i-1,j}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i+1,j}^k}{[\Delta x]^2} + \frac{T_{i,j-1}^k - 2T_{i,j}^k + T_{i,j+1}^k}{[\Delta y]^2} \right]$$

Donde T es la matriz asociada a la imagen a restaurar. Cabe destacar que este método se considera estable si $\Delta t < \frac{1}{2\alpha([\Delta x]^{-2} + [\Delta y]^{-2})}$ (Sewell, 2005).

Debido a que el tiempo es dado por el número de iteraciones a aplicar y que cada componente de la matriz representa un pixel, se puede considerar los valores $\Delta t = \Delta x = \Delta y = 1$ obteniendo así la fórmula explícita:

$$T_{i,j}^{k+1} = \lambda [T_{i-1,j}^k + T_{i+1,j}^k - 4T_{i,j}^k + T_{i,j-1}^k + T_{i,j+1}^k] + T_{i,j}^k$$

Este esquema de diferencias es estable si $\alpha < \frac{1}{4}$, por tal razón, basta considerar $\alpha = \frac{1}{mn}$, donde m y n corresponde al número de filas y columnas de la matriz T , respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El criterio de restauración, se basa en la idea de que los pixeles deteriorados o partes de la imagen donde se presentó pérdida de información, pueden estar rodeados de pixeles en perfecto estado, de los cuales, se podrá tomar información para predecir la intensidad que tenía cada pixel deteriorado (Klette & Zamperoni, 1996), de este modo, se conseguirá describir el proceso de restauración de imágenes, mediante el siguiente algoritmo: representar la imagen matemáticamente, procesar la imagen para detectar los bordes que la componen, binarizar la imagen, con el fin de identificar los bordes, identificar los bordes que corresponden a regiones en las que se presenta pérdida de información, rellenar las regiones de daño y aplicar la ecuación del calor, para realizar el proceso de difusión de información de los pixeles que rodean las regiones de daño.

La restauración de la imagen, se realiza mediante la ecuación del calor, los demás pasos, se llevan a cabo para detectar las regiones de la imagen que deben ser restauradas. El proceso de restauración, se efectúa únicamente sobre las regiones de daño, en dos etapas: en la primera, cada pixel de la región de daño se restaura con la información de los pixeles contiguos que no se encuentran en dicha región; en la segunda etapa, los pixeles toman información de los pixeles vecinos, incluso,

aquellos dentro de la región de daño, esto con el fin de dar mayor solidez y uniformidad al color que toman las regiones de daño.

Se debe mencionar que la ecuación del calor es una ecuación diferencial parabólica (Fritz, 1981) y, por tal motivo, presenta estado estacionario (Gockenbach, 2002); esto se traduce, en que después de cierto número de iteraciones, el nuevo resultado no va a diferir considerablemente del resultado anterior.

El estado estacionario también advierte que no es buena idea aplicar la ecuación del calor sobre toda la imagen, ya que la imagen se ira degradando, hasta que al final, todos los pixeles, alcanzan el color promedio de la imagen (Kimia & Siddqi, 1996).

Para llevar a cabo el proceso de validación del método de restauración, se considera una imagen en blanco y negro, en perfecto estado, sobre la que se realizan algunos cortes, generando, de este modo, algunas regiones de daño con pérdida total de información. La imagen con las regiones recortadas será restaurada, de tal manera que, al final, se compara la imagen restaurada con la imagen original, antes de generar las regiones de daño (Imagen 3).

De la imagen 3, se observa el original junto con la imagen después de aplicar daños sobre algunas regiones; en la parte inferior, se observan los resultados al aplicar el filtro de detección de bordes Canny (1986). En la parte inferior derecha, se percibe cómo los bordes permiten rastrear las regiones de daño, las cuales, una vez ubicadas, se rellenan para distinguirlas del resto de la imagen, permitiendo identificar sobre qué lugares se va a aplicar la restauración.

Al aplicar la ecuación del calor, se está migrando la información de los pixeles; durante la primera iteración, los puntos del interior de la región de daño tomarán la información de los pixeles más cercanos, que no presentan daño; sin embargo, en las demás iteraciones, tomarán la información de los pixeles contiguos (Imagen 4).

En la imagen 4, se puede comparar la imagen original con la imagen obtenida mediante la técnica de restauración; cabe destacar la leve difusión de los bordes de la imagen restaurada, lo cual, es consecuencia de la aplicación de la ecuación del calor (Weickert, 2001).

Para cuantificar el daño ocasionado, se calcula el error relativo, como la distancia Frobenius (Gerald & Wheatley, 2004), de la matriz asociada a la imagen original con la matriz asociada a la imagen dañada, sobre la norma Frobenius de la matriz original, obteniendo, de este modo, los resultados indicados en la tabla 1.

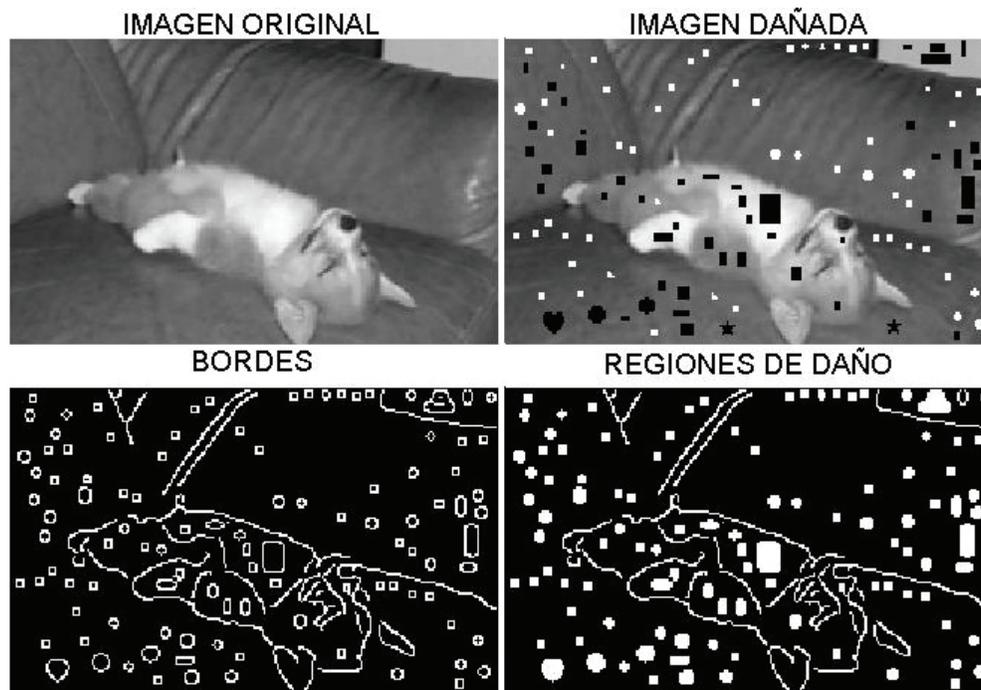


Imagen 3. Se puede apreciar una fotografía por restaurar, junto a sus bordes y las regiones de daño localizadas. Imagen original tomada de plus.maths.org.

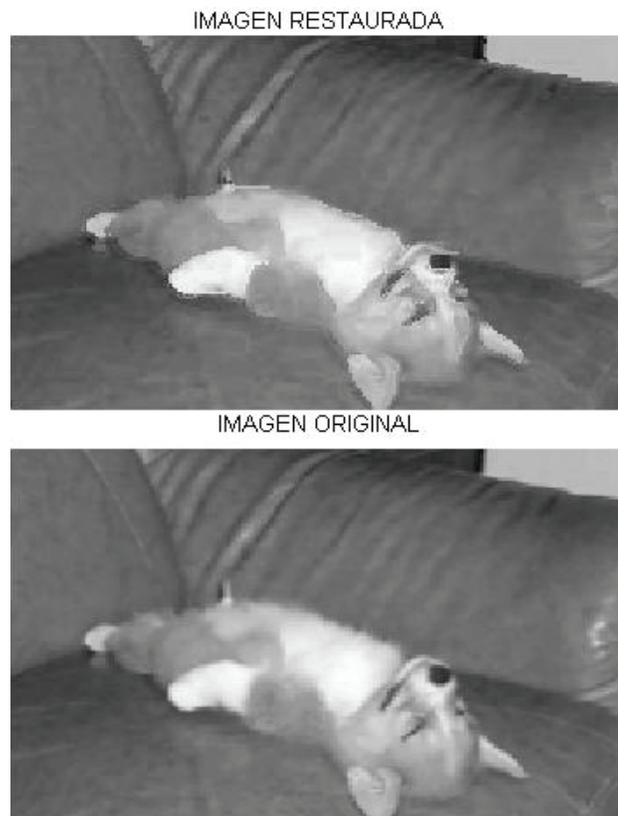


Imagen 4. Imagen restaurada. Imagen original (tomada de plus.maths.org).

Tabla 1. Resultados obtenidos en cada iteración.

Iteración	Error relativo
0	0,33199
1	0,15433
2	0,09433
3	0,07660
4	0,07169
5	0,06823
6	0,06742
7	0,06642
8	0,06586
9	0,06586
10	0,06586

En la tabla anterior, se observa el error relativo en la restauración de la imagen en cada iteración; se puede apreciar que, a medida que aumenta el número de iteraciones, el error relativo disminuye; no obstante, a partir de la iteración 8, el error relativo no cambia, debido a que la ecuación del calor presenta estado estacionario y a la estabilidad del método aplicado, por tal razón, se puede concluir que la imagen ha quedado restaurada; el hecho de que el error relativo sea diferente de 0 es debido a que la ecuación del calor ha ocasionado un efecto leve de difusión en los bordes de la imagen; sin embargo, la validación del método de restauración se ha llevado a cabo con un problema bastante simplificado, una imagen en blanco y negro con regiones de daño generadas por formas geométricas; inmediatamente, surgen interrogantes acerca de la validez del método y si se obtendrán resultados satisfactorios, al considerar una imagen a color, cuyas regiones de daño sean generadas a partir de figuras irregulares.

Es necesario aplicar el método sobre una imagen que no haya sido deteriorada intencionalmente, por ejemplo, una imagen tomada de una obra que debe ser restaurada.

Se considera uno de los murales correspondiente a los frescos de Neidhart, que fueron pintados a finales del siglo XIV, en el salón de banquetes del comerciante Michel Menschein; sin embargo, dueños posteriores decidieron cubrir las obras con capas de yeso y pintura, dejándolas totalmente cubiertas. En 1979, durante una remodelación fueron descubrier-

tas las obras, lastimosamente, no se encontraban en muy buen estado, debido a que pasaron alrededor de tres siglos ocultas, siendo necesaria la intervención de restauradores de arte.

La restauración de los frescos de Neidhart fue de gran importancia cultural, ya que representan el ejemplo más antiguo de pintura mural, no religiosa, en Viena (Höhle & Ottersböck, 1996); además de ser una ventana al pasado, que permite conocer parte de la sociedad medieval del siglo XIV; estas obras forman parte de la colección del Wien Museum.

A continuación, se realiza el proceso de restauración sobre un fragmento de uno de los frescos, del mismo modo en que se procedió con la imagen en blanco y negro. El procesamiento de la imagen, se efectúa mediante la construcción de las matrices RGB y para la detección de los bordes de la imagen, se aplicará nuevamente el filtro Canny, puesto que se ha comprobado que funciona de manera eficiente sobre imágenes a color (Canny, 1986). El proceso de restauración de la imagen en blanco y negro será también utilizado para la restauración de la imagen a color, de este modo, se llevará a cabo el procesamiento, máscara por máscara, de manera automática (Imagen 5).

Los resultados obtenidos sobre la imagen 5 muestran que, incluso con las geometrías intrincadas que presentan las regiones de daño en esta imagen, se lleva a cabo la restauración; sin embargo, algunas zonas no lograron ser identifi-



Imagen 5. Obra de arte por restaurar (tomada de plus.maths.org). Restauración obtenida mediante el método propuesto.

casas como regiones de daño; en esos casos, en los que la restauración no es automática, se puede considerar la región afectada y realizar el proceso de difusión directamente, lo cual, queda descrito como un problema de Dirichlet (Larsson & Thomée, 2009).

Se debe mencionar que la calidad de la imagen es baja, además, que los colores no son muy intensos, debido al tiempo en que los frescos estuvieron bajo yeso, por tal razón, es de esperar un poco de sensibilidad en el rastreo de las regiones de daño ocasionada, principalmente, por el filtro de detección de bordes (Canny, 1986).

La técnica descrita no es la única manera de llevar a cabo una restauración, como también es preciso aclarar que el

método numérico, utilizado para resolver la ecuación diferencial parcial propuesta, no es el único que permite llevar a cabo este trabajo (Burger *et al.* 2009).

En trabajos futuros, es necesario contar con un filtro de detección de bordes más poderoso, como también se puede considerar la aplicación de una técnica que permita realizar la restauración, sin generar efectos de pérdida de calidad en los bordes (Weickert, 2001).

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERTOZZI, A.; SCHÖNLIEB, C. 2011. Unconditionally stable schemes for higher order inpainting. *Comm. Math. Sci. (Estados Unidos)*. 9(2):413-457.
2. BURDEN, R.; FAIRES, J. 2002. *Análisis Numérico 7ª ed.* Ed. International Thompson Editores S.A. Méjico. 838p.
3. BURGER, M.; HE, L.; SCHÖNLIEB, C. 2009. Inpainting and a generalization for grayvalue images. *SIAM J. Im. Sci. (Estados Unidos)*. 2(4):1129-1167.
4. BURGER, W.; BURGE, N. 2009. *Principles of digital image processing.* Ed. Springer-Verlag. Inglaterra. 260p.
5. CANALE, R.; CHAPRA, S. 2007. *Métodos Numéricos para ingenieros.* Ed. Mc Graw Hill. Méjico. 977p.
6. CANNY, J. 1986. A Computational Approach to Edge Detection. *P A Mach. Int. Estados Unidos*. 8(6):679-698.
7. CRANK, J.; NICOLSON, P. 1947. A practical method for numerical evaluation of partial differential equations of the heat-conduction type. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc. (Inglaterra)*. 43(1):50-67.
8. ESAKKIRAJAN, T.; JAYARAMAN, S.; VEERAKUMAR, T. 2011. *Digital image processing.* Tata Mc Graw Hill. India. 723p.
9. FOURIER, J.B.J. 1822. *Théorie analytique de la chaleur.* Firmin Didot, Paris. 639p.
10. FRITZ, J. 1981. *Partial differential equations.* Ed. Springer. Estados Unidos. 249p.
11. GERALD, C.; WHEATLEY, P. 2004. *Applied numerical analysis.* Addison-Wesley. Estados Unidos. 609p.
12. GOCKENBACH, M. 2002. *Partial differential equations analytical and numerical methods.* SIAM. Estados Unidos. 674p.
13. HÖHLE, E.; OTTERSBOCK, B. 1996. *The Neidhart Frescoes, Ca. 1400: The oldest secular mural painting in Vienna.* Museums of the City of Vienna. Austria. 36p.
14. JÄHNE, B. 2005. *Digital image processing.* Springer. Alemania. 607p.
15. KIMIA, B.; SIDDIQI, K. 1996. *Geometric heat equation and nonlinear diffusion of shapes and images.* *Comp. vision and image understanding. (Canada)*. 43(1):50-67.
16. KLETTE, R.; ZAMPERONI, P. 1996. *Handbook of image processing operator.* Ed. John Wiley & Sons. Inglaterra. 397p.
17. LARSSON, S.; THOMÉE, V. 2009. *Partial differential equations with numerical methods.* Springer Verlag (Alemania). 87p.
18. PETROU, M.; PETROU, C. 2010. *Image processing: The fundamental.* John Wiley & Sons. Estados Unidos. 818p.
19. PRATT, W. 2001. *Digital image processing.* John Wiley & Sons. Estados Unidos. 738p.
20. SANGEETHA, K.; SENGOTTUVELAN, P.; BALAMURUGAN, E. 2011. Comparative analysis and evaluation of image imprinting algorithms. *J. Inf. Eng. Appl. (Estados Unidos)*. 1(5):13-23.
21. SEWELL, G. 2005. *The numerical solution of ordinary and partial differential equations.* John Wiley & Sons. Estados Unidos. 352p.
22. THOMAS, J. 1995. *Numerical partial differential equations, finite difference methods.* Springer-Verlag. Alemania. 460p.
23. WEICKERT, J. 2001. *Anisotropic diffusion in image processing.* European consortium for mathematics in industry. Alemania. 170p.
24. WEINBERGER, H. 2005. *Ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.* Editorial Reverté (España). 481p.

Recibido: Noviembre 6 de 2012

Aceptado: Octubre 3 de 2013

Como citar:

Triana, J.G.; Romero, L.C.; Roldán, D.G. 2013. Restauración digital de imágenes mediante ecuaciones diferenciales parciales. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 511-518.

UNA TÉCNICA DE PERSECUCIÓN UTILIZANDO MIMETISMO NO CONVENCIONAL

A PERSECUTION TECHNIQUE USING UNCONVENTIONAL MIMICRY

Juan Gabriel Triana¹, Diego Gerardo Roldán²

¹Matemático, Magister en Ciencias Matemática Aplicada. Profesor Universidad Manuela Beltrán. Departamento de Ciencias Básicas. Coordinador de Matemáticas. Av. Circunvalar No 60-00 Bogotá D.C. Colombia, e-mail: jtrianal@unal.edu.co; ²Matemático, Magister en Ciencias Matemática Aplicada. Profesor Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Facultad de Ciencias y Tecnología Campus Universitario: Calle 222 No.55-37, Bogotá D.C. Colombia, e-mail: droldan@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 519-523, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

En la naturaleza es muy frecuente encontrar situaciones donde existen dos o más bandos que interactúan entre sí, de forma tal que uno hace el papel de cazador y el otro hace el de presa. A esta interacción entre especies se le denomina cacería. Existen múltiples modelos matemáticos que describen el comportamiento entre estas especies e, inclusive, considerando otras especies en la dinámica. Usualmente, la dirección del vector velocidad del cazador es igual a la dirección del vector velocidad de la presa, a velocidades que pueden ser constantes o no. Esta es la técnica usual de persecución, pero la principal desventaja es que la presa puede percibir cuando el cazador se aproxima a ella y, de esta forma, brindarle valiosos segundos de ventaja para huir, lo cual, es un problema, sobre todo, para aquellos cazadores que carecen de velocidad suficiente para atrapar una posible presa. En este documento, se describe una técnica especial de persecución que utiliza un elemento adicional, que se puede considerar como mimetismo, ya que la idea es engañar a la presa haciéndole creer, de alguna forma, que nunca existe acercamiento. En esta técnica, se desprecian efectos, como el cambio de tamaño del cazador, sombras, entre otros. Se deducen las ecuaciones de movimiento del camuflaje y se realizan simulaciones, en algunos momentos especiales, de estas ecuaciones. Estas ecuaciones son fáciles de simular y los resultados sugieren que, en algunos casos, esta estrategia es mejor que las técnicas clásicas de persecución.

Palabras clave: Ecuaciones diferenciales, persecución, mimetismo.

SUMMARY

In nature it is very common to find situations where two or more species interact in a specific way, being one the hunter and the other one the prey. This interaction between species is designated as hunting. There are many mathematical models that describe this behavior between species, considering even other species in the dynamics. Usually the direction of the hunters velocity vector equals the direction of the preys velocity vector, at speeds that may be or not constant. This is the usual technique of persecution. But the main disadvantage of this technique is that the prey can sense when the hunter approaches, which provides an advantage of valuable seconds to escape, which means a problem, especially for those hunters which do not develop adequate speed to catch the possible victim. This paper describes a special technique that uses an additional element, which can be considered as mimicry, since the idea is to fool the prey, to believe in some way that approach never occurs. In this technique effects such as change in the hunters size and shadows, between others are despised. Camouflage movement equations are deduced and in some special cases simulations of these equations are performed. These equations are easy to simulate and the results suggest that in some cases this strategy is better than the classical persecution techniques.

Key words: Differential equations, chase, mimicry.

INTRODUCCIÓN

La primera vez que fue descrito este tipo especial de movimiento fue en 1995, por Srinivasan & Davey. Este movimiento consiste en aproximarse, de manera sigilosa, a un objetivo predeterminado, sin que éste se percate del desplazamiento por parte del agresor. En esta persecución, el agresor se mueve, de forma tal, que su trayectoria depende de un punto fijo de referencia y la trayectoria del objetivo (Anderson & McOwan, 2003a). Los puntos de la trayectoria del agresor estarán ubicados en las líneas que unen el punto de referencia mencionado y los puntos de la trayectoria del objetivo, en un instante dado.

Para este movimiento, se deben despreciar efectos, como el tamaño, a medida que exista el desplazamiento, para que, de esta forma, el objetivo sea incapaz de percibir que el agresor se dirige hacia él y crea, de alguna forma, que éste siempre ha estado inmóvil en un punto inicial o que en una variante se mantenga camuflado, por un fondo de referencia determinado (Hartcup, 1979). En la investigación realizada por Mizutani *et al.* (2003), se muestran indicios que las libélulas utilizan esta técnica para combatir en disputas territoriales y, además en Anderson & McOwan (2003b), mediante algunos experimentos, se comprueba que los humanos también son susceptibles a este movimiento.

Se pretende realizar la simulación numérica de las ecuaciones de movimiento para estas persecuciones y, de esta forma, reproducir soluciones para una familia especial de ecuaciones. Srinivasan & Davey (1995) describen varios algoritmos que permiten simular persecuciones, utilizando mimetismo. En este documento, se realizará una breve descripción de esta técnica y la deducción de las ecuaciones de movimiento; también, se harán simulaciones comparando las trayectorias de movimiento en casos de persecución mimetizada y persecución clásica; esto se llevará a cabo para

escenarios donde el agresor y el objetivo se mueven a velocidad constante y a velocidad variable. Se concluirá que a velocidad constante la persecución mimetizada es mejor para el agresor y se debe optar por este tipo de movimiento, caso opuesto para el movimiento, donde la velocidad no es constante, donde esta técnica no siempre es la más eficiente y como tal, se debe omitir para una posible persecución.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para describir las ecuaciones de movimiento de persecución mimetizada, se considerará el caso de dos dimensiones. La descripción tridimensional, se obtiene de manera semejante. Así la posición del objetivo se puede describir como un punto en el plano. Este punto también se puede considerar de manera vectorial, como un vector posición (Bender, 1978).

La posición del objetivo cambia cuando el objetivo se mueve (Curio, 1976) y, de esta forma, se puede relacionar la posición del objetivo con el tiempo; así que se notará $z(t)$ a la trayectoria del objetivo en un tiempo t , mientras que la trayectoria del agresor es notada por $r(t)$. Otro elemento adicional a considerar, inicialmente, es el punto de referencia, para el cual, la persecución mimetizada va a realizarse; este punto de referencia siempre permanecerá fijo en este movimiento, por lo tanto, el vector posición no depende del tiempo y se notará como r_0 . Se define como línea de restricción a la línea recta que une los puntos de la trayectoria del objetivo con el punto de referencia. Como se observa en la figura 1, la línea que une al objetivo y el punto estacionario es la línea de restricción que está dada por:

$$z(t) - r_0$$

La condición de punto fijo puede ser elegida de diferentes formas, en particular si el agresor escoge en $t = 0$ el punto fijo como r_0 , entonces $r(0) = r_0$. Una persecución mimetizada bajo estas condiciones, se puede observar en la figura 2.



Figura 1. Geometría de la línea de restricción.

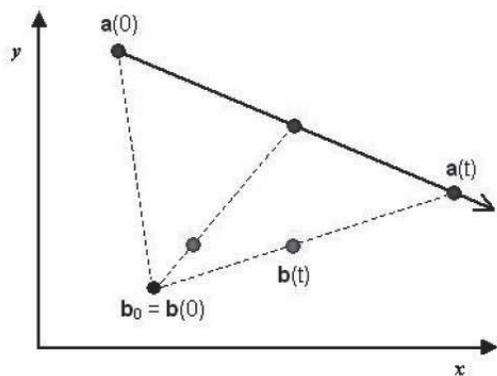


Figura 2. El agresor $b(t)$, se mueve al objetivo $a(t)$, a través de las líneas de restricción.

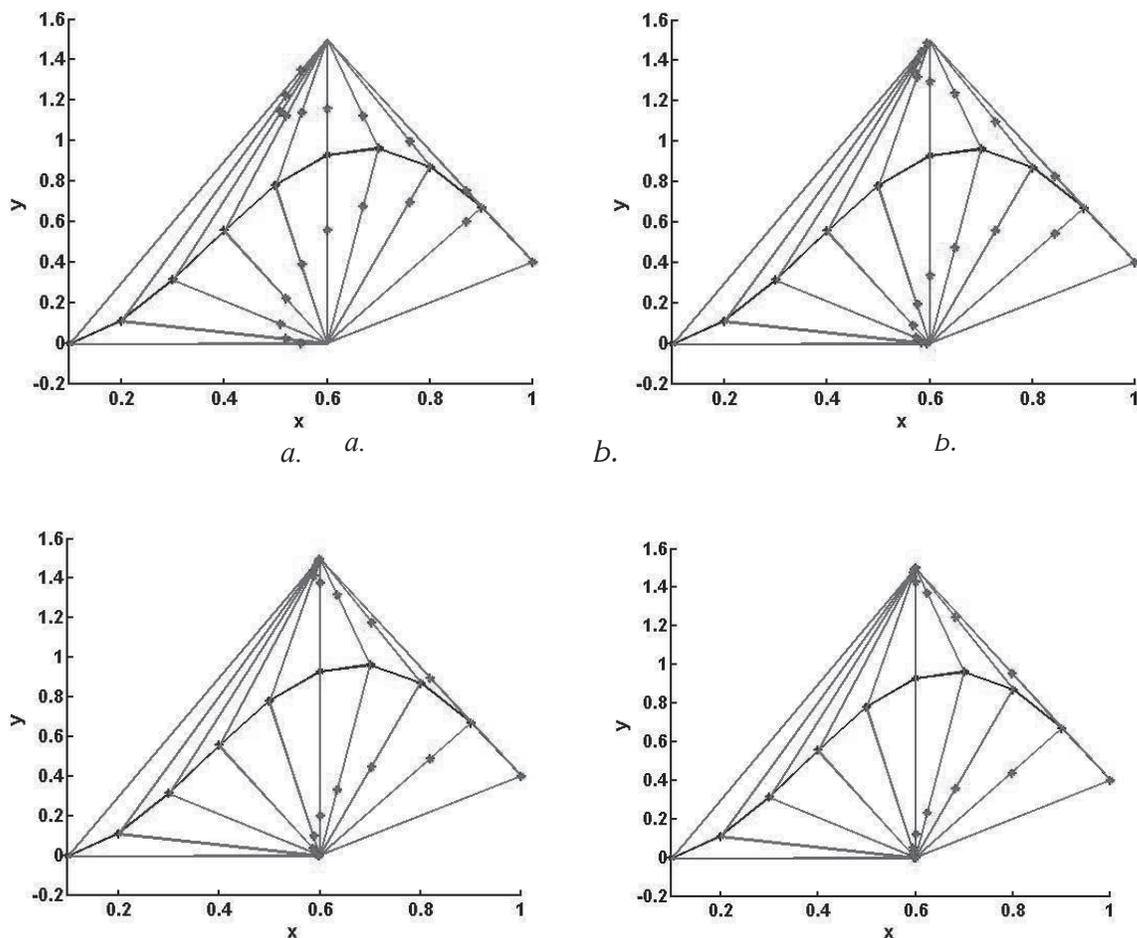


Figura 3. El agresor se mueve al objetivo, a través de las líneas de restricción. Para cada caso, se utilizaron funciones $f(t)$, que satisfacen la ecuación (1). En la imagen a., se utilizó la función $f(t)=t$, en la imagen b., se utilizó $f(t)=t^2$, en la imagen c., $f(t)=t^3$ y en la imagen d., se utilizó $f(t)=t^4$, respectivamente. En todos los casos, el tiempo de captura fue $T=1$.

De esta forma, la ecuación de movimiento para el cazador en un tiempo t , debe satisfacer la ecuación:

$$r(t) = r(0) + u(t)(z(t) - z_0) \tag{1}$$

donde $u(t)$ es una función real con $u(0) = 0$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una condición adicional de consistencia es la siguiente:

$$r(0) \times (z(0) - r_0) = r_0 \times z(0)$$

la cual, asegura que el agresor inicia en la línea de restricción. Para simplificar algunos cálculos, se va a suponer que $r_0 = z_0$. Esta suposición implicará que el agresor y el objetivo están en el mismo lugar en un tiempo T si $u(T) = 1$. Tal tiempo, si existe, se denomina Tiempo de Captura. Algunos ejemplos de este tipo de persecución, se ilustran en la figura 3. En este ejemplo, se considera la función:

$$z(t) = \text{sen} \left(-3t + \frac{\pi}{10} \right) \text{sen}(2t + \pi)$$

y dos puntos de referencia distintos: $r_0 = (0,6;0)$ y $r_0 = (0,6;1,5)$.

Si $u(t)$ puede ser encontrada, entonces la ecuación (1) tiene solución. Si el agresor y el objetivo se mueven con velocidad constante, entonces una única trayectoria óptima de ataque está determinada. Aunque también existe una solución que muestra un escape óptimo. Consideremos las magnitudes de la velocidad del agresor y el objetivo como v y $|r'| = c$. Derivando la ecuación (1) se obtiene:

$$\dot{r} = \dot{u}(z(t) - r_0) + u(t)\dot{z}$$

y, de esta forma, la velocidad desconocida se puede hallar tomando el cuadrado de la anterior expresión y calculando la norma; luego:

$$c^2 = \dot{u}^2 |z(t) - r_0|^2 + 2u(t)\dot{u}[(z(t) - r_0)\dot{z}] + v^2 u^2(t) \tag{2}$$

Esta es una ecuación cuadrática para \dot{u} y usando la solución estándar para ecuaciones cuadráticas, concluimos para \dot{u} :

$$\dot{u} = \frac{-(z(t) - r_0)\dot{z}u \pm \sqrt{[(z(t) - r_0)\dot{z}]^2 u^2 - (v^2 u^2 - c^2)|z(t) - r_0|^2}}{|z(t) - r_0|^2} \tag{3}$$

Con condición inicial $u(0) = 0$. Como se observa para la ecuación (2) existen dos posibles soluciones de \dot{u} : una positiva y una negativa. La solución negativa corresponde a una trayectoria de escape utilizando persecución mimetizada; aún no se ha encontrado en la naturaleza algún ser vivo que

adopte esta posición de escape para su beneficio (Glendinning, 2004).

La ecuación (3) muestra la proporción de avance ideal para un agresor que utilice la técnica de persecución mimetizada. Se puede mostrar que la ecuación (3) no tiene solución analítica (Murphy, 1960), por lo tanto, se utilizan métodos computacionales para visualizar soluciones de la misma.

En las técnicas clásicas de persecución, los agresores se mueven directamente hacia su presa, en cada instante (Alexander, 2003) y las ecuaciones que rigen este comportamiento ya han sido bien descritas por diferentes autores. Un modelo de persecución clásica, se discute en Davis (1962), en donde se atribuye el primer modelo matemático a Bouguer, en 1732.

En este caso, si el objetivo tiene una posición $z(t)$, entonces el agresor se mueve sobre la curva $r(t)$ a cada instante, con dirección de la velocidad dada por la línea que une a $r(t)$ y $z(t)$. Si el agresor tiene velocidad constante $c > 0$, entonces la ecuación diferencial del movimiento está dada por:

$$\dot{r} = c \frac{z-r}{|z-r|} \tag{4}$$

En general, las simulaciones numéricas sugieren que si el agresor se mueve más rápido que el objetivo y ambos (el objetivo y el agresor) tienen velocidad constante, entonces la técnica de persecución, utilizando mimetismo, es más efectiva que las técnicas clásicas de persecución (Glendinning, 2004). Por otra parte, si se realiza otra restricción a las velocidades, suponiendo que la velocidad del objetivo no es constante, las simulaciones numéricas sugieren que la persecución, utilizando mimetismo, no es la más efectiva en todos los casos como se ilustra en el ejemplo de la figura 4.

Mediante algunos juegos de computadora, se ha mostrado que los seres humanos también son susceptibles a este tipo de movimiento (Anderson & McOwan, 2003b); para ello, se utilizaron diferentes experimentos que involucran persecución usual y persecución utilizando mimetismo. En particular, este movimiento ha tenido especial interés por los científicos durante los últimos años, debido a las aplicaciones que han surgido de la misma técnica (Reddy *et al.* 2006). Además, si el objetivo se mueve a velocidad constante, las ecuaciones de persecución, utilizando mimetismo, no tienen soluciones cerradas, en términos de funciones conocidas (Murphy, 1960); asimismo, en estas situaciones, la persecución suele ser más eficiente que las técnicas clásicas de persecución (Glendinning, 2004). Para el trabajo posterior, se pueden formular una serie de preguntas como: ¿Es posible determinar una técnica mixta, de tal forma que se tomen los elementos a destacar entre la persecución utilizando mimetismo y las

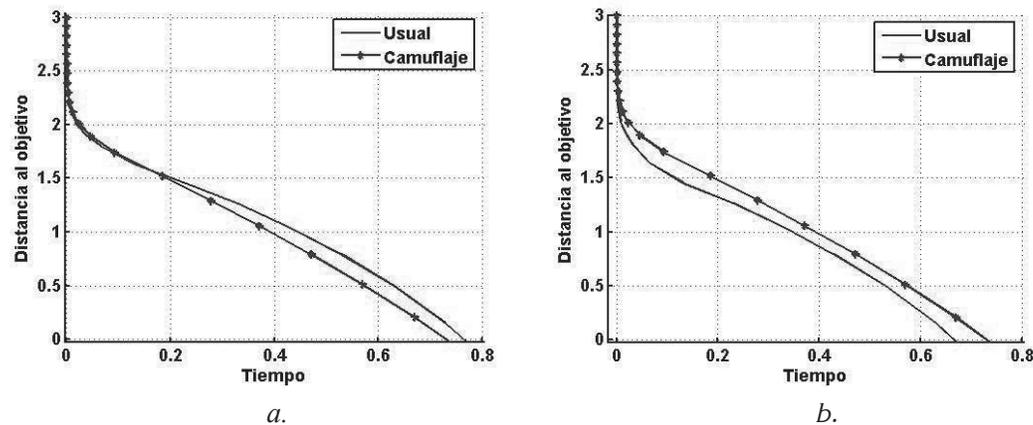


Figura 4. En la figura *a.*, se observa que la técnica de persecución, utilizando mimetismo, es más efectiva que la técnica usual, descrita en la ecuación (4). Para este caso, se empleó un objetivo que se movía a velocidad constante. En la figura *b.*, se observa que la técnica de persecución, utilizando mimetismo, es deficiente, si el objetivo no se mueve a velocidad constante.

persecuciones tradicionales?, ¿existe en la naturaleza un ser vivo que utilice la técnica de persecución para escapar de un cazador? Es claro que esta técnica ofrece mucho por discutir y se ha convertido en una línea de investigación atractiva para las matemáticas aplicadas contemporáneas.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALEXANDER, R.M. 2003. Principles of animal locomotion. Princeton University Press. 384p.
2. ANDERSON, A.J.; McOWAN, P.W. 2003a. Model of a predatory stealth behavior camouflaging motion. Proc. R. Soc. Lond. B 270:489-495.
3. ANDERSON, A.J.; McOWAN, P.W. 2003b. Humans deceived by predatory stealth strategy camouflaging motion. Proc. R. Soc. Lond. B. 270:S18-S20.
4. BENDER E. 1978. An introduction to mathematical modeling, A Wiley Interscience Publication John Wiley y Sons. 256p.
5. CURIÓ, E. 1976. The etiology of predation, Berlin: Springer-Verlag. 250p.
6. DAVIS, H. 1962. Introduction to Nonlinear Differential and Integral Equations. New York: Dover Publications. 559p.
7. GLENDINNING, P. 2004. The mathematics of motion camouflage, Proc. R. Soc. Lond. B 271:477-481.
8. HARTCUP, G. 1979. Camouflage: A history of concealment and deception in war. North Pomfrett, Vermont: David y Charles. 156p.
9. MIZUTANI, A.; CHAHL, J.; SRINIVASAN, M. 2003. Motion camouflage in dragonflies. Nature. 423:604.
10. MURPHY, G.M. 1960. Ordinary differential equations and their solutions. Princeton, NJ: Van Nostrand. 451p.
11. REDDY, P.V.; JUSTH, E.W; KRISHBAPRASAD, P. 2006. Motion camouflage in three dimensions. IEEE Conference on decision and control p.3327-3332.
12. SRINIVASAN, V.; DAVEY, M. 1995. Strategies for active camouflage of motion. Proc. R. Soc. Lond. B 259: 19-25.

Recibido: Noviembre 6 de 2012

Aceptado: Julio 11 de 2013

Como citar:

Triana, J.G.; Roldán, D.G. 2013. Una técnica de persecución utilizando mimetismo no convencional. Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 16(2): 519-523.

ANÁLISIS DE LOS DISEÑOS EN LOS HIPOGEOS DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO DE TIERRADENTRO, CAUCA, COLOMBIA

HYPOGEA DESIGN ANALYSIS OF THE TIERRADENTRO ARCHEOLOGICAL PARK, CAUCA, COLOMBIA

Armando Aroca Araújo¹

¹ Licenciado en Matemáticas y Física. Magíster en Educación Matemática. Profesor de Tiempo Completo, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia, armandoaroca@mail.uniatlantico.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 525-534, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

Se presenta una aproximación a la lógica de construcción que dio origen a los diseños de la pintura mural, al interior de los hipogeos, del Parque Arqueológico de Tierradentro, siendo tal vez uno de los vestigios geométricos más representativos del patrimonio matemático colombiano. En particular, se analizarán algunos diseños de hipogeos ubicados en las estaciones de Segovia, El Duende, Alto de San Andrés y El Aguacate, que fueron elaborados en las paredes, techos, pilastras, nichos y columnas. El enfoque de análisis de los diseños no responde a la imposición de la validación de este pensamiento por medio de la validación de teoremas o definiciones de la matemática académica.

Palabras clave: Geometría precolombina, pintura mural, osarios, lógica de construcción, etnomatemática, hipogeos de Tierradentro.

SUMMARY

An approach to the logic of construction that led to the mural design, inside the hypogea of the Tierradentro Archaeological Park, being these perhaps one of the most representative traces of the geometric mathematical Colombian heritage, is presented. In particular, some designs of the hypogea stations located at Segovia, El Duende, Alto de San Andrés and El Aguacate that were elaborated on the walls, ceilings, pillars, niches and columns, are analyzed. The focus of the analysis of these designs does not respond to the imposition of the validation of theorems or definitions of academic mathematics.

Key words: Pre-Colombian geometry, mural painting, ossuaries, construction logic, ethnomathematics, hypogea of Tierradentro.

INTRODUCCIÓN

Presentación y los propósitos del análisis: El Parque Arqueológico de Tierradentro está localizado en la Cordillera Central de Colombia, esencialmente, en las estribaciones de la población de San Andrés de Pisimbalá, del departamento del Cauca. Estos vestigios arqueológicos, considerados por antropólogos o arqueólogos como tumbas secundarias u osarios, fueron declarados, según Unesco (1995), como Patrimonio de la Humanidad y están conformados por cinco estaciones, donde cuatro aglutinan más de 70 hipogeos. Estos hipogeos, han sido analizados desde diferentes perspectivas, antropología, arqueología, arquitectura y artes, de cuyas investigaciones se podrían destacar Burg (1936), Pérez de Barradas (1937) y los diversos informes y dibujos linealizados por Hernández de Alba (1936a, 1936b, 1948), Celis (1943), Nachtigall (1956), Ayala (1983; 1986), Gamboa (1983; 1985), Chávez & Puerta (1986). Se destaca, además, lo indicado por la Unesco (1995) y Sevilla (2008, 2009), donde este último presenta la sistematización organizada de los hipogeos. En estas investigaciones o análisis se presentan expresiones, como “decoración geométrica”, “motivos geométricos”, “pintura mural”, “geometría”, “geometría lineal”, “figuras geométricas”, “simetría”. ¿Pero a qué se hace referencia concretamente cuando se emplean estas expresiones? Hasta el momento no se ha hecho un estudio sistemático que tome como objeto de estudio la configuración geométrica que aún se nota en los hipogeos, excepto descriptivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación, se enmarca dentro de la arqueología cognitiva, descrita en Rivera (2005), pues lo que se pretendió fue decodificar la lógica del diseño plasmado en la pintura mural de los hipogeos. Esto conllevó a establecer regularida-

des o patrones específicos, que permitieron comprender un poco, para este caso, lo que nuestra lógica entienda por pensamientos geométrico y métrico, que empleó dicha cultura. Sumado a esto, el análisis documental de las investigaciones descritas en la introducción, la observación misma al interior de los hipogeos, el análisis de imágenes fotográficas y la elaboración de fichas de registros que se emplearon en cada estación del parque, conllevaron a establecer los resultados que se describen a continuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nachtigall (1956) plantea que la diferencia que existe entre las tumbas, en cuanto a su decoración, se debe a diferencias sociales en clases de jefes; sin embargo, el empleo de nociones o de concepciones geométricas en dichas decoraciones era indistinto a estas diferencias sociales, pues lo que se incrementaba, debido a la superficie a cubrir del hipogeo, era la reproductibilidad en el diseño, es decir, era más profusa la configuración. ¿Acaso aquellos pintores que decoraban la tumba de un gran jefe no harían lo mismo con los hipogeos de sus familiares, suponiendo que estos artesanos no estaban en el rango de servidores sino del pueblo, como lo plantea el mismo Gamboa (1983), que les daría así el derecho a hacer entierros secundarios? Otra pregunta, entonces sería necesaria, ¿era esta práctica de apropiación colectiva o solamente era de un grupo de personas que lo hacían? Si es un sí, entonces, las nociones geométricas eran las mismas y no dependían de la estratificación social ni tampoco de la profundidad y el tamaño del hipogeo, pues las nociones, que dependían del tiempo evolutivo de su arquitectura, cuya transformación presentó Ayala (1986), serían aplicadas, sea en pequeñas superficies o grandes. A mayor profundidad y tamaño, más columnas y pilastras, podría tener el hipogeo y, como consecuencia, más superficie habría por cubrir con blanco y, luego, decorar con negro, rojo o amarillo ocre.

Las nociones geométricas en la configuración de los diseños de los hipogeos: En la actualidad, se puede percibir que todos los hipogeos presentan deterioro en su pintura mural, en porcentajes que oscilan entre el 20% y, posiblemente, el 100%. En cada estación, se pueden encontrar nociones geométricas que la caracteriza, en cuanto a formas, individualización de lo representado y combinación de colores; pero en la mayoría de estos diseños, en particular en aquellos donde el romboide tiene gran reproductibilidad, se puede notar el desarrollo de cinco nociones que dan origen al diseño en general. Lo primero que tal vez dibujaba el artesano o dibujante eran las franjas de separación, que en algunos hipogeos eran reemplazados por los relieves de división de la misma arquitectura, las cuales, delimitan *la zona de configuración mínima*, y si esta lo desarrolla, se establece un patrón figural, que es tomado para la reproductibilidad que genera el diseño general. Como se puede ver en la figura

1, dicho patrón figural podría verse también como la mitad del que se indica como un “triángulo expandido” y no el rombo o romboide, pero se ha tomado éste último por el simbolismo que tiene dicha figura en los diseños que recubren el interior de la mayoría de los hipogeos de Tierradentro. La configuración mínima, incluye entonces, tanto al patrón figural como la direccionalidad del diseño, en otras palabras, si el inicio de éstos fue de abajo hacia arriba o viceversa, o del centro hacia arriba o hacia abajo, o de manera horizontal ascendente o descendente, o de izquierda a derecha o viceversa. Estas ideas, incluso, podrían estar sujetas a si participó una o más personas en el diseño, pues no era una actividad de fuerza, como la excavación del hipogeo, era una actividad de pocas personas que desarrollaban el diseño geométrico o métrico; un ejemplo es la figura 5; más la obtención de pinturas, el manejo del “pincel” o “brochas”, desarrollo de diseños mentales o modelamiento, que en algunos momentos tuvieron que tener en cuenta para llegar a las partes más incómodas de dibujar y pintar como el techo o la cornisa.

La direccionalidad, definida por las franjas de separación, puede ser horizontal, oblicua o vertical. Estas franjas de configuración pueden tener o no en su interior otra configuración, como las que se aprecian en la tumba NA11, donde se incluyen romboides, círculos negros o círculos rojos; en cambio, en las estaciones bajas, esta ocupación de la superficie no se encuentra. La figura 1, muestra la deconstrucción de las nociones.

El papel del color en la configuración: Según Sevilla (2009), fueron cuatro los colores empleados en los diseños: el negro (de mayor predominación visual), el rojo, el amarillo ocre (el de menor uso) y el blanco (que servía de base, pero implicaba resaltar la forma). Chávez & Puerta (1986) indican que la pintura blanca muestra todos los caracteres de una arcilla blanca (que pudo ser aplicada con la mano o un artefacto plano). Se trata de un material muy plástico. La roja, es simplemente un ocre rojo, fácilmente disgregable al ser tratado por el agua. La pintura negra es un material insoluble al agua; mediante un simple lavado con agua, se separa en forma de escamas negras. Funde por debajo de seiscientos grados centígrados y durante la fusión, su color varía hacia el blanco. Se trata de un material compuesto de pizarra negra arcillosa.

Para este caso, las nociones geométricas se vehiculizaron, entonces, por medio de la pintura y, en particular, por una predominación de trazos lineales, hechos en superficies planas o cóncavas, que les confería una especie de propiedad de curva en la superficie. El color, interpretando a Velandía (1994), asumió no solamente un papel ornamental sino que dio forma y, por ello, se puede observar que existe un orden, que se podría decodificar para dar una aproximación a la realización de los diseños.

plearon tres colores, se pudo determinar que por ahora son 29 fórmulas, como lo muestra la figura anterior.

Después de determinar las fórmulas que se encuentran en la actualidad en cada estación, dadas por la figura anterior, se pudo concluir que la única fórmula que se puede encontrar en cada una de ellas es la F8, pero que no hay ninguna que sea transversal a cada uno de los hipogeos.

Las franjas de separación, al parecer el inicio del diseño:

Al parecer lo primero que dibujaba el artesano en las paredes, en muy pocas columnas y pilastras y en la parte inicial del techo hasta el remate con la cornisa, eran las franjas de separación. Inicialmente, se deben hacer las franjas de separación en su forma básica, tal vez solamente dos franjas negras o una franja roja, pues estas delimitan para dar inicio a la configuración mínima, es decir, el papel inicial de estas franjas es de delimitación de la superficie en sectores de desarrollo creativo y, en su mayoría, con el empleo de romboides concéntricos.

Da la impresión que, para ubicar algunas franjas de separación, los dibujantes empleaban algún instrumento calibrado, cuya longitud era tomada para empezar las líneas de las franjas de separación. Se pudo constatar, a partir de algunas fotos tomadas frontalmente, que esta separación es muy precisa, bastaba con colocar la imagen como plantilla en un programa de análisis de imágenes para verificar que muchas medidas son coincidentes. Entonces, el empleo de algo, como patrón de medida, por ejemplo, una vara o un tronco delgado, consistente y de madera, es una posibilidad real. El empleo únicamente de dedos era dispendioso y por medio de la estimación ad óculos, tal vez les generaría problemas de semejanza o congruencia, que no se ven al inicio de algunas configuraciones mínimas. En comparación, sabiendo que desarrollaron un alto grado de conocimientos en orfebrería y en alfarería, más en ingeniería y en arquitectura, se valida más aún esta posibilidad.

Se puede concluir que existen dos tipos de franjas de separación: aquellas que solamente incluyen líneas y cuyas fórmulas de combinación de colores son Blanco (B), Negro (N), Rojo (R) y Amarillo ocre (A), impares de 1 a 5, a saber: R, N, N-B-N, N-R-N, R-A-N, N-B-N-B-N, A-B-R-B-A y N-B-R-B-N. De estas fórmulas de combinación de colores, se precisa que tanto el amarillo ocre como el rojo no fueron empleados de manera popular como líneas externas en la franja de separación, fue de uso exclusivo, tal como se evidencia en el hipogeo NA36 y, en particular, en la estación El Aguacate. Un segundo grupo es aquel que al interior del par o terna de líneas incluye otros tipos de figuras planas, como círculos, circunferencias o cuadrados, muy visibles, de manera fragmentada, también en la estación El Aguacate, lo que les confiere una inversión significativa de pensamiento geomé-

trico y tiempo en sus diseños, siendo en el hipogeo NA20, donde a las franjas de separación se les da un grado más de complejidad, pues asumen tanto el papel de éstas como de configuración mínima en la parte baja de la pared, al tener en su interior una sucesión vertical de rectángulos. Este es el único hipogeo donde se encuentran cuadrados al interior de ellas. El hipogeo NA29, en sus paredes, no tiene franjas de separación, pero no así en sus pilastras y estos diseños que se encuentran en dicha pared, no se repiten en las demás estaciones, que son una especie de sucesión horizontal de pequeñas líneas oblicuas, que se reflejan verticalmente. La figura 3, muestra algunas franjas de separación en dos estaciones.

El empleo del rojo y el negro en la estación de San Andrés es más notorio, no aparece el amarillo ocre, que es exclusivo de El Aguacate, pero aquí en la estación, el rojo se ve más que en otras estaciones, sin plantear que sea el dominante, color que era empleado para "embalsamar" a los muertos después de ser extraídos de la tumba primaria, para luego ser colocados en el osario o hipogeo. Da la impresión por el tipo y el ancho de los trazos, que tanto en esta estación como en la estación de Segovia, en particular en los hipogeos NSA1 y en el enigmático NS2, se haya empleado una especie de brocha, que pudo tener la misma forma del pincel, pero de mango más grueso y, por ende, cabeza, porque hacer algunas de estas franjas no responden al mismo trazo de los romboides y en sus bordes aún se aprecia linealidad. Solamente cuatro tipos de franjas de separación horizontal están en el hipogeo NS2; los demás, presentan únicamente dos tipos de franjas de separación verticales.

¿Si los restos de los cuerpos de los hombres y de las mujeres eran colocados de manera separada, los diseños geométricos se hacían por igual en los nichos o cerca de los depósitos donde residía la osamenta? Visto solamente de esta manera, no es fácil aceptar la tesis de Ayala (1986), que la decoración tiene como objeto ayudar a representar los elementos de la estructura del hipogeo. Si se tratara únicamente de resaltar, otras técnicas tal vez serían empleadas, pero el tiempo asociado a la inversión de pensamiento espacial, geométrico y métrico no hubiese sido tanto. Es claro, entonces, que existió simbolismo más que un mero papel de hacer contraste a partes de la estructura interna del hipogeo. Existen evidencias en todas las estaciones que los pintores centraron más su atención en lo que dibujaban que en el elemento mismo de la estructura del hipogeo. Como se puede evidenciar en las técnicas: fórmulas de combinación, linealidad, direccionalidad, medición, semejanzas y formas que, a continuación, se seguirán describiendo.

Patrones figurales: La serpiente, que es el motivo del que más tratan en su alfarería los pobladores que construyeron los hipogeos, según Gamboa (1985), se reduce a formas,

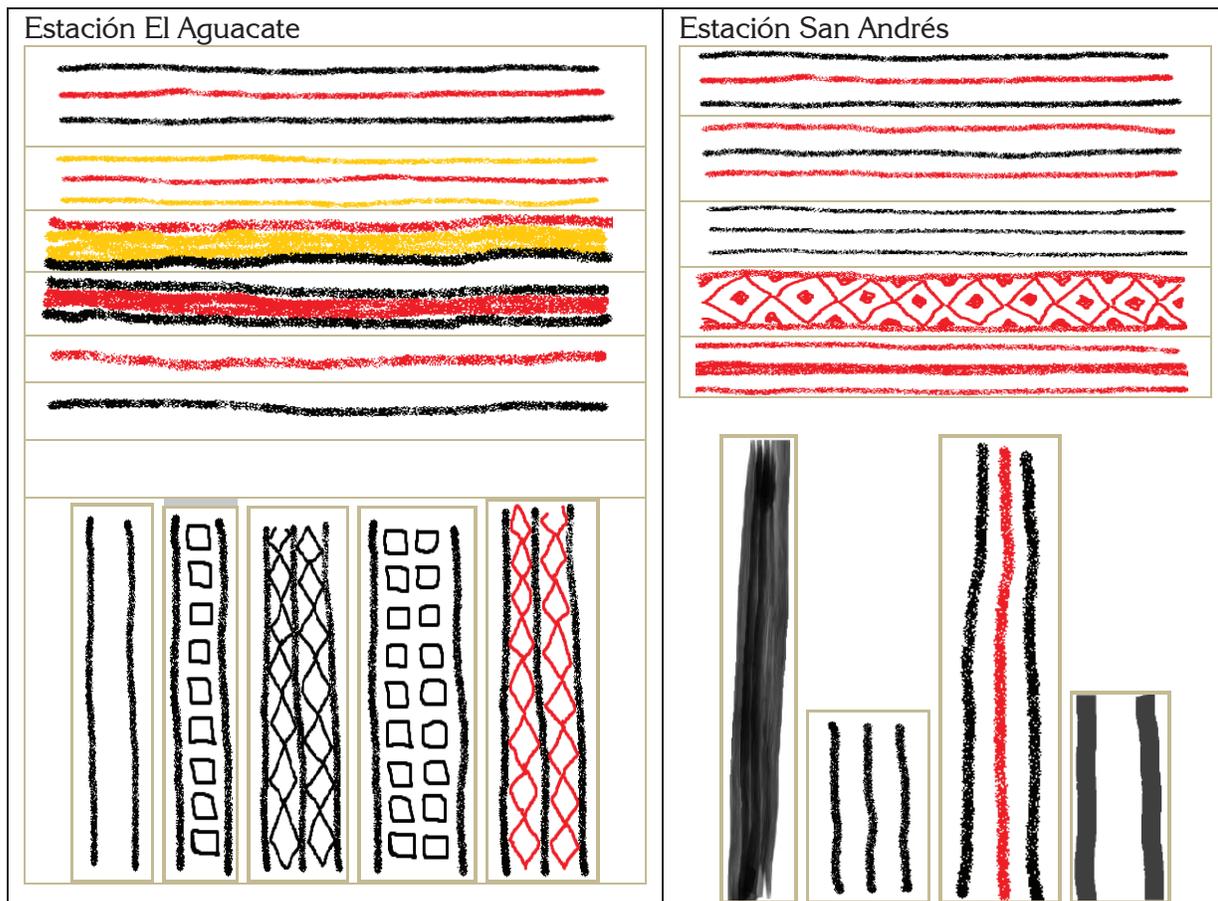


Figura 3. Algunas franjas de separación en las estaciones El Aguacate y San Andrés.

como el romboide, el rectángulo y el cuadrado. Siendo el romboide, como elemento representativo de la serpiente de cascabel, para esta cultura fue la coral, el simbolismo del espacio – tiempo, pero según Chávez (1981), en culturas actuales, hay coincidencia en la significación de la serpiente como fertilidad y destrucción, como principio dual de vida y muerte, como elemento de unión entre diversos mundos. Teniendo el romboide esta connotación simbólica, a las franjas de separación las suceden en el diseño dichas figuras, las cuales, se denominarán patrones figurales, como se definió en Aroca (2009): es la forma mínima para la reproducibilidad. Lo primero es preguntarse si los rombos son concéntricos como muchos antropólogos o arqueólogos lo han manifestado, ¿son concéntricos o tienen interdependencia o se amplifican o contraen en torno al centro definido a veces por una estrellita? Analicemos la figura 4, que muestra ciertos detalles en la configuración de los romboides.

Se puede notar que los trazos rojos que están en el centro de la imagen no se dibujaron de manera continua, como sucede en algunas pilastras o columnas, aunque esta técnica no es general en todo el Parque, sino que el dibujante primero hizo el romboide completo, trazó su poligonal, es decir, el trazo 1 no es continuo con el trazo 4. Terminado el trazo 1, en el vértice, se sigue con el trazo 2 o viceversa, si esto es así, como aparentemente lo es, tiene unas implicaciones en la forma de hacer los diseños del Parque, en particular, en lo que se ha denominado romboides concéntricos. Si los romboides aparecen en pilastras o en columnas, responden a una técnica diferente, que podríamos determinar por las intercepciones de dos grupos de familias de paralelas oblicuas inversas entre sí. Si los romboides aparecen en las paredes o en las cornisas, al parecer se hacen amplificando el romboide central (que es de una clase distinta a las poligonales, pues al parecer representa una estrella, como lo plantea

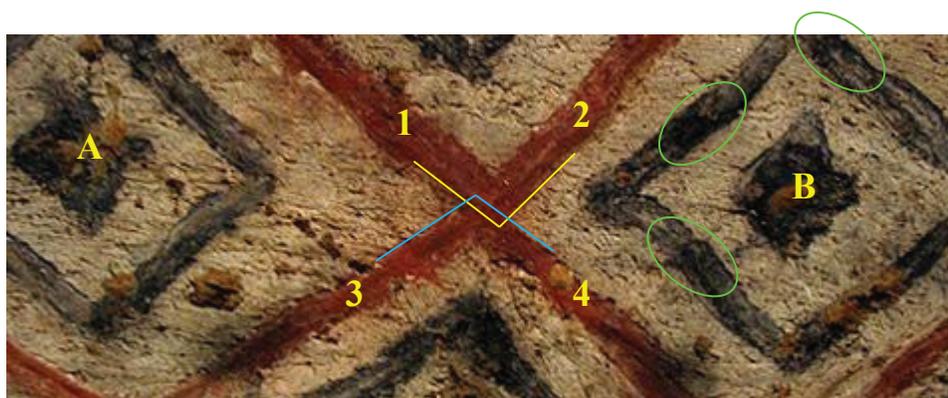


Figura 4. Análisis de concentricidad o amplificación de romboides. Tomada de <http://www.icanh.gov.co/index.php?idcategoria=2560>.

Pérez de Barradas (1937), el más próximo al centro común que, por lo general, define una superficie, figuras A y B y no una poligonal, como lo hacen los exteriores; lo anterior se puede validar viendo que estos romboides centrales tienen una secuencia, están sobre una misma línea, mientras que los exteriores, por ejemplo, si se va dibujando hacia arriba, se van contrayendo o deformando, pero el central se mantiene en la línea de la dirección de la reproducibilidad, es entonces ese romboide central el que define, en muchos hipogeos, la configuración mínima. El hecho de que se amplifiquen, en este caso, conlleva a ser concéntricos, pero la visión arqueológica y antropológica da la impresión que los haya concebido siempre de afuera hacia adentro, cuestión que sería muy complicado para el diseño, sino se define dicho centro, en algunos casos.

Los romboides centrales, que contienen dicho centro, fueron hechos al parecer en cinco trazos: cuatro curvos hacia dentro y un pincelazo o con el dedo que rellenaría su región central, lo que en definitiva les da una apreciación de clase distintas; de hecho, en muchos casos, el pintor plasmó la intención de no dejar lineal sino convexa los contornos de esta figura. Esto se puede pensar por la curva que tienen sus lados y porque el color de estos es muy homogéneo, más tinta en trazos muy cortos, a diferencia de las poligonales, que aún hoy, más de 1.400 años, se les nota la superposición del trazo, cuando el dibujante volvía con su pincel o algo untado, como se ve alrededor del romboide B. Estos trazos, entonces, eran muy pequeños, lo que se puede sustentar en que empleaban ollas pequeñas de barro, a manera de cuerno, para depositar las pinturas, como se describe en Ayala (1986); incluso, desde la misma capacidad del recipiente, se podría pensar que había más atención a los trazos. En cuanto a transformaciones de posición, cuando se emplean los romboides, no se evidencian giros, reflexiones, ni deslizamientos, solamente traslaciones y se debe a la individualiza-

ción de la configuración mínima, pero las transformaciones de más uso, cuando se emplea tanto el romboide, el triángulo y el cuadrado en los hipogeos, son las transformaciones de forma, tanto semejanzas como amplificaciones.

Se precisa, ante la linealidad alcanzada por los contornos, excepto por la hipotenusa de los triángulos rectángulos que custodian un rostro en el hipogeo NS2, que estos diseños fueron hechos a mano alzada, pero que hay ciertos indicios donde, al parecer, se empleó algún instrumento que sirvió como patrón de medida para delimitar las distancias entre franjas de separación, es decir, para delimitar puntos exactos de inicio de las líneas que conforman las franjas de separación y las transversales que generan los romboides o para hacer otro tipo de diseño, como el que se evidencia en el hipogeo NS2, donde hay siete distancias que, posiblemente, fueron medidas para hacer el dibujo (Figura 5).

Se puede suponer que las medidas *a* se marcaron tomando como referencia alguna parte del cuerpo o empleo de una vara; luego, se marcaba la pared, por ejemplo, con el otro extremo del pincel. La explicación del por qué *a* es mayor que *c*, al parecer responde a efectos de dibujar con comodidad al estar de pie, no hubiese sido lo mismo si $c > a$. Al tener como referencia la franja de separación superior y que al parecer la inferior fue hecha después por su falta de horizontalidad y de vínculo simétrico con el resto de la distribución, se procedió a establecer el tamaño de los triángulos, donde presuntamente las ternas fueron pintadas de afuera hacia dentro. Al meterse éstas dentro de una elipse, se nota que la terna de triángulos del lado izquierdo ocupa más superficie que la terna de la derecha, lo que implica que no se tuvo en cuenta los tamaños entre sí, excepto, por el empleo de la vista; sin embargo, se presenta una sorprendente coincidencia entre las distancias de los vértices inferiores de cada triángulo con el que le sigue hacia dentro, representadas por

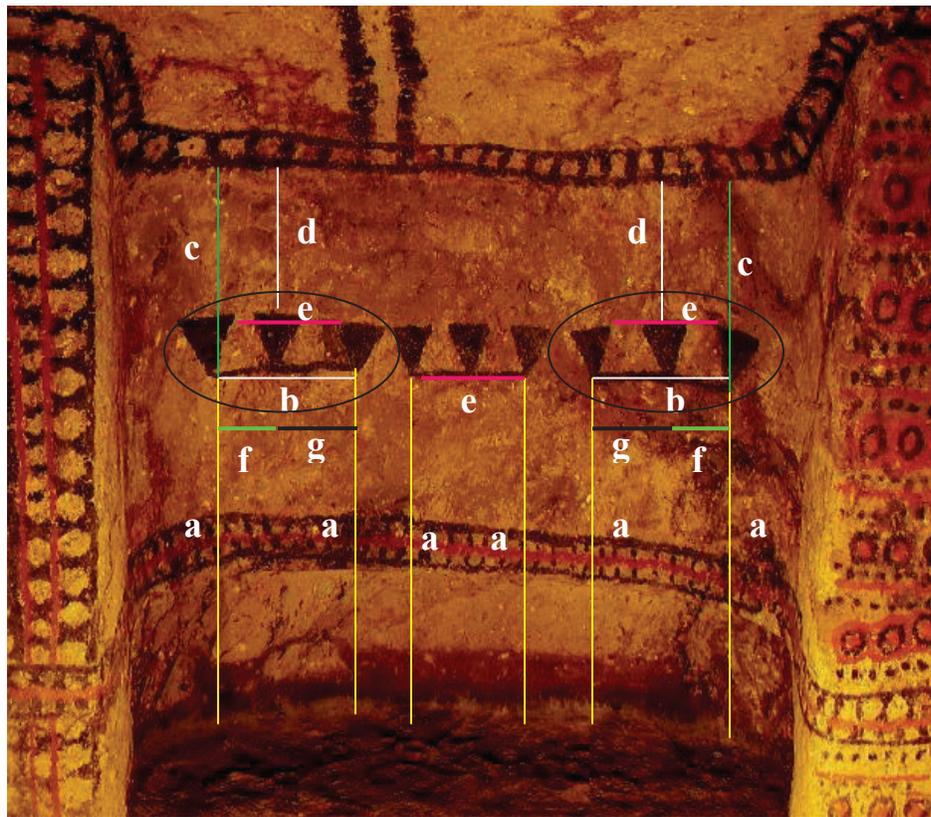


Figura 5. Algunas medidas casi congruentes encontradas en el hipogeo NS2.

las medidas **f** y **g**. Posteriormente, se tendrían en cuenta las medidas **d** y **e**.

En el caso del romboide es pertinente precisar algunos aspectos. En ciertos casos no siempre fueron creados como unidad sino que aparecieron como consecuencia de alguna construcción geométrica, es decir, aparecían por la interceptación de la familia de líneas paralelas oblicuas hacia la izquierda, al interceptarse con la familia de líneas paralelas oblicuas hacia la derecha, como ya se había manifestado. En algunos casos y, en especial sobre pilastras, los puntos de inicio de estas familias, están separados a distancias prácticamente congruentes, lo que supone el empleo de un patrón de medida. Estos romboides manejan distintos grados de nivel de amplificación y de combinación, tanto cromática como de poligonales y superficies, como se puede ver en la figura 6, donde en cada celda se presentan, a manera de ejemplo, el código de un hipogeo, que contiene la combinación y el nivel de amplificación.

Las cornisas y los techos de los hipogeos y pedazos de la superficie que aún han soportado el embate del tiempo y descuido administrativo, debelan otros niveles de amplifica-

ción de los romboides. Da entonces la impresión que existe un nivel infinito, tanto para el color negro como para el color rojo, sin combinarse entre sí y esto se encuentra en el techo, al interior de la cornisa, del hipogeo NS23. Da la impresión que esta fue la idea del dibujante, creando la sensación, mirando hacia arriba, que se amplifican *ad infinitum*, como se puede apreciar en Gamboa (1985).

¿Por qué es el romboide la figura plana de mayor empleo en las configuraciones geométricas de los hipogeos? Solamente, a manera de hipótesis, da la impresión que parte de la respuesta se encuentra en un hipogeo que, justamente, no tiene romboides en su configuración, el NS2. En una de las dos pilastras de este hipogeo, que es el único que tiene trazos circulares, con reproductibilidad y con direccionalidad y que además tiene una combinación única de colores, que no se encuentra en ninguno de los patrones figurales, rojo-negro-rojo; tiene elementos de configuración geométrica, que pueden generar hipótesis desde lo simbólico, pues el número cuatro tiene representación muy explícita. En ambas pilastras, el cuatro se repite, tanto vertical como horizontal, desde la entrada; la pilastra de la izquierda tiene división vertical por medio de tres líneas rojas que, a su vez, subdivide la

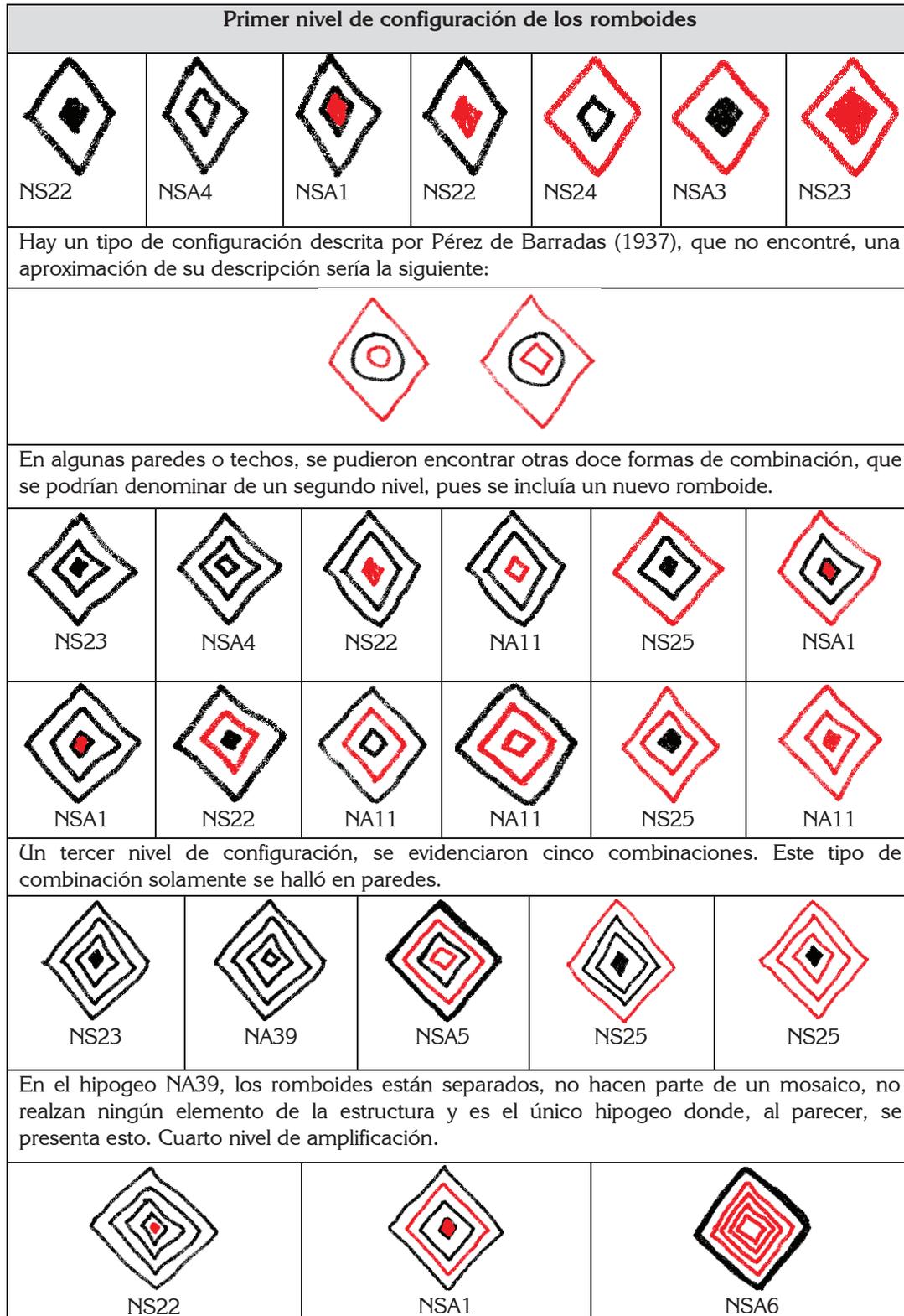


Figura 6. Los patrones figurales en diversas configuraciones mínimas de los hipogeos.

parte frontal en cuatro sub columnas de alta configuración; la pilastra de la derecha, también tiene claramente definido la representación del cuatro por medio de ocho grupos de cuatro círculos diseñados horizontalmente. También el techo del hipogeo está dividido en cuatro partes, por una franja de separación de trazos más gruesos de lo comúnmente empleado en otras estaciones. Pareciera que hubo la intención de representar el cuatro, pues cuando se entra a este hipogeo, se ve frontalmente, en las dos únicas pilastras y en el techo. Es probable que en él se encuentre representado el simbolismo del cuatro que, en la gran mayoría de los demás hipogeos, se asumió por la figura, que hoy llamamos romboide. También llama la atención que varias escaleras helicoidales en su remate tengan cuatro escalones lineales, como por ejemplo, los hipogeos NS21, NS9 y otros.

La configuración mínima: Definido por el artesano el patrón o los patrones figurales a emplear, pues la fórmula que empleaba en una configuración mínima no necesariamente sería la misma en la contigua, procedía entonces, después de establecidas las franjas de separación a pintar pequeños mosaicos, o formas que no necesariamente ocupaban toda la superficie, como lagartijas, lunas, romboides separados, entre otras. También se pudo observar que los romboides, que delimitaban con la configuración mínima, empezaban de manera similar en un extremo, pero en el opuesto no. Existen elementos para pensar que varios diseños se iniciaron de arriba hacia abajo, pues, en algunos casos, el vértice superior de un conjunto de cuatro romboides, coincidían plenamente en la parte superior, mientras en la parte de abajo nada coincidía, o sea, en este caso, el pintor no se iba fijando de una configuración mínima para hacer la otra contigua.

Definida entonces las configuraciones mínimas inferiores, se procedía a dibujar las configuraciones mínimas superiores, que se hacían de abajo hacia en el centro del techo, debido al mismo criterio ya expuesto y por los remates abruptos que se notan en algunos techos, esto porque las franjas de separación vertical tendían a cerrarse hacia dicho punto central del techo. En varios casos, el remate hacia al techo tiene mayores imprecisiones que el resto de las configuraciones mínimas, pues la altura tuvo incidencia y, en particular, la posición del cuerpo para pintar. Al no llegar directamente hasta la superficie superior del hipogeo tuvieron que montarse en algo, lo que implicaría tener que dibujar con los ojos mirando hacia arriba y tener el tronco en posición vertical, esto es una tarea demasiado extenuante para el cuello.

Reproductibilidad y direccionalidad: En la direccionalidad algunos romboides amplificados se hacían sea hacia la derecha o hacia la izquierda y otros seguían una dirección hacia arriba o hacia abajo; otros, de manera oblicua, hacia el centro del techo, que depende de la configuración mínima. La dirección del diseño en la configuración mínima

se puede apreciar gracias al romboide central; por ejemplo, en el hipogeo ND1, hay una configuración mínima, donde los romboides tienen direccionalidad oblicua, los romboides centrales rojos. En una de las pilastras del hipogeo NSA4, se puede notar una intención de construir las líneas, de manera paralela, donde uno de los puntos para empezar sería el vértice superior izquierdo de la parte frontal; en consecuencia, el dibujante empezó a hacer los trazos de arriba hacia a abajo de manera oblicua hacia la izquierda. Por último, se dibujaba el romboide central, el que se asemeja a una estrella.

Para finalizar, el culto a la muerte permitió que esta cultura evolucionara en su pensamiento geométrico y métrico en cuanto al desarrollo de la pintura mural y fue la configuración de las superficies al servicio de la idolatración lo que les permitió, en este espacio de trabajo, sujeto a sus técnicas y herramientas propias al oficio, crear o dinamizar nociones que, con el paso del tiempo, irían evolucionando y que en el presente se constituyen un orgullo cultural para la Nación.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AROCA, A. 2009. Geometría en las mochilas arhuacas. Por una enseñanza de la geometría desde una perspectiva cultural. Ed. Universidad del Valle. (Santiago de Cali). 234p.
2. BURG, J. 1936. [Correspondencia recibida y enviada por Jorge Burg] [manuscrito]. Consulta de Sala. Biblioteca Luis Ángel Arango. 6p.
3. AYALA, L. 1986. Las tumbas pintadas de Tierradentro. En: Barney, E. (Org.) Historia del Arte Colombiano. Vol.1. Bogotá: Salvat Editores. p.188-212.
4. AYALA, L. 1983. Tierradentro, la Serranía de los Muertos. En: Barney, E. (Org.) Historia del Arte Colombiano. Vol.2. Salvat Editores. Bogotá. p.149-188.
5. CELIS, E. 1943. La arqueología de Tierradentro. Rev. Inst. Etnol. Nal. 1:117-130.
6. CHÁVEZ, A. 1981. Los animales mágicos en las urnas de Tierradentro. Museo de Artes y tradiciones populares. Bogotá. 109p.
7. CHÁVEZ, A.; PUERTA, M. 1986. Monumentos arqueológicos de Tierradentro. Talleres gráficos Banco Popular. Bogotá. 204p.

8. GAMBOA, P. 1983. Tierradentro. Los constructores de hipogeos. Disponible desde Internet en: <http://www.gamboahinestrosa.info/pdf/3%20tierradentro.%20constructores%20de%20hipogeos.pdf> (con acceso 20/03/2013).
9. GAMBOA, P. 1985. El arte de tierradentro. Disponible desde internet en: <http://gamboahinestrosa.info/pdf/4.%20el%20arte%20de%20tierradentro.pdf> (con acceso 20/03/2013).
10. HERNÁNDEZ DE ALGA, G. 1936a. San Andrés y Tierradentro [Manuscritos]: [Cuaderno de notas]. Cuaderno de notas. Consulta de sala. Biblioteca Luis Ángel Arango. 38p.
11. HERNÁNDEZ DE ALGA, G. 1936b. Notas arqueológicas. Exploración de una antigua sepultura en Tierra Adentro. [Manuscritos]. Archivo Gregorio Hernández de Alba. Estudios etnológicos. Consulta de sala. Biblioteca Luis Ángel Arango. 2p.
12. HERNÁNDEZ DE ALGA, G. 1948. Esquema arqueológico de Tierra Adentro [Manuscritos]. Consulta de sala. Biblioteca Luis Ángel Arango. 4p.
13. NACHTIGALL, G. 1956. Tierradentro. *Studia*. 1(10):21-55.
14. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA – UNESCO-. 1995 Disponible desde internet en: http://portal.unesco.org/es/ev.php-url_id=45692&url_do=do_topic&url_section=201.html (con acceso 15/12/12).
15. PÉREZ DE BARRADAS, J. 1937. Arqueología y antropología precolombinas de Tierra Dentro. Imprenta Nacional. Bogotá. 100p.
16. RIVERA, Á. 2005. Arqueología cognitiva: Origen del simbolismo humano. Arco Libros. Madrid. 96p.
17. SEVILLA, E. 2008. Tierradentro: Les arts premiers y la jira de la vida. Cali: Facultad de Artes Integradas, Universidad del Valle. Disponible desde internet en: www.tierradentro.info (con acceso el 14/02/13).
18. SEVILLA, E. 2009. Informe final del Proyecto Tierradentro, No. 398. Bogotá: Banco de la República, Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, FIAN. Disponible desde internet en: www.tierradentro.info (con acceso 15/12/12)
19. VELANDIA, C. 1994. San Agustín. Arte, estructura y arqueología. Ed. Presencia. (Bogotá). 152p.

Recibido. Mayo 26 de 2013
 Aceptado: Octubre 2 de 2013

Como citar:

Aroca Araújo, A. 2013. Análisis de los diseños en los hipogeos del parque arqueológico de tierradentro, Cauca, Colombia. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 525-534.

EN EL LUGAR DEL OTRO: POSIBILIDADES ÉTICO-EPISTEMOLÓGICAS PARA LAS CIENCIAS HUMANAS

IN PLACE OF OTHER: ETHICAL AND EPISTEMOLOGICAL POSSIBILITIES TO THE HUMAN SCIENCES

Juan Carlos Aguirre¹, Luis Guillermo Jaramillo²

¹ Doctorante en Filosofía, Universidad del Cauca, Ciudadela Campestre La Rioja, Casa i-7 Popayán, Cauca, Colombia, jcaguirre@unicauca.edu.co; ² Doctor en Ciencias Humanas y Sociales-Educación, Universidad del Cauca, Ciudadela Campestre La Rioja, Casa i-2 Popayán, Cauca, Colombia, ljaramillo@unicauca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 535-542, Julio- Diciembre, 2013

RESUMEN

Este artículo, se propone confrontar la propuesta ética del filósofo Emmanuel Levinas con algunas recepciones que se hacen de ella, en el contexto de las ciencias humanas, especialmente, en la psicología, con el fin de determinar sus aportes de orden epistemológico. El trabajo, se centrará en el concepto substitución (para-el-otro). En primer lugar, se expondrá lo que el autor entiende por substitución; posteriormente, se analizará el enfoque de la Psicología para el Otro, expuesta por George Kunz. Finalmente, se revisará de modo crítico tal enfoque y se describirá los aportes que la ética de Levinas podría ofrecer para la fundamentación epistemológica de las ciencias humanas.

Palabras clave: Otro, psicología fenomenológica, respuesta, ciencias humanas y sociales, substitución.

SUMMARY

This article is aimed to confront the ethical proposal of the philosopher Emmanuel Levinas with some conceptions about it in the framework of Human Sciences, especially in the Psychology, in order to determine their epistemological contributions. The dissertation is focused in the concept of substitution (for-the-other). Firstly, it shows what the author understands as substitution; secondly, it analyzes the approach of the Psychology for the other, exposed by George Kunz. Finally, it reviews critically that approach and it describes contributions that Levinas' Ethic would offer to the epistemological foundation of Human Sciences.

Key words: Other, phenomenological psychology, response, social and human sciences, substitution.

INTRODUCCIÓN

La relación entre Levinas y las ciencias humanas y sociales ha sido poco explorada, pese a que en muchos trabajos, de quienes producen conocimiento en tales ciencias, se nota la influencia de sus tesis. Véase, a modo de ejemplo, los siguientes trabajos: Bauman (1996) retoma las categorías levinasianas, tanto de "extranjero" como de "proximidad", para consolidar su análisis de la ambivalencia, que se antepone a la modernidad; Le Breton (1999), en su texto *Antropología del dolor*, recurre a Levinas para respaldar su tesis de la incomunicabilidad del dolor, haciendo eco de los profundos análisis de Levinas (1993); finalmente, Mélich con su texto *Ética de la Compasión* (2010).

Además de la abigarrada escritura de Levinas, se suman las múltiples interpretaciones que de él se han hecho, al punto de tener que parafrasear a Bernasconi (2012), afirmando que habrá que hacer una crítica filosófica levinasiana de la filosofía levinasiana; sin embargo, una de las dificultades de la filosofía levinasiana ha sido que, para algunos, esta nada tiene que ver con cuestiones epistemológicas, toda vez que en la instauración de la ética, como filosofía primera, Levinas ha hecho una demolición radical de todo presupuesto que esté amparado o conduzca a situaciones que atañen con la epistemología; no obstante, en algunos trabajos hemos controvertido este prejuicio, intentando encontrar lazos que se puedan tender entre la filosofía de Levinas y la epistemología de las ciencias humanas y sociales (Aguirre & Jaramillo, 2006; Jaramillo & Aguirre, 2010; 2012); lo anterior, tratando de conservar la propuesta levinasiana y viendo en ella los modos de considerar una ciencia humana y social, acorde con las exigencias que superen el positivismo, sin tener por ello que renunciar a la racionalidad (Giere, 2006; Mélich, 2010).

Un buen número de aproximaciones a Levinas, asumidas desde las ciencias humanas y sociales, se realiza de manera metódica, extrayendo de la obra del filósofo aspectos nucleares, que fundamentan algún nodo particular de la reflexión (Dale, 2012; Idareta, 2012); sin embargo, pensadores agrupados alrededor de lo que Garza & Landrum (2010) denominan Escuela de Seattle, han ido consolidando un programa de investigación –fundamentado en la obra de Levinas–, donde se propone una Psicología para-el-Otro, liderado por el psicólogo y fenomenólogo, Kunz.

Ahora bien, la expresión para-el-Otro remite a un concepto fundamental de la segunda gran obra de Levinas: Autrement qu'être ou au-dela de l'essence (1974/2004), a saber, el concepto de substitución (Substitution), del cual, Levinas afirma: “toda acusación y persecución, así como todo elogio, recompensa o castigo interpersonales, suponen la subjetividad del yo (Moi), la substitución, la posibilidad de ponerse en el lugar del Otro que se refiere a la trasfencia del «por el Otro» al «para el Otro»” (2004); según Waldenfels (2011), substitución se entiende como “en el lugar del Otro”.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en las anteriores consideraciones, el presente artículo de reflexión, se propone confrontar la propuesta ética de Levinas con algunas recepciones que se hacen de ella, en el contexto de las ciencias humanas y sociales, especialmente, en la psicología propuesta por Kunz y sus colegas de la Escuela de Seattle. El objetivo es determinar qué elementos de la obra de Levinas sustentan epistemológicamente la propuesta, a la vez, que revisar críticamente tales elementos, para tratar de extender sus posibilidades a otras disciplinas humanas y sociales. Para lograr este propósito, se comenzará presentando, esquemáticamente, la tesis levinasiana de la substitución, puesto que es ella la que inspira el enfoque psicológico de Kunz. Posteriormente, se expondrán las tesis fundamentales de la propuesta Psicología-para-el-Otro tal y como Kunz la presenta en algunos de sus textos más relevantes. Finalmente, se plantearán algunas consideraciones críticas al respecto y se indicarán los modos cómo se puede extender el caso de Kunz a otras ciencias sociales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Substitución: la posibilidad de ponerse en el lugar del otro: Para algunos especialistas de la obra de Levinas, entre la primera gran obra del autor, Totalité et infini (1961/1990) y la segunda, Autrement qu'être ou au-dela de l'essence (1974/2004), se da una especie de transición; al respecto señala Bettina Bergo (2011): “en el corazón del trabajo de 1961 estaba el Rostro como expresión y voz –enseñanza. El ensayo de 1974 presenta un encuentro menos

fenomenalista, menos iluminado, llamado ‘substitución’”. Es así, que el concepto se vuelve preponderante a la hora de comprender la obra de Levinas como un todo. El propio filósofo así lo reconoce, cuando señala que la consideración acerca de la substitución (que en el libro de 1974 ocupa el capítulo IV), “fue el germen de Autrement qu'être ou au-dela de l'essence” (Levinas, 2004). Curiosamente, el concepto parece tornarse en ocasiones enigmático, al punto que algunos se preguntan insistentemente cuál es la pregunta que la palabra substitución pretende responder (Bernasconi, 2004). En tanto, no es asunto de este escrito dar respuesta a la pregunta que se hace Bernasconi, sobre todo porque exigiría una aproximación exegética de concepto (trabajo hecho en Aguirre, 2012), baste con presentar una sintética definición de lo que es la substitución, con el fin de exponer, posteriormente, sus aristas conceptuales.

Según Calin & Sebbah (2002), la substitución se puede definir como: “ponerse en el lugar del otro’, estar a cargo, llevar los sufrimientos y las culpas del otro, y por tanto, ser acusado y expiar unos pecados que yo (je) no he cometido, que no comenzaron en un mí (moi). Aquí no hay lugar bajo el sol, sino un yo (moi) en el que el lugar no es más el lugar donde él se posa, más bien, el ‘no-lugar’ (AE 148) donde se soportan todos los sufrimientos y las culpas de los otros. El yo (moi), dice Levinas, es ‘el portador, el sufriente’”.

De esta definición, se pueden extraer varios elementos. En primer lugar, substitución indica “ponerse en el lugar del otro”; es decir, “conduce a una relación tópica: “A aparece en lugar de B”. Pero si nos detenemos aquí, nos enredaríamos en la perspectiva del observador neutral, describiendo relaciones dadas sin involucrarse con alguna de ellas” (Waldenfels, 2011). De acuerdo con esto, la substitución levinasiana, entendida como “en el lugar del otro”, tendrá que superar el carácter de “punto dado en un espacio homogéneo” (ibíd). No se trata, entonces, de un ejercicio en el que un individuo trata de ubicarse, real o imaginariamente, en un lugar o espacio desde el cual, comprende aquello que está, o bien en el campo perceptivo del otro (espacio físico), o bien en una situación mental (situación psicológica); tampoco se trata de substitución, en el sentido de que alguien deje de ser para volverse lo ajeno a él, pues como lo ha señalado la tradición fenomenológica, en la que Levinas se inscribe, “defender que yo solo tendría una vivencia real del otro si experimento sus sentimientos o pensamientos de la misma manera como él lo hace, es un sinsentido. Esto implica que solo vivenciaría al otro si lo hiciera de la misma forma que me experimento a mí mismo; conduciría por tanto a una abolición de la diferencia entre el yo y el otro” (Husserl, 1986; Gallagher & Zahavi, 2008; Zahavi & Overgaard, 2013). En consecuencia, substitución como “en el lugar del otro”, debe tener otra connotación en la obra de Levinas.

Siguiendo la definición de Calin y Sebbah, se puede ver, en segundo lugar, la introducción de una serie de conceptos extraños a los discursos de la filosofía, en general y la epistemología, en particular. Se habla de “sufrimientos”, “culpas”, “ser acusado”, “expiar unos pecados”; conceptos más cercanos, probablemente, a las tradiciones teológicas; sin embargo, se considera que el cambio de vocabulario no conduce, necesariamente, a una adopción del discurso religioso; de lo que se trata más bien, es de llamar la atención sobre los nuevos modos de enunciación de lo humano; modos que bajo ninguna circunstancia pueden agotarse en “lo dicho” (Levinas, 2004).

Los modos típicos de “lo dicho” confrontan algunas ideas que se han entronizado en lo que se ha dado en llamar Pensamiento Moderno, específicamente, la idea de la primacía del sujeto y la idea de la libertad individual. La comprensión del concepto levinasiano de sustitución tendrá que des-sedimentar ambas ideas tan caras a nuestra tradición de pensamiento.

Frente a la primera idea, Levinas sostiene que la relación originaria no se da, como se ha creído hasta el presente, como una aparente salida del yo que reflexiona sobre sí mismo; o mejor, como la salida del yo con la única pretensión de volver a sí mismo (en este punto, Levinas (1967) recurre a la figura de Ulises). De modo contrario, la relación más originaria (anárquica) es postulada por Levinas, al margen de la conciencia que trata de relacionarlo todo consigo misma; lo anárquico, esto es, lo previo a toda tematización, se sitúa en el terreno de la sensibilidad-proximidad. En este punto sostiene Levinas (2004): la proximidad apareció como la relación con el Otro que no puede resolverse en ‘imágenes’ ni exponerse como tema mediante aquello que no es desmesurado con relación a la *arjé* de la tematización, sino que es inconmensurable mediante aquello que no mantiene la identidad del logos kerigmático poniendo en entredicho todo esquematismo.

Con relación a la segunda idea –que tiene que ver con la libertad individual–: en la medida en que la estructura original de subjetividad no es primeramente la identidad (el sujeto que sale de sí para verse reflejado a sí mismo o el sujeto que todo lo mide de acuerdo con las intenciones de su conciencia), es la sensibilidad-proximidad quien prefigura todo desarrollo posterior, la libertad individual no se instaura por sí misma sino que se pone en cuestión por la presencia del otro. Esta puesta en cuestión saca al yo de su comodidad y exige una respuesta impostergable e irremplazable: “Al no poder remitirse la relación de proximidad a cualquiera de los modos propios de la distancia o de la continuidad geométrica, ni tampoco a la simple “representación” del prójimo, tal relación es ya asignación de una extrema urgencia, obligación anacrónicamente anterior a todo

acto de compromiso. Anterioridad “más antigua” que el a priori (...) Hemos llamado obsesión a esta relación con la exterioridad “anterior” al acto que la abriría, relación que no es precisamente un acto, que no es tematización” (Levinas, 2004).

La sustitución, lejos de tornarse un mero intercambio de espacios o roles entre el yo y el otro; lejos de tomar la vocería de otro que no tenga posibilidad de hablar, se vuelve la actitud de un yo portador y sufriente, de un yo que no puede eludir su responsabilidad, de un yo “rehén” (Levinas, 2004). Esta sustitución, en sentido originario, implica que “Comienzo desde el lugar del Otro. Comienzo desde donde no puedo estar y desde donde todo lo que me llama la atención: la mirada del Otro, la palabra del Otro o el gesto del Otro, tiene su origen. En cierta medida, soy el Otro para quien substituyo; los Otros no son duplicados de mí, sino dobles que encontramos desde una distancia por fuera de nuestro alcance” (Waldenfels, 2011). Ahora bien, según el presente concepto de sustitución: ¿qué fundamentos teóricos permiten hacer funcionales las tesis de Levinas en el terreno de la psicología?

La sustitución y la psicología para el otro: El psicólogo George Kunz (1998) propone de modo articulado el enfoque de la Psicología para el Otro, el cual, pretende erigirse como un “paradigma alternativo para la psicología”. Por tanto, se intentará mencionar en qué consiste tal enfoque para luego evaluar, en un apartado final, si se constituye o no en un paradigma alternativo, así como establecer posibilidades concretas para la investigación en ciencias humanas.

En su libro: *The paradox of power and weakness* (1998), Kunz se propone presentar la visión de lo que denomina “altruismo radical”, que se levanta como paradigma alternativo a los paradigmas típicos de la psicología moderna, encerrados en el auto-interés. Desde el título del libro, se puede percibir un intento por identificar el concepto de poder con la psicología moderna; se comprende, por tanto, que el paradigma alternativo tendrá que ser abordado desde el concepto de debilidad (weakness), el cual, a partir de esta lente, lee la obra de Emmanuel Levinas. De otra parte, es importante mencionar, de entrada, que lo interesante del trabajo de Kunz (2006) consiste en su pretensión de no salirse del marco de cientificidad; por el contrario, Kunz considera que la cientificidad está en bancarrota y es preciso recomponerla con concepciones más radicales de ciencia, consideración que coincide con el padre de la fenomenología Edmund Husserl (1976 y 2009).

Ahora bien, sin mencionarlo por ningún lado, se puede sospechar que Kunz asume la imagen de ciencia y de cambio científico según el esquema propuesto por Kuhn (1996), especialmente, en sus componentes de “paradigma”

de la ciencia normal, “anomalías” y paradigma emergente u alternativo (literalmente Kuhn habla de un “nuevo paradigma que emerge”); por tanto, el nuevo paradigma, según Kunz, tendría pretensiones de tornarse una revolución en los estudios psicológicos. A continuación, se exponen las tesis de este autor, siguiendo este esquema: Kunz (1998) comienza postulando que, actualmente, se percibe un ambiente de “nihilismo cínico”, formulado por la postmodernidad, a partir de las promesas incumplidas por el proyecto moderno. Su análisis lo lleva a sintetizar las notas características de la modernidad mostrando sus promesas, tanto en el ámbito de lo meramente físico como de lo humano, para luego señalar que, tales promesas, se tornaron desilusiones.

De acuerdo con esto, Kunz afirma que el espectro de la modernidad está constituido por lo siguiente: En primer lugar, “la ilustración cognitiva y la liberación de la ignorancia”: tanto la ciencia natural como la humana fueron acumulando conocimiento reflejado en la producción de métodos, teorías, hechos; así como en sus resultados: “las verdades”; sin embargo, aunque en la ciencia natural seguimos siendo ingenuos acerca de gran parte de su acervo teórico, en las ciencias humanas y sociales parece que el conocimiento se ha ido popularizando entre el gran público: “nos consideramos a nosotros mismos perceptivos de las intenciones y motivos de los otros y, en especial, de nosotros mismos. Este conocimiento moderno nos da confianza para juzgar a las personas en la cotidianidad, planear cursos de acción y disfrutar nuestra sofisticada auto-confianza al imaginar los significados de las personas” (Kunz, 1998).

En segundo lugar, Kunz habla de la “eficiencia conductual”, la cual, se refleja en el ámbito de lo físico mediante las acciones de las máquinas, que han permitido ampliar el conocimiento de la naturaleza de las cosas; en el ámbito de lo humano, por su parte, “la eficiencia en la administración de las acciones individuales y sociales nos permite aligerar nuestros sistemas organizativos para cumplir eficientemente el trabajo productivo”. Como consecuencia de esto, las personas se pueden entrenar para que sean trabajadores efectivos en el desarrollo de tareas complejas, lo que conduce a que los contratiempos se traduzcan como errores evitables, si se aplican las técnicas apropiadas. En el terreno de la psicología y la administración, “la modernidad ha reducido, aparentemente, la probabilidad de fracaso”. Finalmente, y en tercer lugar, “el disfrute afectivo de los productos disponibles al consumidor ha contribuido a la creación de un estilo de vida confortable para la mayoría de los ciudadanos” (Kunz, 1998).

Bien se sabe que estas características han ido perdiendo vigencia en nuestro contexto contemporáneo: se ha desacreditado la vieja imagen de la ciencia, se han puesto en cuestión, tanto el conductismo en psicología como

sus versiones en administración, educación y demás; por último, hemos llegado al punto que el pretendido dominio de la naturaleza para satisfacción de las mayorías no fue más que un sofisma que excluye pueblos y regiones geográficas y es inmisericorde con los recursos naturales. Ante esto, el discurso de la postmodernidad, expuesto de diversas maneras por autores, como Lyotard (1979) o Latour & Woolgar (1979), parece presentar salidas; sin embargo, tales salidas no han conducido sino a un “nihilismo cínico” (Haack, 2007; Sokal, 2010), cuyo centro está constituido por una radicalización del yo, una egología en la que, incluso, el interés por el otro está mediado por procesos de auto-satisfacción.

En lo que respecta a la psicología, Kunz advierte que ella ha contribuido a la consolidación de este “nihilismo cínico”, pues “la psicología hoy, ciertamente aquella clase que más impacta la cultura popular, atiende exclusivamente al estudio del *ego*. La *psique* de la psicología moderna es el *ego* que se establece a sí mismo en el centro de la personalidad individual, construyendo su propia identidad, manipulando su ambiente para saciar sus necesidades y disfrutar el gozo que produce el satisfacer esas necesidades” (Kunz, 1998). En este sentido, la psicología ha perdido de vista la capacidad que tiene el ser humano de trascender sus necesidades para encontrar un deseo más profundo, reduciéndose a mera contemplación del yo.

Esta situación, denuncia Kunz, no es esencial a la psicología, es decir, esta no debe reducir su campo de investigación al yo y sus procesos; es por esto que Kunz se da a la tarea de definir el término “psicología” desde sus orígenes, mostrando cómo la raíz griega *psukhe* remite originalmente a aliento (*breath*), inspirar. Para Kunz, “esta antigua *psukhe* no engendra el sí mismo ni dirige sus esfuerzos hacia el sí mismo [...]. La *psukhe* era un don de los otros” (1998).

La contraposición, que no es meramente sintáctica, se da entre la psicología (denominada por Kunz como *egología*) y la *psukhología*. Alrededor de estos conceptos, se establece la diferenciación entre el poder y la debilidad: el poder es la preocupación por la identidad, el empoderamiento de esta identidad, la evitación de la debilidad, el encuentro del potencial individual y la preocupación por el auto-desarrollo; la debilidad es “el estudio del yo teniendo su identidad inspirada por los otros, animada por los otros, empoderada por los otros” (Kunz, 1998). La pretensión no es solamente confrontar dos modos de considerar la psicología, sino plantear la *psukhología* (un don de los otros) como un paradigma emergente frente al paradigma dominante (*egología*); paradigma que conduciría a la redefinición de la noción de psicología. Recientemente Kunz (2012) sostiene: “La *psique* y sus *significados* han sido olvidados pues no encuadraron bien con el enfoque y el método modelado

después [del método] de las ciencias naturales. Este enfoque fenomenológico (la Psicología para el otro) es un modo de retornarlos a la psicología”.

Antes de explorar el aporte del concepto levinasiano de substitución a la psukhología propuesta por Kunz, se debe decir que tal enfoque no nace de una disyuntiva teórica, sino que parte de las propias anomalías (llamadas por él como “paradojas”) que encontró Kunz al desarrollar su práctica como psicólogo. He aquí su propia descripción: “Mientras confirmo nuevamente mi argumento que el mundo no está dividido entre buenos y malos, puedo distinguir adecuadamente entre una egología y una psukhología reconociendo la verdad obvia que el poderoso posee y disfruta su poder, mientras que el débil sufre su debilidad. Notamos, sin embargo, que las personas poderosas sabotean frecuentemente su propio poder, y la debilidad del débil tiene un poder sobre nosotros. Ni el poderoso ni el débil disputan la verdad del poder del poderoso. Algunas personas poderosas pueden estar inconformes con su poder, y algunos débiles muy confortables en su debilidad. Pero el hecho que el poder es poderoso y la debilidad es débil es obvia para todos: el poder empodera, respalda, perpetúa, libera de responsabilidades; la debilidad, sin embargo, debilita, oprime, limita, incluso mata a quien la sufre” (Kunz, 1998).

De las afirmaciones anteriores, se puede sostener que existe una tesis irrefutable acerca del poder y la debilidad; no obstante, hay casos en los que los polos en discusión se tienden a confundir, emborronándose sus límites hasta tornarse auténticas paradojas. Igualmente, a partir de estas dos categorías (poder y debilidad), se puede leer la historia del pensamiento: están quienes defienden las visiones de poder y están quienes rechazan tales pretensiones e intentan reivindicar la figura del débil.

La cuestión es que la psukhología no se ubica en ninguno de estos polos, que bien podrían tener cabida en la lógica del paradigma dominante, sino que trata de afrontar las anomalías (paradojas) por fuera de tal lógica, es decir, toma de frente aquellas relaciones entre el poder y la debilidad, que son leídas como ilógicas (Kunz habla de oxímoron, ampliando su caracterización como “enigmáticas” “ambiguas”, “irónicas”), a la luz de la psicología moderna. La formulación de la paradoja que desnuda la lógica de la psicología moderna es la siguiente: “en la base de las luchas individuales y sociales de la debilidad contra el poder y del poder contra la debilidad, encontramos estas *paradojas no naturales*: el poder nutre su propia debilidad y la debilidad posee su propia fuente de poder en esa debilidad” (Kunz, 1998).

Parafraseando a Kuhn (1996), las anomalías no tienen

respuesta efectiva a la luz del paradigma dominante, es por ello que la mayoría de los científicos tienden o a trivializarlas o a dejarlas a un lado. En el caso de Kunz, estas anomalías atraen cada vez más su atención y la de otros investigadores (agrupados alrededor de la Universidad de Seattle), dando origen a una comunidad, que se va zafando de lo hasta ahora asumido como paradigmático en psicología, toda vez que ninguna de las respuestas que se ofrecen, puede satisfacer los requerimientos de las paradojas sugeridas. Como consecuencia, la nueva comunidad tendrá que articular el paradigma emergente a partir de nuevas respuestas a las anomalías encontradas.

Ahora bien, ¿cuáles de estas ideas tienen respaldo en la tesis levinasiana de substitución? En primer lugar, si bien el paradigma propuesto por Kunz se denomina Psicología para el otro, a partir del concepto de psukhología, este para-el-otro adopta un carácter diferenciador del mero estar en el lugar del otro. En este punto, la coincidencia con Levinas es sorprendente, pues un para-el-otro en el que la relación se dé en términos de conocimiento (“entiendo lo que te pasa”) o egoísmo (“al entender tus motivos quedo tranquilo con mi conciencia”), no sería sino una mera manifestación de la totalidad (Levinas, 1990); en palabras de Kunz, no sería más que un intento por disolver las paradojas que la interacción encierra.

En segundo lugar, connatural a la substitución se halla el descentramiento del *ego (psique)*, lo que no se debe entender como una aniquilación. Para Kunz (1998), lo mismo que para Levinas, “el llamado a la responsabilidad por los otros, define la característica fundamental de la psique humana”; antes que una filosofía del sujeto, está la filosofía de la intersubjetividad o mejor, para salirse del marco estrictamente fenomenológico, una filosofía de la otredad en la que la primacía del otro suspenda la actividad del yo —he aquí los conceptos levinasianos de “libertad cuestionada” (Levinas, 1990) y “pasividad” (Levinas, 2004)—, primacía sin origen en el yo (que en Levinas es “anárquica”), sin libertad del yo para tomar posición. En este punto, Kunz (2007) propone un modo de analizar la psique por fuera de los estudios tradicionales de la psicología moderna.

Finalmente, la substitución o psicología para el otro, adopta claramente un enfoque responsivo, la responsabilidad es su seña específica: “no *elegimos* responder. Elegimos la manera en la que respondemos. Alejarse es una respuesta. Cada tipo de respuesta es una respuesta. Ninguno elige el llamado, y ninguno elige no responder. Ninguno responde con ninguna respuesta” (Kunz, 1998).

Lo valioso de la propuesta de Kunz es que se encuentra en consonancia con el esquema kuhniano de ciencia, en condiciones como: 1) sirve para estructurar una comunidad

científica, es decir, “gobierna no un número de cuestiones, sino un grupo de practicantes” (Kuhn, 1996); 2) señala la constelación de compromisos con el grupo y, 3) indica los ejemplos compartidos. En este punto, es necesario recalcar que la psicología para el otro ha ido logrando estatus de paradigma emergente o alternativo, aunque no está establecido sino en competencia con el paradigma dominante, pues teóricamente comparte unas tesis. Varios investigadores asumen estas tesis así como el compromiso por desplegarlas en casos que permitan su aplicación en ejemplos concretos. Señal de ello son las contribuciones a las diferentes versiones del seminario: “Psicología para el otro”, entre las que se destacan los siguientes títulos: “Levinas en la práctica: tratamiento de la salud mental en una clínica basada en la comunidad” (Flaxer, 2011), “El gueto interno: cultura y memoria” (Macdonald *et al.* 2011), “Inclusión: actitudes de los terapeutas clínicos hacia la otredad” (Orange, 2011), “La psique despierta: trauma, violencia y el otro” (Goodman & Becker, 2009).

En síntesis, la psicología para el otro es un caso tangible de los modos como algunas tesis filosóficas, en este caso, las propuestas por Levinas, se imbrican en desarrollos de las ciencias humanas y sociales, bien sea para fundamentarlas teóricamente o para sugerir nuevas rutas metodológicas o prácticas (terapéuticas en la mayoría de los ejemplos relatados). Seguidos por el ejemplo de Kunz, se propone —como conclusión—, algunas posibilidades de las tesis de Levinas para las ciencias humanas y sociales.

Rutas ético-epistemológicas que deja abiertas Levinas para una investigación en ciencias humanas y sociales: Hay un más allá del instinto y un más acá de la razón, una sensibilidad que me hace responsable, que media, porque encuentro un alguien que quiere decir algo, pero sobre todo, un alguien que quiere escuchar. La denuncia que hace Kunz de la modernidad frente a la ilustración cognitiva y su apuesta por la liberación de la ignorancia, no solamente llevó al enfrascamiento de la psicología como ciencia humana sino a las ciencias sociales en general. Kunz coincide con Levinas respecto a la in-visibilización que sufre el hombre como consecuencia de los procedimientos de idealización ejercidos por las ciencias, pues en la medida que el hombre investiga lo humano como “objeto” de estudio en un proceso social, se investiga a sí mismo.

Desde la modernidad, la experticia del método científico requiere de un investigador que se mueva en medio de una neutralidad valorativa respecto al fenómeno social observado; esto pone en crisis, no solamente el fenómeno mismo, sino al sujeto-experto que lo estudia. Crisis que se complejiza, aún más, en disciplinas —como la psicología—, que intentan comprender la mente del otro bajo una mirada dual y racional, lo cual, deja por fuera componentes que

la misma razón no puede incorporar (poner un cuerpo) por la limitación que el orden lógico-racional le exige. En este sentido, Levinas denuncia el desvarío mental de un hombre que sale de sí mismo —con un fin comprensivo— hacia otro, en cuyo intento este es negado y borrado en su alteridad; movimiento mental del investigador que hace del extraño algo propio y de su excedente un mismo; así, como sujeto pensante-investigador, retorna a sí mismo gracias al sistema teórico y temático que encapsula todo origen, todo comienzo y todo nacimiento del otro a su mismidad. No en vano, Levinas llamaría la atención a las ciencias sociales argumentado que “la humanidad de lo humano —la verdadera vida— está ausente” (Levinas, 1991).

La formación en investigación, específicamente en investigación cualitativa, ha venido dando un viraje hacia una formación con sentido ético, bajo la premisa de que es necesario e imprescindible romper las estructuras de un pensamiento que obtura el sentido-en-cuanto-vivido de aquellos que se resisten a ser tipificados como ausentes o anónimos flotantes para las ciencias sociales: “agregados con el rostro y el perfil otorgado por la lógica universalista de una institución particular” (Díaz de Rada, 2008).

He ahí la pertinencia de la sustitución para la investigación en ciencias sociales, pues esta, en ningún caso, remite a intercambio de espacios y de manejo de roles entre investigador e investigados; usualmente, el investigador es quien cuenta con los “poderes” necesarios para comprender y pre-comprender al otro. Desde la sustitución todo “comienzo es desde el lugar del Otro” (Levinas, 2004). En este sentido, el increpado a comprender-se respecto a su acercamiento al otro es el investigador y no el sujeto de investigación; de este modo, el investigador debe re-traerse de su comprensión omnisciente con el fin de mirarse a sí mismo antes de mirar al otro; será su reflexividad frente al otro un camino para asumir al investigado como alguien que excede todo conocimiento acerca de él.

No se trata, entonces, de ponerse en “los zapatos del otro”, pues su sentido de caminar implica un calzado que excede la apariencia de los zapatos, para colocarlo, más bien, en los pies de aquellos que han transitado por caminos que han desgastado cantidad de calzados: “quizás la expresión, “estar en los zapatos del otro” (*to be in someone else's shoes*), sea también un residuo que mantiene poca relación con el ejercicio efectivo de intentar situarse en la posición de otro y aproximarse a su dolor. En todo caso, la expresión de hacer empatía, de ponerse en su lugar, no alude al sombrero, el calzón o la camisa sino precisamente al zapato y eso quizás se explique por su imbricación con lo singular del individuo” (Schindel, 2013). Rapport no significa empatía como comúnmente se expone en los textos de métodos y técnicas en investigación social. Estar frente al otro es implicarse con

su sufrimiento y su dolor, sustitución de mi yo por el yo del otro al hacernos responsables del él, sin méritos. Kunz y Levinas plantean el entierro de nuestros egos en las ciencias sociales, pues estos resultan ser el obstáculo más feroz frente a la relación infinita con el Otro.

Agradecimientos: Este trabajo es fruto de las discusiones adelantadas al interior del grupo de investigación Fenomenología y Ciencia, inscrito en la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca y reconocido por Colciencias. Se da expresamente crédito y mención a la Universidad del Cauca, por brindar los espacios y tiempos necesarios para madurar las reflexiones aquí consignadas. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados esperados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, J. 2012. El uno-para-el-otro o la superación ética de la ontología. *Escritos*. 20(44):69-82.
2. AGUIRRE, J.C.; JARAMILLO, L.G. 2006. El otro en Levinas: una salida a la encrucijada sujeto-objeto y su pertinencia en las ciencias sociales. *Rev. Latinoam. Cienc. Soc., Niñez y Juventud*. 2(4):47-71.
3. BAUMAN, Z. 1996. Modernidad y Ambivalencia. En: Beriain, J. (comp). *Las consecuencias perversas de la modernidad*. Barcelona: Anthropos, p.73-119.
4. BERGO, B. 2011. The Face in Levinas; towards a phenomenology of substitution. *Angelaki. J. Theoretic. Humanities*. 16:17-39.
5. BERNASCONI, R. 2004. What is the question to which 'substitution' is the answer? En: Critchley, S.; Bernasconi, R. (eds) *The Cambridge Companion to Levinas*. Cambridge U. Press. p.234-251.
6. BERNASCONI, R. 2012. Levinas's Ethical Critique of Levinasian Ethics. En: Davidson, S.; Perpich, D. (eds). *Totality and Infinity at 50*. Pittsburgh: Duquesne University Press. p.253-269.
7. CALIN, R.; SEBBAH, F. 2002. *Le vocabulaire de Levinas*. Paris: Ellipses Éditions Marketing. 64p.
8. DALE, K. 2012. The Employee as 'Dish of the Day': the Ethics of Consuming/Consumed Self in Human Resource Management. *J. Business Ethics*. 111(1):13-24.
9. DÍAZ DE RADA, A. 2008. ¿Qué obstáculos encuentra la etnografía cuando se practica en las instituciones escolares? En: Jociles, M.I.; Franzé, A. (eds.) *¿Es la escuela el problema? Perspectivas Socio-antropológicas de Etnografía y Educación*. Madrid: Trotta. p.24-48.
10. FLAXER, D. 2011. Levinas in Practice: Mental Health Treatment in a Community-Based Clinic [sede web]. Seattle: Seattle University. Disponible desde internet en: <http://www.seattleu.edu/artsci/psychology/default.aspx?id=7268> (Con acceso 01/04/2013).
11. GALLAGHER, S.; ZAHAVI, D. 2008. *The Phenomenological Mind. An Introduction to Philosophy of Mind and Cognitive Sciences*. London: Routledge. 244p.
12. GARZA, G.; LANDRUM, B. 2010. Ethics and the Primacy of the Other: A Levinasian foundation for Phenomenological Research. *Indo-Pacific J. Phenomenol.* 10(2):1-12.
13. GIERE, R. 2006. *Scientific Perspectivism*. Chicago: The University of Chicago Press. 160p.
14. GOODMAN, D.; BECKER, B. 2009. *The psyche awakened: trauma, violence, and the other*. Seattle: Seattle University. Disponible desde Internet en: <http://www.seattleu.edu/artsci/psychology/default.aspx?id=7268> (Con acceso 01/04/2013).
15. HAACK, S. 2007. *Defending Science –within reason. Between Scientism and Cynicism*. New York: Prometheus Books. 411p.
16. HUSSERL, E. 2009. *La filosofía, ciencia rigurosa*. Madrid: Encuentro. 96p.
17. HUSSERL, E. 1986. *Meditaciones Cartesianas*. Madrid: Técnos. 246p.
18. HUSSERL, E. 1976. *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie*. Haag: Martinus Nijhoff. 555p.
19. IDARETA, F. 2012. Aproximación de la ética de Emmanuel Lévinas al trabajo social. *Portularia*. 12(1):1-8.
20. JARAMILLO, L.; AGUIRRE, J. 2010. Levinas y las ciencias sociales: fundamentos epistémicos desde la alteridad. *Folios* 31:3-20.

21. JARAMILLO, L.; AGUIRRE, J. 2012. Una mirada al mundo ético de la vida a partir de la experiencia del dolor clínico. *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 15(1):9-17.
22. KUHN, T. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions*. 3 ed. Chicago: The University of Chicago Press. 212p.
23. KUNZ, G. 1998. *The paradox of power and weakness: Levinas and an alternative paradigm for Psychology*. New York: State University of New York Press. 210p.
24. KUNZ, G. 2006. Interruptions: Levinas. *J. Phenomenol. Psychol.* 37(2):241-266.
25. KUNZ, G. 2007. An analysis of the psyche inspired by Emmanuel Levinas. *Psychoanalytic Rev.* 94(4):617-638.
26. KUNZ, G. 2012. Conscience of a Conservative Psychologist: Return to the Mysteriously Illusive Psyche. *Indo-Pacific J. Phenomenol.* 12:1-13.
27. LATOUR, B.; WOOLGAR, S. 1979. *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press. 294p.
28. LE BRETON, D. 1999. *Antropología del dolor*. Barcelona: Seix Barral. 284p.
29. LEVINAS, E. 1967. La trace de l'autre. En: *En Découvrant l'existence avec Husserl et Heidegger*. Paris: Librairie Philosophique J. Vrin. p.187-202.
30. LEVINAS, E. 1990. *Totalité et infini; essai sur l'extériorité*. Paris: Le livre de Poche. 347p.
31. LEVINAS, E. 1991. *Ética e Infinito*. Madrid: Visor. 115p.
32. LEVINAS, E. 1993. La conciencia no intencional. En: *Entre nosotros: ensayos para pensar en otro*. Valencia: Pretextos. p.113-126.
33. LEVINAS, E. 2004. *Autrement qu'être au-dela de l'essence*. Paris: Le livre de Poche. 286p.
34. LYOTARD, J. 1979. *La condition postmoderne: rapport sur le savoir*. Paris: Minuit. 109p.
35. MACDONALD, H.; GOODMAN, D.; HOWE, K. 2011. *The Ghetto Intern: Culture and Memory*. Seattle: Seattle University. Disponible desde Internet en: <http://www.seattleu.edu/artsci/psychology/default.aspx?id=7268> (con acceso 01/04/2013).
36. MÉLICH, J. 2010. *Ética de la compasión*. Barcelona: Herder. 320p.
37. ORANGE, D. 2011. *Inclusion: Attitudes Toward Otherness For Clinical Therapeutics*. Seattle: Seattle University. Disponible desde internet en: <http://www.seattleu.edu/artsci/psychology/default.aspx?id=7268> (con acceso 01/04/2013).
38. SCHINDEL, E. 2013. En los zapatos del que sufre. Aproximaciones epistemológicas y éticas a los ex Centros Clandestinos de Detención. O ¿con qué calzado visitar un campo de concentración?" *Papeles del CEIC*, 201(93). Disponible desde Internet en: <http://www.identidadcolectiva.es/pdf/93.pdf> (con acceso 01/04/2013).
39. SOKAL, A. 2010. *Beyond the Hoax: Science, Philosophy and Culture*. Oxford University Press (Reino Unido). 488p.
40. WALDENFELS, B. 2011. In place of the Other. *Cont. Philos.* 44:151-164.
41. ZAHAVI, D.; OVERGAARD, S. 2013. Intersubjectivity. En: LaFollette, H. (ed.). *The International Encyclopedia of Ethics*. Oxford: Wiley Blackwell. p.1-8.

Recibido: Mayo 13 de 2013
 Aceptado: Octubre 18 de 2013

Como citar:

Aguirre, J.C., Jaramillo, L.G. 2013. En el lugar del otro: posibilidades ético-epistemológicas para las ciencias humanas. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 16(2): 535-542.

LA TRANSFERENCIA DEL APRENDIZAJE EN MATEMÁTICA: EL CASO DE LAS FUNCIONES LINEAL, CUADRÁTICA Y EXPONENCIAL

TRANSFER OF LEARNING IN MATHEMATICS: THE CASE OF LINEAR, QUADRATIC AND EXPONENTIAL FUNCTIONS

Alfonso Gómez¹, Yasmín Guzmán²

¹ Licenciado en Matemáticas, Doctor en Educación, Profesor Programa de Matemáticas Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia, agomez1@unicartagena.edu.co; ² Licenciada en Matemáticas, Especialista en Matemáticas Avanzadas, profesora Corporación Colegio Trinitario de Cartagena, Cartagena, Colombia, yasmingp82@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 543-551, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La transferencia del aprendizaje es para algunos autores el propósito final de dicho proceso, ya que el individuo se educa para la vida y los conocimientos recibidos deben servirle para su desempeño. Siguiendo esta dirección, el presente trabajo muestra los resultados de la investigación realizada sobre la transferencia del aprendizaje, en tres temas de la enseñanza de la matemática, del programa de noveno grado, del nivel de media básica, a partir de los contenidos sobre definiciones y ejercicios presentados en los textos, utilizando el análisis de contenido de los libros, clasificándolos de acuerdo con las definiciones indicadas y con los ejercicios resueltos y propuestos y teniendo en cuenta el concepto clásico de transferencia de Perkins y Salomon, la transferencia en el aprendizaje de la matemática desarrollado por Santos y la transposición didáctica en los contenidos analizados, fenómeno inherente en la exposición de la temática expuesta en los textos escolares. En términos generales, los resultados mostraron que en los libros de textos, se presenta una transferencia cercana, quedando relegado el propósito de un aprendizaje útil para otras instancias.

Palabras clave: Enseñanza media, textos escolares, álgebra, problemas.

SUMMARY

Transfer of learning is for some authors the ultimate goal of this process, since individuals are being educated for life and the knowledge received must serve in their performance. Following this direction, this paper presents the results of a research conducted on the transfer of learning in three items of teaching mathematics in the ninth level of the basic

teaching curriculum, based on definitions and proposed problems in the textbooks, applying content analysis of texts, taking into account the classical concept of transfer of Perkins and Solomon, the transfer of learning developed by Santos and the didactic transposition of contents, a phenomenon inherent in the statement of the issues presented in textbooks. Overall results showed that the transfer in textbooks is low-road, relegating the purpose of a useful learning in other instances.

Key words: Secondary education, textbooks, algebra, problems.

INTRODUCCIÓN

El problema de la transferencia: En el programa de matemática de noveno grado del bachillerato colombiano, se estudia una parte del álgebra clásica elemental y en la temática, se tratan las funciones lineales, cuadráticas y exponenciales. Una primera mirada del contenido de los textos escolares muestra que la exposición hace énfasis en la matemática instrumental o, lo que es lo mismo, en la parte operativa, situación que conlleva a analizar con más detalle de qué manera se da el proceso de transferencia, cuando se desarrollan los ejemplos, ya sea para el aprendizaje de conceptos, para su aplicación o para su uso en la vida diaria.

Para llevar a cabo los procesos de enseñanza y aprendizaje, de manera completa, es indispensable que el estudiante sea capaz de utilizar lo aprendido en ciertas situaciones específicas fuera del ambiente escolar, por lo que es necesario empezar con la apropiación de conceptos, para así lograr aplicarlo a situaciones múltiples. En este punto, el docente debe valorar la importancia de la aplicación de conceptos

dentro de la matemática, a partir de los textos de estudio, como medio estratégico, para el logro de la transferencia del aprendizaje, lo cual, implica que es importante hacer una revisión de éstos, para determinar qué tipo de transferencia de aprendizaje se promueve con ellos y hasta qué punto estos textos constituyen un factor propiciador de la transferencia.

La noción de transferencia del aprendizaje fue introducida en la primera década del siglo XX, por Edward Thorndike y Roberto S. Woodworth, en 1901, como transferencia de la práctica (Gómez, 2005), al explorar en los individuos cómo transferían el aprendizaje de un contexto a otro. Su teoría implica que la transferencia del aprendizaje dependa de la proporción de similitud entre la tarea de aprendizaje y la tarea de transferencia de ese aprendizaje, es decir, la transferencia del aprendizaje depende de la presencia de elementos muy demarcados en las situaciones nuevas y originales de aprendizaje, lo cual, lleva a suponer que la transferencia es siempre específica y no general.

En términos generales, la transferencia del aprendizaje es el proceso, mediante el cual, el individuo es capaz de trasladar o traspasar los conocimientos adquiridos, previamente, en conceptos, en operaciones, en estrategias, en actitudes, en habilidades, en principios y en destrezas, para enfrentarlos a nuevas situaciones, ya sean del mismo contexto escolar o de la vida diaria (Ruiz, 2002).

Wenzelburger (1987) afirma que la transferencia del aprendizaje ocurre cuando lo que se aprende en una situación facilita o inhibe el aprendizaje o desempeño en otras situaciones; además, manifiesta que si se descarta la transferencia no se justificaría la enseñanza ni la existencia de las instituciones educativas, por eso el término transferencia es tan importante en educación; de allí es significativo resaltar que es transferible todo lo que se aprende, como habilidades psicomotrices, habilidades cognoscitivas y actitudes afectivas (Gómez, 2005).

Perkins & Salomon (1992) consideran que la transferencia del aprendizaje ocurre cuando lo aprendido en un contexto o conjunto de materiales impactan en el desempeño en otro contexto o con otros materiales relacionados, es decir, la conexión o relación que existe entre lo que se aprende o lo que se sabe con otras experiencias y contextos. También piensan que uno de los objetivos de la educación es lograr aplicar o transferir las habilidades y los conceptos que se han aprendido en clase con otras áreas, temáticas o sucesos de la vida diaria, que, por lo general, no siempre ocurre, pues no tienden a realizar dichas conexiones con otros contextos de aprendizaje; por consiguiente, la instrucción debe estar dirigida para realizar la transferencia, de ahí que se debe mirar como un proceso flexible que ayuda al estudiante a asegurar el conocimiento, en diferentes situaciones.

Bransford *et al.* (2000) proponen que la transferencia del aprendizaje depende de varios factores, entre los cuales, se destacan:

- a. La necesidad del aprendizaje previo. El sujeto debe lograr un aprendizaje inicial, de apertura, que sea suficiente como para brindar soporte a la transferencia, pero toma tiempo aprender una disciplina compleja. Por ello, en la verificación de la transferencia, se debe tomar en cuenta el grado en que el aprendizaje original fue comprendido.
- b. La inversión de tiempo en la tarea. El tiempo que se dedica a la tarea, por sí mismo, no es garantía de un aprendizaje sólido y con un alto potencial de transferencia; lo más importante es cómo la gente usa su tiempo mientras aprende. Conceptos tales como el de “práctica deliberada”, enfatizan la importancia de ayudar a los estudiantes a monitorear su aprendizaje, buscar la realimentación sobre su desempeño, supervisar la eficiencia de las estrategias empleadas y evaluar el proceso y nivel de comprensión obtenido.
- c. La necesidad de la comprensión en el aprendizaje. El aprendizaje con alto grado de comprensión tiene mayor probabilidad de facilitar la transferencia que el aprendizaje, mediado por la memorización de información textual.
- d. La variación del contexto de aprendizaje. El aprendizaje, que es promovido en una variedad de contextos, tiene mayor probabilidad de ser transferido a nuevas situaciones que aquel obtenido en un único contexto. Cuando el material aprendido es multicontextualizado, el sujeto tiene mayor oportunidad de extraer rasgos relevantes de los conceptos y desarrollar una representación más flexible del conocimiento, lo cual, favorece un mayor grado de generalización.
- e. La comprensión flexible del estudiante. El sujeto desarrolla una mayor flexibilidad en la comprensión acerca del cuándo, dónde, por qué y cómo usar el conocimiento para resolver nuevos problemas, si aprende cómo extraer las ideas y los principios subyacentes de sus ejercicios de práctica en el aprendizaje.
- f. La evaluación de la transferencia. La transferencia del aprendizaje es un proceso activo y continuo, por tanto, no debería ser evaluado puntualmente con un test de transferencia; para tal fin, se debería considerar cómo el aprendizaje previo afecta los aprendizajes posteriores bajo condiciones reales de las tareas, tal como el aumento de la velocidad o medida del progreso en el aprendizaje, en un nuevo dominio.
- g. La importancia de la experiencia previa. Todo aprendizaje supone la transferencia de experiencias previas, inclusive, en los casos de aprendizaje inicial; no obstante, ella no ocurre de manera espontánea ni es siempre evidente. De allí, que un docente efectivo intente inducir la transferencia positiva mediante la identificación activa de las fortalezas que el estudiante trae a la situación de

aprendizaje, extendiendo puentes entre el conocimiento del alumno y el aprendizaje de los objetivos instruccionales previstos.

- h. La necesidad de evitar la transferencia negativa. Algunas veces el conocimiento que la gente trae a una nueva situación le impide obtener subsecuentes aprendizajes, porque guía el pensamiento en una dirección equivocada (Brandsford *et al.* 2000). En tales casos, el docente debe ayudar al estudiante a cambiar su concepción original antes de utilizar las concepciones erradas, como base para comprensiones adicionales futuras.

De lo anterior, se puede resaltar lo importante que es utilizar la transferencia en las diferentes áreas del conocimiento, como medio de interacción en el aprendizaje ocurrido en una situación, ya sea dentro de la misma área o diferentes. De allí, que el docente debe utilizar la transferencia como herramienta, para que el estudiante mejore su desempeño académico.

Al hablar de transferencia, se distinguen varios tipos de ella, siendo los más comunes la transferencia positiva, la transferencia negativa, la transferencia cercana y la transferencia lejana (Perkins & Salomon, 1992). La transferencia positiva, se define como un proceso, en el que el aprendizaje en un contexto mejora el desempeño en otro contexto; por ejemplo, quien habla un idioma encuentra más fácil aprender el idioma relacionado con el primero. La transferencia negativa, se refiere al proceso por medio del cual, el aprendizaje en un contexto impacta negativamente en otro contexto, es decir, cuando el aprendizaje de una tarea interfiere en el aprendizaje de una segunda. Por otra parte, cuando se transfieren contenidos a situaciones o contextos muy similares, se trata de una transferencia cercana, pero si se trasladan aprendizajes a contextos remotos y aparentemente ajenos, se trata de una transferencia lejana.

Otra clasificación de los tipos de transferencia, se debe a Gagné (1970), quien identifica dos tipos de transferencia: lateral y vertical. La transferencia lateral, se refiere al aprendizaje adquirido previamente y su utilización en la nueva tarea, sobre el cual, se realizará la transferencia, en otras palabras, el aprendizaje anterior es fundamental para el aprendizaje posterior; por ejemplo, el conocimiento previo que debe tener un estudiante de secundaria para graficar funciones lineales, cuadráticas o exponenciales.

Por otra parte, la transferencia vertical tiene lugar cuando el conocimiento previamente adquirido permite comprender una nueva tarea de la misma naturaleza o nivel de complejidad más alto; por ejemplo, la aplicación de las operaciones realizadas con funciones, de allí que es en este espacio donde empieza a tener importancia la transferencia al volverse significativo el aprendizaje, pues el estudiante es capaz de

reinventar o ampliar su horizonte cognitivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se desarrolló en torno al concepto clásico de transferencia de Perkins & Salomon (1992). La información recolectada, se obtuvo de los textos *Matemática en Acción 4*, de Losada *et al.* (1978), *Espiral 9*, de Moreno (2005) y *Glifos Procesos Matemáticos 9*, de Arévalo *et al.* (2008). La escogencia de los textos obedeció a dos hechos importantes. En primer lugar, se tuvo en cuenta la fecha de publicación, de acuerdo con la aparición de los lineamientos curriculares: antes de los lineamientos, durante los lineamientos y después de los lineamientos. En segundo lugar, los textos fueron los más utilizados en el medio donde se desarrolló el trabajo investigativo, debido al prestigio de los autores y las editoriales.

Los libros examinados, se clasificaron en tres clases o categorías, según la forma como se presenta el contenido, de acuerdo con González & Sierra (2004): expositivo, tecnológico y comprensivo. Expositivo, cuando los temas matemáticos se presentan como enunciados, reglas y procedimientos aparentemente aislados y sin conexión a la realidad, pero obedece en cierta forma a alguna presentación de la matemática; tecnológicos, cuando la presentación de los conceptos inducen la mecanización, siguiendo un estilo conductista, con la intención de adquirir destrezas sobre ciertos procesos, mediante la ejercitación y, comprensivo, cuando la exposición de los conceptos obedece a una construcción formal o axiomática, con cierto grado de rigor de la matemática, por la forma concatenada como aparecen los conceptos (Gómez-Granell, 1989), estableciendo una relación adecuada de los conceptos estudiados con otros conceptos previos.

Para el examen de las definiciones y de los ejercicios, se hizo un análisis exhaustivo, teniendo en cuenta la idea de Monterrubio & Ortega (2011), que consiste en detallar los contenidos analizados en lo relacionado con las definiciones, según su presentación como teoría axiomática, la secuenciación y la organización en el contexto, las conexiones con los conceptos que le preceden y los conceptos siguientes y las actividades o problemas, que tienen por objeto la obtención de la transferencia.

En términos generales, al examinar definiciones y ejercicios, según Gómez (1997), se considera como sinónimos las expresiones textos escolares, textos guías, textos de estudio y manuales escolares, los cuales, se caracterizan por ser libros impresos, producidos por las editoriales con más alto nivel de ventas y que se utilizan en la escuela, para la comunicación de los conocimientos. Estos textos tienen en común que ellos obedecen a las políticas de Estado, con base a las

políticas curriculares y que han sido impresos con ánimo educativo y a nivel comercial.

Para la realización del trabajo, se estudiaron los tipos de transferencias cercana y lejana en el aprendizaje; luego, mediante el examen de tres textos de matemática de noveno grado, se analizó cómo se suscita la transferencia, a través de los ejercicios resueltos y planteados, en el sentido de ayudar a resolver situaciones del diario vivir; para ello, se utilizó una metodología descriptiva-comparativa y cualitativa, ubicando los textos de matemática de 9° de educación básica secundaria en dos épocas: antes y después de los lineamientos curriculares, según las técnicas propuestas por González & Sierra (2004). El análisis de los contenidos, se realizó según la dimensión pragmática aplicada a manuales escolares, presentada por Monterrubio & Ortega (2011); luego, se llevó a cabo una comparación de los temas bajo estudio, confeccionando cuadros comparativos con los datos fundamentales teoría y ejercicios de los textos. Los contenidos de los ejercicios de los textos, se analizaron, ajustados al concepto clásico de transferencia, dado por Perkins & Salomon (1992), mediante el análisis conceptual en la presentación de los contenidos, el análisis didáctico cognitivo, desde el efecto producido por la transposición didáctica y el análisis fenomenológico, aplicado a la organización de los conceptos, apoyados en el estudio documental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al hacer un análisis de las definiciones, los ejemplos y los ejercicios propuestos, se encontró que los textos, bajo estudio, se ciñen a los programas curriculares, propuestos por el Ministerio de Educación Nacional, atendiendo a los lineamientos curriculares, de acuerdo con la fecha de publicación del texto. Al realizar el análisis de contenidos, la parte conceptual correspondiente a todos los temas y en todos los textos analizados, se desarrolla en un ambiente tecnológico y expositivo, pero no comprensivo, porque el tratamiento no es estrictamente axiomático; todas las definiciones son formales, aunque no exactamente rigurosas, excepto en el texto *Matemáticas en Acción*, para la función lineal. La secuencia de contenidos sigue el orden de complejidad función lineal, función cuadrática y función exponencial, en todos los textos; el concepto de función es un concepto introductorio, ya sea en el mismo texto o en el texto precedente de la colección; el tipo de transferencia para la función lineal es cercana, excepto en texto *Espiral 9°*, donde no se da; finalmente, para la función exponencial, la transferencia se aproxima a la cercana lateral y algo de transferencia vertical (Gómez, 2005), en el texto *Espiral 9°* (Moreno, 2005). De acuerdo con Chevallard (2000) y Solarte (2006), el texto *Matemáticas en Acción* hace la transposición didáctica del concepto de función, de cierto modo fundada en el concepto de ecuación, produciéndose lo que se llama la desincretización del saber,

tratando de conseguir un efecto de simplificación (D'Amore, 2006), es decir, un puente de comunicación entre el docente y el estudiante, respecto al saber a enseñar. Este hecho es recurrente en los ejercicios propuestos, donde se debería decir que la ecuación representa una función, dándose la desincretización del saber en el sentido de no avanzar al no poderse asimilar la diferencia entre ecuación y función. La presentación del concepto en el texto comienza formal, pero se vuelve informal, mediante los ejemplos; pues el objetivo es conectar los conceptos de función lineal y ecuación lineal.

En términos generales, se puede establecer que la introducción del concepto es formal; algunos conceptos en el texto no corresponde al programa curricular del grado, como lo es la continuidad de una función definida en Glifos 9 (Arévalo *et al.* 2008); tanto los ejercicios propuestos como los ejemplos conducen a un aprendizaje mecánico, lo cual, permite clasificarlo como un texto tecnológico; además, los problemas propuestos, en cierta manera, llevan a una transferencia cercana y lateral, pero inmediata, vislumbrándose cierto tipo de transferencia lejana en algunos problemas propuestos. La tabla 1 resume los resultados encontrados.

Para la función cuadrática, la transferencia es cercana lateral, porque los ejercicios se reducen a hallar la función bajo condiciones inherentes, excepto en el texto *Matemáticas en Acción 4* (Losada *et al.* 1978), donde está ausente. En lo relacionado con la exposición de algunos ejercicios, no se presenta total claridad en los enunciados, se confunden las expresiones función, polinomio, ecuación y fórmula; se muestran ejercicios de funciones con dos variables al tratar de expresar el área A y el perímetro P de un campo rectangular en función de su largo x y su ancho z (Moreno, 2005); la recta y la parábola, se presentan algunas veces como lugares geométricos y, otras, como funciones en Moreno (2005).

En el texto *Matemática en Acción 4* (Losada *et al.* 1978), es poca la información que se encuentra sobre las funciones cuadráticas, su definición es formal, los ejercicios propuestos y resueltos no llevan a establecer ningún tipo de transferencia, al igual que en las funciones lineales; el texto se remite al volumen anterior, como base, *Matemática en Acción 3*, de los mismos autores.

Espiral 9° (Moreno, 2005) introduce el concepto de función cuadrática de manera formal, aunque se tiene que x es la variable independiente y en su definición no aparece; el dominio está implícito, al decir que x puede tomar cualquier valor real, pero su rango no está definido; se debe aclarar que su gráfica es una parábola, pero no toda parábola representa una función cuadrática.

Al analizar *Espiral 9°* (Moreno, 2005) es importante destacar, según Bransford *et al.* (2000), la importancia del aprendizaje

Tabla 1. Resumen de resultados función lineal.

TEXTO	TIPO DE TEXTO	CONCEPTOS INTRODUCIDORES	TIPO DE DEFINICIÓN	SECUENCIA DE CONTENIDOS	TRANSFERENCIA
Matemática en Acción 4	Tecnológico	Función lineal	Informal	Función Función lineal	Cercana Lejana
Espiral 9°	Tecnológico	Función Dominio y Rango	Formal	Función lineal. Pendiente de la recta. Ecuación de la recta. Forma de la ecuación de una recta.	No se da
Glifos 9° Procesos Matemáticos	Tecnológico	Función Dominio y Rango Monotonía creciente y decreciente Valor máximo y mínimo Continuidad	Formal	Función lineal. Función afín. Funciones lineales paralelas. Funciones lineales perpendiculares.	Cercana Lejana

previo y la necesidad de evitar la transferencia negativa; en este sentido, el texto propone unas actividades de preparación o iniciales, en que el docente debe verificar la comprensión del aprendizaje anterior y, si es necesario, modificar conceptos que trae el estudiante, que más adelante conduciría a una transferencia negativa.

Adicionalmente, Aréchiga (1998) propone que el aprendizaje de las matemáticas se debe dar en tres etapas. La primera, abarca los conceptos matemáticos y la forma como están organizados, para luego comunicarlos; el texto bajo análisis, ubica el concepto de función cuadrática en el programa correspondiente del curso, ilustrándolo con algunos gráficos y ejemplos, que conducen a generalizaciones y así se presenta la segunda etapa, los que más tarde son utilizadas por los estudiantes en la solución de situaciones problema dentro de la misma matemática o en otras disciplinas, asumiéndose finalmente, la tercera etapa. Según esto, el texto propicia la transferencia cercana y lateral, a través de sus problemas dentro de la misma matemática y su relación con otras áreas, como la física. La transferencia lejana está ausente en los textos analizados, muy a pesar que la función cuadrática es fuente de un gran número de aplicaciones. Se resume el análisis de resultados en la tabla 2.

Respecto a la función exponencial, los textos toman como punto de partida el concepto de función potencial con exponente racional; presentan el concepto de función exponencial formal, pero incompleto; se puede apreciar algunas propiedades de las potencias que son de mucha ayuda para graficar; el dominio de la función es implícito al escribir que x es un número real; no se especifica su recorrido al inicio, pero cuando toman sus propiedades al expresar que la función exponencial es siempre de valor positivo, queda implícito el rango; consideran la propiedad de que la función es creciente y biyectiva, pero no consideran el caso cuando la función es decreciente, es decir, no se considera el caso de que $y = a^{-x}$ también es una función exponencial, excepto en Espiral 9° (Moreno, 2005), donde se exponen algunos ejemplos. La secuencia, el contenido y la ubicación de los temas desarrollados están acordes con los programas curriculares. De las situaciones problemas que se analizan, se encuentra una pequeña discontinuidad en la secuencia de los contenidos, pues la solución requiere de funciones exponenciales de base natural, hecho que no está claro en ninguno de los textos. La transferencia presente en los textos es de tipo lateral y vertical, con una aproximación a la transferencia lejana, mediante el tratamiento de algunos ejemplos relacionados

Tabla 2. Resumen de resultados función cuadrática.

TEXTO	TIPO DE TEXTO	CONCEPTOS INTRODUCTORIOS	TIPO DE DEFINICIÓN	SECUENCIA DE CONTENIDOS	TRANSFERENCIA
Matemática en Acción 4	Tecnológico	Función cuadrática	Formal	Función cuadrática Grafica de una función cuadrática.	No se da
Espiral 9°	Tecnológico	Función cuadrática Parábola Dominio	Formal	Función cuadrática Grafica de una función cuadrática. Intersección con los ejes.	Cercana Lateral
Glifos 9° Procesos Matemáticos	Tecnológico	Función polinómica Parábola	Formal	Función cuadrática. Representación gráfica de una función cuadrática. Transformación geométrica de la función cuadrática. Representación de parábolas.	Cercana Lateral

con el problema de interés compuesto, crecimiento de bacterias. La tabla 3 muestra una síntesis del análisis.

A manera de cierre, se pueden derivar algunas conclusiones, las cuales, se agrupan teniendo en cuenta el papel que juegan los contenidos en el aprendizaje de las matemáticas, la presentación de los mismos y el logro de la transferencia.

El contenido de los libros de textos y la organización de los temas, en algunos casos, no están acorde al programa, según el grado; estos siguen la estructura de los lineamientos curriculares propuestos por el gobierno, pero no obedecen a las necesidades del estudiante y al contexto donde se desenvuelve, al transponer los conceptos en los textos, para facilitar el aprendizaje de los mismos; lo que se hace es restarle su verdadera esencia para su utilización, convirtiéndose en un obstáculo para su formación, pues un verdadero aprendizaje debe estar basado en un buen manejo conceptual, que, en ocasiones, aparecen definiciones auxiliares, que terminan desorientando al estudiante.

Ante las falencias descubiertas es obligatorio que el docente analice cada texto de trabajo y verifique su contenido de enseñanza, valiéndose de sus conocimientos y experiencia, a fin de enriquecer su quehacer e implementar, en la planeación curricular, actividades o tareas de aprendizaje, que articulen ejercicios y prácticas, para que el estudiante logre realizar conexiones y aplicar nuevos aprendizajes o habilidades.

El aspecto instrumental de las matemáticas que incita a la ejercitación de un concepto desde la metodología conductista, pero con muy pocas excepciones, llevan al estudiante a hacer un análisis del concepto, sus propiedades, la relación con otros conceptos y con otras áreas del saber. En síntesis, los ejemplos resueltos y los ejercicios propuestos pretenden ilustrar el concepto, dejando al estudiante, por lo general, sin acceso a identificar la estructura profunda de los problemas en la etapa final del análisis de resultados (Santos, 1997).

A lo largo del trabajo, se ha entendido la transferencia no como aplicación de concepto sino como el traspaso de los

Tabla 3. Resumen de resultados función exponencial.

TEXTO	TIPO DE TEXTO	CONCEPTOS INTRODUCTORIOS	TIPO DE DEFINICIÓN	SECUENCIA DE CONTENIDOS	TRANSFERENCIA
Matemática en Acción 4	Tecnológico	Función potencial. Dominio y rango. Función creciente. Función inyectiva	Formal	Función potencial Función exponencial	Intenta un tipo de transferencia cercana
Espiral 9°	Tecnológico	Función potencial Dominio de una función Gráfica de una función	Formal	Función potencial Función exponencial	Cercana Vertical Lateral
Glifos 9° Procesos matemáticos	Tecnológico	Función potencial	Formal	Función potencial Función exponencial	Cercana Lateral

conocimientos a otras esferas; se observa que si hay algo de transferencia es de tipo lateral y cercana, pero hay ausencia de transferencia lejana. De otra parte, según la metodología propuesta en el trabajo, se observó que los textos se desarrollan en un ambiente tecnológico y expositivo, pero no comprensivo, hecho que deja un aprendizaje incompleto, pues el proceso de aprendizaje, en este caso, culmina con la transferencia lejana.

También es pertinente manifestar que los conocimientos adquiridos en la escuela deben ser útiles dentro y fuera de las instituciones educativas; una de las áreas más importantes y propiciadora para esto es la matemática; sin embargo y, por lo general, no ocurre, pues su enseñanza, en ocasiones, está limitada a la mecanización y a la memorización de ejercicios; es por ello, que la instrucción debe estar dirigida a realizar la transferencia, es decir, a que el estudiante sea capaz de traspasar las habilidades y los conceptos que han aprendido en clase a otras áreas o tópicos y a los acontecimientos de su diario vivir. En este proceso, el docente debe favorecer una serie de actividades, ejercicios y prácticas, para que los estudiantes realicen este tipo de conexiones, tener claridad sobre las metas y los propósitos de transferencia y el impacto que tiene en la comprensión de los contenidos de enseñanza, con el fin que el estudiante comprenda el propósito de hacer conexiones y comience a encontrar los diversos contextos, para realizar la transferencia.

Finalmente, se debe señalar que este trabajo es apenas una aproximación al problema de la transferencia del aprendizaje, en tres temas específicos. Sería provechoso extender esta investigación, analizando cómo se dará la transferencia a la luz de los lineamientos curriculares y los estándares sobre matemática en la enseñanza en el nivel de básica, comparando lo que aquí se presenta con lo que ocurre en otros países, como Venezuela, Perú, Costa Rica y México (Santos, 1997).

De acuerdo con lo expresado inicialmente, se reafirma la presentación de los contenidos en forma instrumental, estimulando a la ejercitación de un concepto de tipo conductista, sin llevar al estudiante a hacer un análisis del concepto, sus propiedades, la relación con otros conceptos y con otras áreas del saber, excepto en los casos donde se intenta, con algunos ejercicios, la transferencia de tipo vertical. Los ejemplos resueltos y los ejercicios propuestos pretenden ilustrar el concepto, resaltando sus características, entendiéndose la transferencia, en este caso, como ampliación del concepto, en términos de una transferencia lateral.

En términos generales, la presentación de ejercicios resueltos y problemas propuestos deja al proceso de aprendizaje incompleto, pues no se vislumbra la utilidad de los conocimientos en ausencia de la transferencia lejana, entendiéndose ésta como el traspaso de los conocimientos a otras esferas,

donde el conocimiento se hace explícito y como lo afirma Pozo (2006), cuando un conocimiento se hace explícito surge un tipo de conocimiento declarativo, que produce la adquisición de hechos y sucesos, que tienen definición en el contexto cultural del estudiante y lo posibilita para generar aprendizajes significativos, que se pueden transferir, de manera adecuada, en otros contextos. Sobre este particular, Sanjosé *et al.* (2007), investigando sobre la transferencia en solución de problemas, conceptúa que para conseguir la transferencia es necesario la comprensión y la aplicación de los contenidos y así, de esta manera, los estudiantes saben lo que hacen. Las ideas expresadas acentúan la importancia de los ejercicios del texto escolar.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARÉCHIGA, J. 1998. Problemas de la transferencia de las matemáticas. *Revista Academia*. (México), 4(1): 30-32. Disponible desde internet en: <http://www.scribd.com/doc/32358041/Academia-4> (con acceso 08/08/2006).
2. ARÉVALO, S.; GARZÓN, L.; PERAFÁN, B.; RANGEL, J.; CHÁVEZ, S.; SILVA, O.; RODRÍGUEZ, J.; DÍAZ, R.; JIMÉNEZ, J.; LÓPEZ, M. 2008. *Glifos, Procesos matemáticos 9º*. Ed. Libros & Libros S.A. (Bogotá). 336p.
3. BRANSFORD, J.; BROWN, A.; COCKING, R. 2000. *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Ed. National Academy Press. (Washington). 384p.
4. CHEVALLARD, Y. 2000. *La Transposición Didáctica, del saber sabio al saber enseñado (3ª ed.)*. Ed. Aiqué. (Buenos Aires). 196p.
5. D'AMORE, B. 2006. *Didáctica de la matemática*. Ed. Magisterio (Bogotá). 470p.
6. GAGNÉ, R. 1970. *The conditions of learning*. Ed. Holt Rinehart and Winston (New York). 407p.
7. GÓMEZ, B. 1997. Los libros de textos de matemáticas. En: Sierra, M; Rico, L; Gómez, B. (eds). *Las matemáticas del siglo XX Vol. 2*. Ed. Fundación G. S. Ruipérez. (España). p.77-80.
8. GÓMEZ, M. 2005. La Transposición didáctica: historia de un concepto. *Rev. Latinoam. Est. Educ. (México)*. 1(1):83-115.
9. GÓMEZ-GRANELL, C. 1989. La adquisición del lenguaje matemático: un difícil equilibrio entre el rigor y el significado. *Rev. Com., Lenguaje y Educ. (España)*. 3(4):5-15.
10. GONZÁLEZ, M.; SIERRA, M. 2004. Metodología de análisis de libros de textos de matemáticas. Puntos críticos en la enseñanza secundaria en España durante el siglo XX. *Enseñanza Cienc. (España)*. 22(3):389-408.
11. LOSADA, R.; DE LOSADA, M.; MATEUS, H. 1978. *Matemática en Acción 4*. Ed. McGraw-Hill Latinoamericana S.A. (Bogotá). 156p.
12. MONTERRUBIO, M.; ORTEGA, T. 2011. Diseño y aplicación de instrumentos de análisis y valoración de textos escolares de matemáticas. *Rev. PNA. (España)*. 5(3):105-127.
13. MORENO, V. 2005. *Espiral 9º*. Ed. Norma S.A. (Bogotá). 356p.
14. PERKINS, D.; SALOMON, G. 1992. Transfer of learning. En: *International Encyclopedia of Education*. Ed. Pergamon Press. (Oxford). Disponible desde Internet en: <http://learnweb.harvard.edu/alps/thinking/docs/traencyn.htm> (con acceso 31/03/2011).
15. POZO, J. 2006. *Adquisición de conocimiento*. Ed. Morata. (España). 269p.
16. RUIZ, C. 2002. Mediación de estrategias metacognitivas en tareas divergentes y transferencia recíproca. *Rev. Invest. Postgrado. (Venezuela)*. 17(2):1-10.
17. SANJOSÉ, V.; VALENZUELA, T.; FORTES, M.; SOLAZ-PORTOLÉS, J. 2007. Dificultades algebraicas en la resolución de problemas por transferencia. *Rev. Electr. Enseñ. Ciencias. (España)*. 6(1):538-561.
18. SANTOS, L. 1997. La transferencia del conocimiento y la formulación o rediseño de problemas en el aprendizaje de las matemáticas. *Rev. Méx. Invest. Educ.* 2(3):11-30.
19. SOLARTE, M. 2006. Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencias de

la transposición didáctica. Rev. Electr. Red Invest. Educ. (México). 1(4):1-12.

sión electrónica 61. Disponible desde Internet en: http://201.161.2.34/servicios/p_anuies/publicaciones/revsup/res061/txt4.htm (con acceso 5/05/2007).

20. WENZELBURGER, E. 1987. La transferencia en el aprendizaje. Publicaciones de la asociación nacional e instituciones de educación superior. Ver-

Recibido: Noviembre 22 de 2012

Aceptado: Octubre 2 de 2013

Como citar:

Gómez, A.; Guzmán, Y. 2013. La transferencia del aprendizaje en matemática: el caso de las funciones lineal, cuadrática y exponencial. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 543-551.

FACTORES DE DESERCIÓN DE LOS ESTUDIANTES EN LA FACULTAD DE ENFERMERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A, DURANTE EL PERIODO: 2009-2010-I 2011

STUDENT DROPOUT FACTORS OF THE SCHOOL OF NURSING, UNIVERSITY OF APPLIED AND ENVIRONMENTAL SCIENCES U.D.C.A, PERIOD: 2009-2010-I 2011

Blanca N. Piratoba H.¹, Ovidio O. Barbosa Ch.²

¹ Enfermera, Especialista en Administración de Servicios de Salud, Magister en Enfermería con énfasis en Cuidado al Paciente crónico. Profesora Facultad de Enfermería. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No 55- 37, Bogotá D.C., Colombia, blancapiratoba@hotmail.com; ² Enfermero, Joven investigador U.D.C.A, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No 55- 37, Bogotá D.C., Colombia, ovidio Barbosa_2005@hotmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 553-562, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue identificar los factores económicos, académicos, socio-culturales y otros, asociados a la deserción de los estudiantes en la Facultad de Enfermería, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en cada una de las de las cohortes, de los años 2009, 2010 y primer semestre de 2011. Bajo un estudio descriptivo con abordaje cuantitativo retrospectivo, se obtuvieron los datos del sistema de la universidad, a través Departamento de Planeación, de Sistema de Admisiones y Registro Académico y de la Facultad de Enfermería. En las cinco cohortes, se identificaron 144 desertores, de los cuales, 59 corresponden a la muestra. Para la recolección de la información, se utilizó un instrumento diseñado por el Programa de acompañamiento y adaptado por los investigadores, con 33 ítems, que incluían variables de tipo individual, personal, socio-económicas y académicas; se aplicó previo consentimiento informado. Los resultados mostraron los primeros semestres como el momento en el que se presenta el mayor número de desertores y en las edades de 16 a 20 años, con un 47%. Las principales causas asociadas a la deserción fueron los factores económicos, con un 28,8%, seguido de los factores académicos, con un 22%. La unión de factores económicos y académicos es la tercera causa de deserción, con un 15,3%, mientras que la orientación vocacional, se encuentra en cuarto lugar, con un 11,9%. En menor porcen-

taje, se detectaron otros factores, como el no adaptarse al ambiente universitario, condiciones de salud, embarazo y el cambio de lugar de residencia.

Palabras clave: Abandono, factores de riesgo, educación superior universitarios.

SUMMARY

The objective of the research was to identify the economic, academic, cultural and other factors, associated to student dropout in the faculty of nursing at the University of Applied Sciences and Environmental Sciences in each of the cohort of 2009, 2010 and 2011, I. Corresponds to a descriptive study with retrospective quantitative approach, supported by units of the university and the Department of Planning, Admissions and Registration System Academic, and nursing faculty. In the five cohorts 144 deserters were identified, 59 corresponded to the sample. To collect the information an instrument designed by the accompanying program and adapted by the researcher with 33 items, including variables of an individual, personal, socioeconomic and academic type was used. Informed consent was implemented. The results showed the first semester as the moment of the highest number of dropouts, being higher in females between the ages of 16 to 20 years with a 47%. The main causes of dropout were economic factors with 28.8%, followed by academic ones with 22%, the union

of economic and academic factors are the third leading cause of attrition with 15.3%, while vocational guidance is in fourth place with 11.9%; lower percentage of factors such as failure to adapt to the universities environment, health conditions such as illness or pregnancy, change of residence to another city, were detected.

Key words: Dropouts, risk factors, higher education.

INTRODUCCIÓN

La deserción estudiantil es uno de los problemas que se presenta en la mayoría de las Instituciones de Educación Superior de Latinoamérica (Díaz Peralta, 2008). El estudio de esta deserción es extremadamente complejo, ya que implica no solamente una variedad de perspectivas, sino una gama de diferentes tipos de abandono. Adicionalmente, se afirma que ninguna definición puede captar en su totalidad la complejidad de este fenómeno, quedando en manos de los investigadores la elección de la definición que mejor se ajuste a sus objetivos y al problema a investigar (Tinto, 1989).

Existe consenso en definir la deserción como un abandono voluntario, que puede ser explicado por diferentes categorías de variables: socio-económicas, individuales, institucionales y académicas (Díaz Peralta, 2008). Así que este proceso de abandono, voluntario o forzoso de la carrera en la que se matricula un estudiante, por la influencia positiva o negativa de circunstancias internas o externas a él o ella (UNESCO/IESALC, 2006) es una problemática que ha tomado especial relevancia, en las últimas décadas (González, 2005). Según estadísticas, en el caso de las Instituciones de Educación Superior Colombianas, la deserción está cerca del 50%, es decir, la mitad de los estudiantes quienes inician una formación profesional no la finaliza (Bravo Castillo & Mejía Giraldo, 2010).

Diferentes autores intentan explicar las causas de la deserción, mediante modelos que describen cómo se produce la decisión de desertar; los enfoques psicológicos de la retención estudiantil emplean variables de tipo individual, que se centran en los rasgos de la personalidad que diferencian a los alumnos que completan sus estudios de aquellos quienes no lo logran (Himmel, 2002). El primer modelo que aparece en la literatura es el de Fishbein & Ajzen (1975), quienes señalan que desertar o permanecer está directamente influenciado por las conductas previas, las actitudes acerca de la deserción y las normas subjetivas acerca de estas acciones.

Los modelos sociológicos enfatizan en la influencia en la deserción de factores externos al individuo, adicionales a los psicológicos. Spady (1970), se basó en el modelo suicida de Durkheim (1951), indicando que la deserción es el resultado

de la falta de integración de los estudiantes en el entorno de la educación superior; aduce, que el medio familiar es una de las muchas fuentes que expone a los estudiantes a influencias, expectativas y demandas, las que, a su vez, afectan su nivel de integración social en la universidad; la congruencia normativa actúa directamente sobre el rendimiento académico, el desarrollo intelectual, el apoyo de pares y la integración social, situaciones que generan una alta probabilidad que el estudiante decida abandonar sus estudios. Los modelos organizacionales hacen referencia a las características de la deserción en las instituciones, en cuanto a los servicios que estas ofrecen a los estudiantes, que ingresan a ella (Himmel, 2002), cobrando especial relevancia la calidad de la docencia (Braxton *et al.* 1997) y las experiencias de los estudiantes en el aula (Himmel, 2002). Los factores sociales, económicos o familiares influyen en la deserción universitaria, siendo más representativos los económicos (Rojas Bantancur & González, 2008).

El Sistema para la Prevención de la Deserción de la Educación Superior -SPADIES- muestra, que en promedio, la tasa de deserción acumulada entre 1998 y el 2005, en la U.D.C.A fue de 50,16%, lo que significa, que por cada 100 estudiantes que ingresaron en la cohorte, 50 se retiraron, antes de obtener su grado (MEN, 2008).

La alta deserción en la Educación Superior (ES) está asociado con calificaciones bajas al ingreso, los estudiantes con padres que no han tenido educación universitaria o con estatus socio-económico bajos (Jeffreys, 2007).

La deserción en la formación de Enfermeras y Enfermeros es de las principales preocupaciones, a nivel mundial, para los gobiernos, para las Instituciones de educación superior y para la profesión (Prymachuk *et al.* 2009). En la enfermería y la partería, el debate se centra en torno a la deserción, donde se reporta, como posibles razones, las personales en lugar de los factores sociales, que pueden influir en su capacidad para permanecer en el programa (Cameron *et al.* 2011). Aspectos académicos, ubicación, finanzas y asuntos personales fueron citados por los estudiantes, como factores que les hizo pensar en abandonar el programa de Enfermería (Bowden, 2008).

Las razones para el abandono son multifactoriales, que corresponden a problemas identificados, como personales, carga financiera, angustia emocional, dificultad de afrontamiento, dificultades académicas, problemas de ubicación laboral y toma de decisión equivocada con la carrera, (Glogowska *et al.* 2007).

Este estudio buscaba identificar los factores que determinaron la deserción de los estudiantes del Programa de Enfer-

mería de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

MATERIALES Y MÉTODOS

Es un estudio descriptivo con abordaje cuantitativo retrospectivo y los datos se recolectaron del Sistema de Información de la Universidad, a través del Departamento de Planeación, del Sistema de Admisiones y Registro Académico y de la Facultad de Enfermería. La población estuvo conformada por 144 estudiantes desertores del programa de cinco cohortes: 364 estudiantes, entre el 2009, 2010 y primer semestre de 2011. En cada cohorte, se tuvo en cuenta el número total de estudiantes matriculados, haciendo el seguimiento durante los siguientes periodos académicos, hasta el primer semestre de 2011, para identificar el número de estudiantes que permanecían y determinar el número total de desertores, por cohorte.

Para la recolección de la información, se utilizó el Instrumento diseñado por el Programa de Acompañamiento de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, con 33 ítems; las variables consideradas fueron de tipo individual y personal, que incluían: sexo, edad de ingreso, ciudad, departamento de origen, tipo de colegio, orientación vocacional, periodo académico de ingreso y retiro; variables socio-económicas: estado civil, personas quienes financiaron estudios y su actividad económica, forma de pago de la matrícula, educación del padre y la madre, becas y ayudas de manutención, si trabajó durante el periodo de estudios; variables académicas, como: causas que influyeron en la toma de decisión de abandonar el programa, dificultades de permanencia, búsqueda de apoyo antes de abandonar el programa, estudios posteriores a abandonar el programa, cuántos semestres cursó antes de desertar y actividad a la que se dedica en la actualidad. El instrumento fue adaptado por los investigadores, previa autorización de los autores, para su utilización y modificación. El estudio recibió el aval del comité de ética Institucional, como requisito en convocatoria interna; prevalece en el estudio, el respeto a la dignidad y la protección de los derechos expresado en el consentimiento informado y escrito del sujeto de investigación.

Se empleó muestreo no probabilístico de tipo intencional, con una muestra de 59 participantes. Dentro de las características socio-demográficas y culturales de los desertores de la Facultad de Enfermería de la U.D.C.A para (n=59) según género, el 86% fueron mujeres y 14% hombres.

Para la identificación de los desertores, se inició seguimiento a cada grupo de estudiantes matriculados en cada cohorte, contrastando los datos con la información reportada por el Sistema de Admisiones y Registro Académico –SARA-, Departamento de Planeación y la Facultad de Enfermería.

Para la obtención de la información, se solicitaron los permisos institucionales a los departamentos responsables. Se emplearon diferentes medios para ubicar y aplicar el instrumento a los estudiantes que desertaron: el 38,9%, a través de visitas domiciliarias; 22%, por redes sociales; 20%, por intermedio de compañeros y, el 18,6%, telefónicamente.

Se creó la base de datos en Excel, se tomaron las diferentes tipo de variables del instrumento, a nivel individual, personal socio-económicas y académicas, se generaron categorías y se tabularon en la base; posteriormente, se transportó al programa SPSS versión 19.0 y se hizo un análisis con estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra las causas de deserción agrupadas por semejanzas. Una característica particular de los programas de enfermería del país es que las mujeres son mayoría dentro de la profesión (Sanabria, 2002). En diferentes instituciones de educación predomina la deserción del género femenino para el área ciencias de la salud (Yepes *et al.* 2007; Carvajal Olaya *et al.* 2006; Mateus Rodríguez *et al.* 2011).

Nigenda *et al.* (2006), en estudio realizado en México, muestra que la Licenciatura en Enfermería continúa siendo una ocupación altamente feminizada, a pesar del incremento de la presencia de hombres. Aunque el número de hombres en la enfermería están aumentando, permanecen minoritariamente representados (6%) (Jeffreys, 2010).

La tabla 2 resume los factores relevantes, encontrados en este estudio, relacionados con la deserción de estudiante de Enfermería de la U.D.C.A.

Las edades que predominan en el programa de Enfermería de la U.D.C.A son de 16 a 20 años, datos similares con otras Universidades, como la del Cauca, en Popayán y la Tecnológica de Pereira (Chávez *et al.* 2002; Carvajal Olaya *et al.* 2006; Restrepo, 2010). La edad del estudiante determina el nivel de madurez y la claridad frente a lo que se quiere estudiar. La mayoría de estudiantes son adolescentes, etapa, en la cual, no se tiene orientación sobre la profesión que se quiere estudiar. Este comportamiento no se da en los estudiantes de Enfermería maduros o mayores, quienes tienen tendencia a terminar más que los jóvenes (Prymachuk *et al.* 2009).

En cuanto al tipo de colegio donde terminaron los estudios de básica secundaria, el 52,5% proviene de colegios privados, calendario A; un 45,8%, de colegios públicos y solamente un 1,7%, de instituciones privadas, calendario B. Según el Sistema para la Prevención de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior (MEN, 2008), el 59% de los estudiantes

Tabla 1. Causas de deserción comparativa de diferentes Universidades.

INSTITUCIÓN	VARIABLE							
	Género (femenino)	Edad	Tipo de colegio (público)	Estado civil (soltero)	Factores económicos	Factores académicos	Periodos académicos cursados por desertores	Condición académica después de desertar
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A n= 59	86%	16-20 años 49%	45,8%	76%	28,8%	22%	50,9% 1 periodo académico	62,7 Actividades laborales
UNIVERSIDAD DEL CAUCA n=202	56,4%	15-19 años 75,7%	65,8%	95,5%	66,7%	33,3	64,3% 3 periodos académicos	_____
UNIVERSIDAD ANTIOQUIA n= 50	59%	20-23 años 68,9%	41,2%	76,5%	Cuarto lugar Motivos económicos	41% Buen rendimiento	29,4% 4 periodos académicos	77,8 Deseo de trabajo
UNIVERSIDAD LOS LLANOS n= 500	41%	22-24 años 44%	62%	_____	26%	47,8%	1-3 periodos académicos	51,2% Estudiando
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA PEREIRA n= 58	55%	18-19 años 39,7	66%	93%	20,7%	8,6 %	81% 1-2 periodos académicos	_____
UNIVERSIDAD LIBRE PEREIRA n= 36	83,3%	≥ 20 años 65,7%	72%	86%	48,2%	_____	27,8% 1-2 periodos académicos	_____
UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA n=20	65%	16-32	_____	90%	35%	65%	75% 1-3 periodos académicos	_____

Tabla 2. Factores relevantes relacionados con la deserción universitaria U.D.C.A. n=59.

Variable	n	%
Género		
Hombre	8	14
Mujer	51	86
Edad del desertor		
16-20 años	29	49
21-25 años	22	37
Mayor a 26 años	8	13,6
Colegio de donde provienen		
Privado calendario A	31	52,5
Públicos	27	45,8
Privado calendario B	1	1,7
Estado civil		
Solteros	45	76
Unión Libre	10	16,9
Casados	4	6,8
Factores por los que desertaron		
Económico	17	28,8
Académico	13	22
La unión de dos factores (económicos y académicos)	9	15,3
Falta de orientación vocacional	7	11,9
Dependencia económica del desertor		
De la madre	23	39
De la madre y el padre	15	25
Recursos propios	13	22
Solamente del padre	3	5
Actividad económica de las personas que financiaban estudios de los desertores		
Empleados	42	71
Independientes	13	22
Pensionados	4	6,8
Semestres cursados		
Un semestre	30	50,9
Dos semestres	14	22,8
Tres semestres	10	17,5
Cuatro semestres	1	1,7

desertores provienen de instituciones de educación privadas y, el 41%, de públicas. En Universidades con programas de Enfermería, como la Universidad Libre de Pereira, el 58,8% de los estudiantes procedían de instituciones privadas (Restrepo, 2010); para la Universidad del Cauca, el 65,8% de colegios públicos (Chávez *et al.* 2002) y para la Universidad Tecnológica de Pereira, el 66% de los estudiantes de Ciencias de la Salud, de colegio público (Carvajal Olaya *et al.* 2006).

Los estudiantes provienen del sector privado y público para las diferentes Universidades. El nivel socio-económico y el capital cultural de las familias son los principales factores que explican las diferencias de rendimiento, tanto entre los estudiantes como entre los establecimientos. Los alumnos con dificultades financieras, con menor capital social y quizá con una educación de menor calidad, ingresan, finalmente, a planteles de baja selectividad y tienen un riesgo más alto de desertar del sistema (Saldaña & Barriga, 2010). El ingreso a la Universidad está mediado por una prueba de selección; los planteles de calidad siempre tienen mayor demanda, por lo que serán los que capten a los mejores alumnos, convirtiéndose, potencialmente, en un factor de riesgo para la deserción (Saldaña & Barriga, 2010).

La soltería, estado civil predominante en los desertores de la U.D.C.A, corresponde con otras Universidades, como la del Cauca, con el 95,5% (Chávez *et al.* 2002); 93%, en la Universidad Tecnológica de Pereira (Carvajal Olaya *et al.* 2006); 86%, en la Universidad Libre de Pereira (Restrepo, 2010) y en la Universidad de Antioquia, 76,5% (Yepes *et al.* 2007). El estado civil es una variable que se relaciona con la edad, teniendo en cuenta que la mayoría son jóvenes y en su proyecto de vida no está contemplado el casarse; la mayoría de los estudiantes quienes ingresaron solteros mantuvieron este estado al desertar.

En cuanto a los factores económicos, el 39% de los desertores dependían económicamente de la madre; el 25%, del padre y la madre; es importante resaltar que el 22% de los desertores asumió los costos de su formación con recursos propios; el 5% dependía únicamente del padre; el 5% dependía de recursos subsidiados por la madre y el 3,4%, se apoyaba económicamente de otro familiar. Los estudios revisados muestran que esta situación cambia dependiendo de la institución, pero se mantiene el patrón de dependencia de los padres. Las condiciones económicas de la familia son determinantes y facilitan a los estudiantes permanecer en un programa. Si se afecta económicamente la familia, se verá afectado el estudiante para continuar vinculado a la Universidad, si no cuenta con recursos económicos disponibles, para los gastos que exige la carrera.

La actividad económica de las personas quienes financiaban a los estudiantes de la U.D.C.A, el 71% eran empleados; el

22%, independientes y el 6,8%, pensionados, situación que determina la manera como pagan el semestre: el 62,7%, lo hace en efectivo; el 23,7%, a través de crédito bancario; el 8,5%, por crédito ICETEX y el 5%, emplean la modalidad de cheques.

El nivel socio-económico —tener un empleo o ingresos fijos por diferentes actividades—, permite a las familias apoyar a los estudiantes para realizar los pagos requeridos y mantener la vinculación del estudiante en la Universidad. Es evidente que el acceso a créditos es mínimo. La garantía del pago, se relaciona con la vinculación laboral y el ingreso mensual de las personas, quienes asumen la responsabilidad económica del estudiante. Las Instituciones de Educación Superior deben considerar que los estudiantes requieren de mayor apoyo económico y deben ampliar la oferta y el acceso a créditos educativos, para evitar el abandono.

El nivel educativo de las madres de los desertores de enfermería es superior a la de los padres, pues el 33,9% de las mujeres poseían un nivel de formación universitaria, frente a un 20,7%, en los hombres; sin embargo, los padres presentan un mayor nivel de formación en la básica secundaria, con un 46,6%, frente a un 30,5%, para las madres. Los datos para la U.D.C.A y los datos presentados con el programa de Enfermería en la Universidad Libre de Pereira muestran diferencias significativas, donde el 25% las madres de los estudiantes desertores poseían formación universitaria completa, frente a un 8,6%, en los hombres (Restrepo, 2010).

El nivel de educación de los padres es una variable que influye en los factores que determinan la deserción, especialmente, el de la madre, en razón que a mayor nivel de educación de los padres, se presenta una menor deserción. Según los datos presentados por el Sistema para la Prevención de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior-SPADIES- describen que los estudiantes desertores pertenecen, en mayor porcentaje, a familias que han alcanzado un nivel de formación de básica primaria en un 30,7% y, en menor porcentaje, a quienes han alcanzado un nivel de superior completo o postgrado, con un 20% (MEN, 2009).

Con relación al interrogante si los estudiantes desertores trabajaban o no, el estudio mostró que el 23,7%, lo hacían durante la época de estudios, con el fin de obtener de recursos de sostenimiento y pago de matrícula; el 76%, no trabajaba. Carvajal Olaya *et al.* (2006) y Restrepo (2010) reportan que el 76% de los estudiantes desertores no trabajaban durante el tiempo que estuvieron vinculados a la Universidad y el 28%, sí lo hacía.

La condición de ser trabajadores durante la época de estudios no es una causa exclusiva de la deserción, pero influye, como se menciona en la investigación del Ministerio de Edu-

cación y Centro de Estudios sobre el Desarrollo Económico (MEN, 2008), si se tiene en cuenta que los ingresos económicos familiares afectan o inciden en la decisión de desertar. El estudio muestra que los problemas de escasos o mínimos recursos, también se trasladan a la educación superior y obligan a los estudiantes a abandonar el sistema educativo, en búsqueda de ingresos adicionales para el hogar.

Lo referido por los desertores, en cuanto a la orientación vocacional, el 67,8% la recibió, mientras que el 32,2%, no tuvo acceso a ella. A pesar que la mayoría de los estudiantes quienes desertaron recibió orientación vocacional, la razón de deserción está articulada con la situación económica y académica. Es importante tener en cuenta que en Colombia, los menores niveles de deserción se dan en las programas de ciencias de la salud y se relaciona con factores disciplinares, pedagógicos y vocacionales importantes, que entran en juego durante el trayecto académico (MEN, 2010); no obstante, para los programas de Enfermería es un fenómeno real y, sobre el cual, se debe reflexionar, en cuanto al número de candidatos que cumplen con el perfil, los mecanismos de selección para disminuir el riesgo de deserción, cómo influyen los procesos académicos en la decisión de desertar y el acompañamiento a los estudiante, durante su proceso de formación.

Las causas de deserción para Enfermería están asociadas con factores económicos, en un 28,8%; académicos, 22%; la unión de los factores económicos y académicos, con un 15%; la falta de orientación vocacional, 11,9%; las situaciones de salud, como enfermedad o el embarazo, corresponden al 6,8% y el no adaptarse al ambiente universitario, un 7,1%; también se registran otros factores, como el cambio de lugar de residencia a otra ciudad, con un 5%; los familiares, el 1,7% y la unión de tres factores, como los económicos, académicos y familiares, presenta el 1,7%. Múltiples factores coadyuvan en la decisión de desertar de los programas.

Las investigaciones revisadas en diferentes instituciones presentan las causas de deserción en orden de prioridad y cambian de acuerdo a la metodología utilizada, por lo tanto, es difícil comparar los resultados de deserción entre las instituciones, por las particularidades de las mismas.

Para la Universidad de San Buenaventura, el 65% de los participantes abandonó su formación profesional por diversas razones, como: problemas de salud, traslado de país, inconformidad con el pensum, vivir fuera de Bogotá, inseguridad de asumir la carrera, incompatibilidad del horario de estudio con el horario de trabajo y embarazo. El 35%, por dificultades económicas, que motivaron el retiro de la Universidad (Mateus Rodríguez *et al.* 2011).

El factor académico, para los estudiantes de la U.D.C.A, ocupan el segundo lugar, con un 22%, mientras que en la Uni-

versidad de los Llanos es la principal causa, con un 47,8% (Malagón Escobar *et al.* 2007). En la Universidad del Cauca esta causa refleja una diferencia notoria en la deserción; se muestra el factor principal bajo rendimiento, discriminado por género, 66,7%, en mujeres y, en hombres, 33% (Chávez *et al.* 2002). En relación con el promedio académico de los desertores, el 39% de las mujeres obtuvo un promedio en el rango de 3,1 a 4,0; el 33%, de 2,1 a 3,0; el 15,7%, de 0,0 a 1,0 y, el 2%, entre 1,1 a 2,0. Para los hombres desertores, el 37% obtuvo un promedio académico, en el rango de 2,1 a 3,0; el 25%, promedios entre 1,1 a 2,0 y, el 12%, un promedio académico entre de 0,0 a 1,0. Las mujeres tenían un promedio académico más alto, comparativamente con los hombres, lo que refleja que la situación académica puede ser recuperable y que las causas que determinaron la salida están relacionadas con otros factores, como las económicas, las personales o las socio-culturales.

Existe evidencia que los varones son más propensos a renunciar a los programas de Enfermería y Partería (Stott, 2004), probablemente, asociado al predominio femenino de la profesión.

En cuanto al número de periodos académicos cursados por los estudiantes quienes abandonaron el programa, se identificó que el 50,9%, cursó un periodo académico; el 22,8%, dos periodos; el 17,5%, tres; el 7% cursó cinco periodos académicos y, el 1,8%, cuatro periodos. Los datos coinciden con los presentados en la Universidad Libre de Pereira, con el programa de Enfermería, en donde la deserción ocurrió durante los primeros semestres de la carrera, siendo la mayor proporción en primero, con 27,8% y, segundo semestre académico, con 16,7%; el 2,8%, en el último (Restrepo, 2010).

El MEN y el Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) de la Universidad de Los Andes, en un estudio de seguimiento, con participación de 70 instituciones de educación superior, en el periodo 1998-2005, encontró que la tasa de deserción más alta, con un 23,5%, ocurrió en el paso entre el primero y el segundo semestre, lo cual, equivale a que, aproximadamente, uno de cada cuatro estudiantes abandona sus estudios al iniciar el primer año de su programa académico. Al finalizar el cuarto semestre, la tasa de deserción acumulada fue de 39%, es decir, del 100% de los estudiantes que iniciaron, solamente el 61% continuaba sus estudios en el quinto semestre (MEN, 2008). Los estudios de deserción muestran que en la medida que el estudiante avanza en su proceso de formación disminuye la probabilidad de abandonar el programa, de mejorar el rendimiento académico, de adaptarse y vincularse a los procesos de acompañamiento y a la vida universitaria. En estudio realizado en Costa Rica sobre deserción universitaria con relación al momento en que ocurre la deserción, el mayor número se sitúa en el primer año de estancia universitaria (Abarca Rodríguez & Sánchez Vindas, 2005), comportamiento similar para Colombia.

A la pregunta de si busco ayuda antes de desertar, la mayoría de los estudiantes de Enfermería, es decir, el 54,2%, respondió que no; el 45,8%, sí busca ayuda; el 15,3%, acudió a sus padres y el 19,2%, solicitó ayuda a dos o más personas. Esta situación es un indicador del apoyo que requieren los estudiantes con riesgo de deserción, de los programas de retención, apoyo de tutores que los acompañen y los orienten para buscar ayuda oportunamente.

Los resultados frente al interés de determinar la actividad luego de desertar del Programa de Enfermería en la U.D.C.A, identificó que el 37,3% realizó estudios en otros programas académicos, de carácter administrativo, como Contaduría, Ingeniería de Sistemas y Administración de Empresas, mientras que el 62,7%, no realizó estudios posteriores, dedicándose a actividades laborales y del hogar; el 8,5% continuó desarrollando actividades académicas en el programa académico de Enfermería en otra institución. En el estudio realizado en la Universidad de Ibagué, Rojas Betancur (2008) refiere, como resultado de la deserción, el 50,8%, se dedica a trabajar; el 42,4%, a estudiar; el 13,6%, estudian y trabaja simultáneamente y el 6,8%, se dedican a otras ocupaciones, como el hogar.

La mayoría de los estudiantes, quienes abandonan los estudios, se vinculan laboralmente; si han recibido apoyo de sus familias buscan obtener ingresos económicos, que les permite apoyar a la familia o para su propio sostenimiento. Es claro que no abandonan su interés por estudiar y persiguen nuevas oportunidades, para iniciar su formación. Pero reiniciar los procesos tiene implicaciones, como aumentar costos económicos y asumir el riesgo de abandonar, definitivamente, la idea de formarse. El gobierno y las instituciones de educación deben preocupar por mantener programas y sistemas de apoyo, que promuevan la permanencia de los estudiantes.

Los resultados obtenidos con relación a factores asociadas a la deserción corresponden con los revisados en la literatura; los económicos son la principal causa, seguidos de los factores académicos, que llevan a los estudiantes a abandonar sus estudios, antes de alcanzar el título.

El mayor porcentaje de deserción se da en los primeros semestres, especialmente, en el primer periodo académico; el número de desertores, se relaciona con el número de estudiantes matriculados: a mayor número de estudiantes matriculados mayor deserción. La mayoría de desertores corresponde a estudiantes solteros, de género femenino y con edades de 16 a 20 años. Los factores socio-culturales son otras variables que se tienen en cuenta, como el no adaptarse al ambiente universitario, el cambio de lugar de residencia a otra ciudad, la dedicación a los estudios y situaciones familiares, que generan deserción en una mínima proporción, según lo referido por los estudiantes.

Las Universidades deben evaluar el impacto que genera la deserción, desde el esfuerzo para los profesores que dedican trabajo y tiempo al acompañamiento y si no se logra culminar, representa una pérdida para la institución y para la profesión de potenciales enfermeras, quienes no tuvieron la oportunidad de recibir apoyo, para continuar su proceso de formación.

El estudio de deserción muestra que los aspectos económicos tienen un gran peso, por lo tanto, el gobierno y las Universidades se deben preocupar por buscar estrategias de financiación, que garanticen el ingreso y la permanencia de los estudiantes, en las Instituciones de Educación Superior.

Como recomendación es fundamental mantener políticas de retención estudiantil, que permita identificar a los estudiantes con mayor probabilidad de deserción y hacer seguimiento durante los cuatro primeros periodos académicos. Emplear estrategias para identificar potenciales factores de riesgo, como bajo rendimiento académico, adaptación al ambiente universitario y dificultades económicas.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en la modalidad de joven investigador.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABARCA RODRÍGUEZ, A.; SÁNCHEZ VINDAS, M.A. 2005. La deserción estudiantil en la educación superior: el caso de la Universidad de Costa Rica. Rev. Electrónica Act. Invest. Educ., vol. 5. Disponible desde Internet en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/447/44759911.pdf> (con acceso 09/12/2012).
2. BOWDEN, J. 2008. Why do nursing students who consider leaving stay on their courses? Nurse Res. (London). 15(3):45-58.
3. BRAVO CASTILLO, M.; MEJÍA GIRALDO, A. 2010. Los retos de la educación superior en Colombia: una reflexión sobre el fenómeno de la deserción universitaria. Rev. Ed. Ing. (Colombia). 1(10):85-98.
4. BRAXTON, J.M.; SHAW-SULLIVAN, A.; JOHNSON, R.M. 1997. Appraising Tinto's Theory of college students departure. En: Smart, J.C. (ed). Higher Education Handbook of Theory and Research. (12). Agathon Press. (United States). p.359-384.

5. CAMERON, J.; ROXBURGH, M.; TAYLOR, J.; LAUDER, W. 2011. An integrative literature review of student retention in programs of nursing and midwifery education: why do students stay? *J. Clinic. Nurs. (España)*. 20(9/10):1372-1382.
6. CARVAJAL OLAYA, P.; TREJOS CARPINTERO, A.A.; MEJÍA CORDOBES, J. 2006. Deserción estudiantil, Facultad de Ciencias de la Salud 2000 - 2004. Análisis de correspondencias múltiples. *Rev. Médica de Risaralda*. 12(2):30-42.
7. CHÁVEZ G., M.; ORTIZ DE COLLAZOS, O.; TORRES, C.I. 2002. Deserción estudiantil en Enfermería: "una mirada holística y una propuesta de intervención". Universidad del Cauca. 72p.
8. DÍAZ PERALTA, C. 2008. Modelo conceptual para la deserción estudiantil universitaria chilena. *Rev. Est. Pedag. (Chile)*. 34(2):65-86.
9. DURKHEIM, E. 1951. *Suicide*. Ed. Free Press (New York). 450p.
10. FISHBEIN, M.; AJZEN, I. 1975. Attitudes toward objects as predictors of simple and multiple behavioral: An introduction to theory and Research Ed. Addison-Wesley, Reading, MA. (EEUU). 573p.
11. GONZÁLEZ F, L.E. 2005. Repitencia y deserción en América Latina. Informe Sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe. Unesco lesalc_boletin@unesco.org.ve (Chile): 156-168. Disponible desde Internet en: <http://www.iesalc.unesco.org.ve/dmdocuments/biblioteca/libros/InformeES-2000-2005.pdf> (con acceso 20/06/2012).
12. GLOGOWSKA, M.; YOUNG, P.; LOCKYER, L. 2007. Should I go or should I stay? A study of factors influencing students' decisions on early leaving. *Act. Learn. Higher Educ. (UK)*. 8(1):63-77.
13. HIMMEL, E. 2002. Modelos de análisis de la deserción estudiantil en la educación superior. Retención y movilidad estudiantil. *Rev. Calidad Edu. Consejo Nal. Ed. (Chile)*. 17(2):91-108.
14. JEFFREYS, M.R. 2010. Nursing student. Retent understanding the process and making a difference. Ed. Springer Publ. Co. (N. Y.) 351p.
15. JEFFREYS, M.R. 2007. Tracking students through program entry, progression, graduation and licensure: assessing undergraduate nursing student retention and success. *Nurse Educ. Today. (UK)*. 27:406-419.
16. NIGENDA, G.; RUIZ, J.A.; ROSALES, Y.; BEJARANO, R. 2006. Enfermeras con licenciatura en México: estimación de los niveles de deserción escolar y desperdicio laboral. *Rev. Salud Públ. Méx.* 48(1):22-29.
17. MALAGÓN ESCOBAR, L.M.; SOTO HERNÁNDEZ, E.L.; ESLAVA MOCHA, P.R. 2007. Deserción la universidad de los Llanos (1998-2004). *Rev. Orinoquia. (Colombia)*. 11(1):23-40.
18. MATEUS RODRÍGUEZ, M.J.; HERRERA HERNÁNDEZ, C.; PERILLA SUÁREZ, C.; PARRA QUECÁN, G.; VERA MALDONADO, A. 2011. Factores presentes en la deserción universitaria en la Facultad de Psicología de la Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá en el periodo comprendido entre 1998-2009. *Rev. Psychol.: Avances Disciplina. (Colombia)*. 5(1):121-133.
19. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN). 2010. Educación superior ingreso, permanencia y graduación. p.1-20. Disponible desde Internet en: http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_boletin_14.pdf (con acceso 15/08/2012).
20. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN). 2009. Deserción estudiantil en la educación superior Colombiana. Metodología de seguimiento diagnóstico y elementos para su prevención. 158p. Disponible desde Internet en: http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_libro_desercion.pdf (con acceso 15/08/2012).
21. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (MEN). 2008. Análisis de determinantes de la deserción en la Educación Superior Colombiana. Con Base en SPADIES. 96p Disponible desde Internet en: http://www.mineduacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/articles-254702_libro_desercion.pdf (con acceso 15/08/2012).
22. PRYJMACHUK, S.; EASTON, K.; LITTLEWOOD, A. 2009. Nurse education: factors associated with attrition. *J. Adv. Nurs. (UK)*. 65(1):149-160.
23. RESTREPO V, A. 2010. Factores relacionados con la deserción estudiantil en el programa de enfermería de la Universidad Libre de Pereira. *Cultura del cuidado enfermería. (Colombia)*. 7(2):1-10.
24. ROJAS BETANCUR, M.; GONZÁLEZ, D.C. 2008. Deser-

- ción estudiantil en la Universidad de Ibagué, Colombia: una lectura histórica en perspectiva cuantitativa. Zona próxima 1(9):70-83. Disponible desde Internet en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=85312286006>. ISSN 1657-2416 (con acceso 27/03/2011).
25. ROJAS BETANCUR, M. 2008. La deserción estudiantil en la Universidad de Ibagué: la perspectiva de los "desertores". Rev. Virtual U. Católica del Norte (Colombia). 25(1):1-17.
26. SALDAÑA, V.; BARRIGA, O. 2010. Adaptación del modelo de deserción universitaria de Tinto a la universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. Rev. Cienc. Soc. (Colombia) 16(4):616-628.
27. SANABRIA, H. 2002. Deserción en estudiantes de enfermería en cuatro universidades del Perú. Anal. Fac. Med. (Peru). 63(4):301-311.
28. SISTEMA PARA LA PREVENCIÓN DE LA DESERCIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR (SPADIES). 2005. Disponible desde Internet en:<http://www.mineducacion.gov.co/sistemasdeinformacion/1735/w3-article-212299.html> (con acceso 30/04/2012).
29. SPADY, W. 1970. Dropouts from higher education: An interdisciplinary review and synthesis. Interchange. 19(1):109-121.
30. STOTT, A. 2004. Issues in the socialization process of the male student nurse: implications for retention in undergraduate nursing courses. Nurse Educ. Today. (UK). 24 (2):91-97.
31. TINTO, V. 1989. Definir la deserción: una cuestión de perspectiva. Rev. Ed. Superior (México). 71:33-51.
32. UNESCO/IESALC Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencias y la Cultura /Instituto Internacional Para La Educación Superior en América Latina y el Caribe. 2006. Informe sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe 2000-2005 Talca Repitencia y deserción universitaria en América Latina. p.156-168.
33. YEPES, F.L.; BELTRAN SALAZAR, M.; ARRIBLA, J.; MARIN, L.M.; MARTÍNEZ, M.; TOBON, C.; HOYOS, A.M. 2007. Factores causales de la deserción estudiantil en el pregrado de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia de 1997 a 2004. Rev. Fac. Odontol. (Colombia). 19(1):35-48.

Recibido: Noviembre 8 de 2012

Aceptado: Septiembre 3 de 2013

Como citar:

Piratoba H., B.N.; Barbosa Ch., O.O. 2013. Factores de deserción de los estudiantes en la facultad de enfermería de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, durante el periodo: 2009-2010-I 2011. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 553-562.

MODELO DEL PROCESO DE LOGÍSTICA EXTERNA DE LAS EMPRESAS LOCALIZADAS EN EL MUNICIPIO DE FUNZA – CUNDINAMARCA

EXTERNAL LOGISTICS PROCESS MODEL FOR COMMERCE COMPANIES OF THE MUNICIPALITY OF FUNZA – CUNDINAMARCA

Jairo Vásquez Bernal¹; Pedro Layton²

¹ Mercadotecnista, Esp Gestión Social y Ambiental. Docente Investigador. Facultad Ing. Comercial, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A; actualmente Corporación Tecnológica de Bogotá. Centro de desarrollo Empresarial, jairovasquez@ctb.edu.co; ² Ing. Comercial. Especialista en Finanzas. Docente Investigador, Facultad Ing. Comercial, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A; pilaytonc@hotmail.com; dirección para correspondencia: Calle 56 No 17-15. Bogotá – Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 16(2): 563-570, Julio-Diciembre, 2013

RESUMEN

La logística externa, como actividad empresarial, permite la administración de manera eficiente de los recursos, porque optimiza los procesos, reduce el gasto y aumenta la productividad. En su génesis, la logística solamente la aplicaban las fuerzas militares; actualmente, hace parte de los procesos comerciales, ya que se utiliza como herramienta fundamental para la operación y manejo de productos. El municipio de Funza es destacado en Cundinamarca por su dinámica comercial; sin embargo, no se ha estudiado el proceso particular de logística externa, de manera que se pueda contar con datos para mejorar el proceso logístico, por esto, se realizó, en primera instancia, una revisión bibliográfica y, posteriormente observaciones y entrevistas con informantes claves, a un grupo representativo de la población, muestra que se estableció por la distribución muestral de las medias y la selección de las unidades objeto de estudio, por el proceso de muestreo estratificado no proporcional. En este artículo, se presentan los resultados más relevantes de la investigación diagnóstica, en la que se destacan varios datos sobre el proceso de la logística externa en Funza. A partir de estos datos, se realizó un modelo que representa el proceso de la logística externa, fundamentado en modelos de regresión lineal simple y pruebas de correlación.

Palabras clave: Logística, transporte, proceso comercial, manejo de productos empresa.

SUMMARY

External logistics as a business activity allows managing resources efficiently by optimizing processes, reducing costs and increasing productivity. In its genesis logistics applied only to the military forces, now it is part of the business process, since it is used as an essential tool for the operation and management of products. Funza township is featured in Cundinamarca for its commercial dynamics, however, its particular external logistics process has not been studied, in order to dispose of the necessary data to improve the logistics process; therefore, in the first instance, a literature review was organized, followed by observations and key informant interviews with a representative population group, established by a sample distribution of the means and the selection of the units studied by the process of not proportional stratified sampling. This paper presents the most relevant results of the diagnostic research that highlights various data on the process of external logistics of the town of Funza. From these data, a model was accomplished that represents the external logistics process based on a simple linear regression and correlation tests model.

Key words: Logistics, transportation, business process management products, company.

INTRODUCCIÓN

El sistema comercial incluye una estructura para cumplir los objetivos estratégicos y operativos de la empresa, igualmente, permite el diseño y la definición de las estrategias comerciales, necesarias para construir ventajas competitivas o mejorar las comparativas. Como lo expresan López-Pinto *et al.* (2010), el sistema de comercialización contempla, por una parte, la demanda de los consumidores y, por otra, los productos o servicios que las empresas ponen a disposición del comprador o del mercado. También se aplica para hacer que los productos se ubiquen en el momento y lugar que los consumidores los deseen (Lamb *et al.* 2006).

La palabra logística, etimológicamente procede de la palabra griega *logist*, que se define como flujo de materiales y es en la actividad militar, donde empieza a aplicarse (Anaya, 2007). En las empresas, comienza a tener relevancia en la década del sesenta y es entendida como el conjunto de técnicas y medios destinados a gestionar el flujo de materiales y de información, con el objetivo principal de lograr la satisfacción de necesidades en bienes y servicios de un cliente o un mercado, en cantidad, en calidad, en lugar y en momento (Urzelai, 2006).

Soret Los Santos (2006) define logística, como la parte del proceso de gestión de la cadena de suministro encargada de planificar, de implementar y de controlar, de forma eficiente y efectiva, el almacenaje y el flujo directo e inverso de los bienes, servicios y toda la información relacionada con estos, entre el punto de origen y el punto de consumo o demanda, con el propósito de cumplir con las expectativas del consumidor.

Según Casanovas & Cuatrecasas (2012), en el proceso logístico, se planifica, se controla y se implementa, de manera eficiente y eficaz, el flujo y el almacenamiento de materia prima, de productos en proceso y de productos terminados, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, a fin de satisfacer las necesidades de los clientes.

Precisamente, la diversidad de actividades que integran la logística y la operación de las mismas, ha acuñado otros elementos, como el transporte, el almacenamiento y los sistemas de información, que pareciera fraccionan el proceso general en otros subprocesos, pero, a su vez, son entendidos como un todo. Esta particularidad ha hecho que la logística, en la actualidad, se entienda como un proceso integral, en donde las actividades externas e internas, se estudian de manera particular, no importa que las mismas exijan relacionarse e, incluso, integrarse en su operación.

Para Urzelai (2006), la logística externa relaciona los cambios tecnológicos, la calidad de la competencia y la diversificación

de los mercados. Afirma, igualmente, que la logística está llamada a tener un papel central en el seno de las empresas y en los circuitos físicos de los productos, porque controla hasta el 30% de los costos de la empresa.

Como lo sugiere Peris (2006), el problema al que se enfrentan muchas empresas es que no mueven suficiente volumen de productos y de materias primas, como para garantizar transportes rentables en el momento requerido por los empresarios, clientes o consumidores, los que les exigen entregas en lotes muy pequeños, con una gran frecuencia; la solución es integrar con otros operadores, pequeñas cargas para completar un tráiler y rentabilizar el transporte de larga distancia, función de la logística externa.

Esto hace que, cada día, sea necesario acudir a herramientas tecnológicas especializadas, para prospectar en escenarios diversos, diferentes alternativas y acercarse a un suceso con menos incertidumbre (Piera *et al.* 2006). Las técnicas de simulación, se emplean para predecir el comportamiento de sistemas complejos y para comprender los impactos del cambio; permiten diagnosticar el sistema antes de ser construido; reducen el riesgo y el tiempo necesario de puesta en marcha o modificación de un sistema, como el relacionado con la logística, en el municipio de Funza.

Funza está ubicada en la provincia de sabana de Occidente, a 15km de la ciudad de Bogotá. Limita al Norte, con los municipios de Madrid y de Tenjo; al Oriente, con los municipios de Cota y Bogotá, D.C.; al Sur, con el municipio de Mosquera y al Occidente, con el municipio de Madrid. Tiene una extensión urbana de 4km² y una extensión rural de 66km², para un total de 70km². La superficie del municipio es plana, presentando las características típicas de la altiplanicie cundinamarquesa.

La base económica del municipio de Funza está conformada por el comercio y, especialmente, por las industrias manufactureras, cuya cantidad aumenta constantemente, debido al cambio en el uso del suelo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial -POT-, a los bajos impuestos y bajos costos de los servicios públicos y, adicionalmente, por su ubicación estratégica, cerca a la capital del país, que posibilita la entrada y la salida de mercancías desde y hacia la mayoría del territorio Colombiano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consultaron fuentes de información primaria y secundaria, que permitieron identificar las características de las empresas del municipio de Funza, en cuanto a su actividad económica, perfil, tipo de organización y el manejo de los procesos de logística externa. En la revisión bibliográfica especializada,

se encontraron informes sobre logística, elaborados por empresas e instituciones del orden nacional y municipal.

La investigación es descriptiva y analítica, ya que comprende el registro, el análisis y la interpretación de la naturaleza de los fenómenos (Tamayo, 2005), presenta la situación conceptual de los procesos empresariales y de las características de los sistemas de distribución y logística empleados. Es analítica, porque se proponen constructos teóricos, a partir de la abstracción de los elementos y variables del sistema logístico, para diseñar y reformular procesos (Obradors, 2007).

El modelo de logística externa que se plantea relaciona las variables identificadas en el proceso logística que actualmente opera y el impacto de las mismas, en la permanencia de los automotores en el área urbana del municipio y en los parques empresariales, como capacidad de prever el futuro (Petri & Gorven, 2006).

La obtención de la información primaria, se realizó a través de una muestra representativa de la población, la cual, se halló por la distribución muestral de las medias (Mas, 2010; Grande & Abascal, 2009; Mcdaniel, 2007; Jany, 2005), cuya fórmula es:

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2 N}{E^2 (N-1) + \sigma^2 Z^2}$$

n = Tamaño de la muestra

σ^2 = Varianza muestral

E = Error

Z = Intervalo de confianza

N = Tamaño de la población

La población es de 105 empresas, la desviación estándar poblacional de 6,3832667, la media de la población es de 6,5625, la media de una muestra 4,375, el error es de 2,1875, el intervalo de confianza 1,96. Con estos datos, se aplicó la fórmula para población finita, lo cual, da como resultado que las unidades empresariales para el estudio sean de 26 empresas.

Por las características de ubicación de las empresas en diferentes parques industriales, se hizo un muestreo estratificado, con base en la varianza estimada dada por el promedio de parques industriales así: pequeños, hasta 5 empresas; medianos, hasta 11 y grandes, más de 12.

La obtención de información primaria de la logística externa, se realizó por muestreo estratificado no proporcional (Grande & Abascal, 2009; Anderson *et al.* 2008; Zilmund, 2008; Marshall, 1999), mediante la técnica de observación en ocho puntos estratégicos, de los cuales, seis corresponden a los siguientes parques industriales: Argelia, El Hato, Galicia, San Antonio, La cofradía y San Carlos y dos áreas de empresas independientes: El Hato y km 9.

El estudio permitió la caracterización de las empresas y del proceso de logística de las organizaciones que funcionan en la zona industrial del municipio de Funza; igualmente, ayudó a establecer los elementos de la operación logística, que se requiere para la adopción del modelo.

El análisis y la interpretación de la información, se desarrolló con los resultados de la tabulación; se construyeron las tablas y las figuras; se establecieron sus interacciones, de tal forma que permitieron identificar las propiedades y el funcionamiento de la logística externa de las empresas localizadas en el municipio de Funza, para finalmente, proponer la estructura del modelo de logística externa, adecuado a la situación de manejo de mercancías.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El conocimiento de la logística externa es importante, por el impacto económico, social y de movilidad, especialmente, en áreas con alto desarrollo, como la que se presenta en el municipio de Funza - Cundinamarca. El resultado, partiendo del análisis de la información recopilada, es el siguiente:

En el municipio de Funza funcionan 13 parques industriales, que aglutinan el 65,71% de las empresas; el 34,29% restante, se ubica en tres áreas independientes. Según el sector económico donde desarrollan su actividad, el 53,33% de las empresas ofrecen servicios; el 42,86% realizan actividades de manufactura y el restante 3,81%, se dedica a realizar actividades del sector agropecuario.

En las empresas prestadoras de servicios, se encontraron 17 categorías diferentes. El 37,50% ofrecen servicios de logística y transporte; el 10,71%, en comercio de materias primas; el 8,93%, comercializan productos para ferreterías; el 5,93%, distribuye productos y alimentos para el hogar, es importante indicar que se hallan bodegas de almacenes Éxito, Carrefour y Coratiendas; también con el 5,93%, se evidenciaron empresas que ofrecen servicios petroleros y, en menor porcentaje, se encuentran empresas que comercializan productos de aseo personal, vestuario, electrodomésticos, artes gráficas y de productos farmacéuticos.

En empresas manufactureras, se encontraron doce categorías, dentro de las cuales, se destacan las transformadoras de plásticos y sus derivados, en un 19,75%, empresas de alimentos, como Fryto Lay®, Big Cola®, Colanta® y Rica Fruta®, para un 13,04%; con el 10,87%, las fábricas de empaques y de envases; con el mismo porcentaje, las materias primas y de implementos para la construcción; finalmente, con menores porcentajes, fábricas de maquinaria, aseo, autopartes, de cosméticos y farmacéuticos. Del sector agropecuario, se registran cuatro fábricas dedicadas a la

producción de alimentos concentrados para animales y de insumos para los cultivos de la región.

En el municipio de Funza, se encuentran empresas de todos los sectores económicos, las de servicios son más de la mitad, pero de estas, la mayoría se relacionan con el servicio de manejo físico de los productos, ya que por su cercanía con Bogotá, facilitan la entrada y la salida de mercancías, a menores costos y mayores espacios; también es importante indicar que hay multinacionales que fabrican, exportan e importan productos.

Los lugares de donde llegan las mercancías son diversos; se destacan: Barraquilla (10,85%), Cartagena (9,5%), Buenaventura (9,01%), Santa Marta (8,56%), Bogotá (8,44%), Cali (7,69%) Medellín (6,33%) y Villavicencio (5,88%). Con menores porcentajes, Cúcuta, Bucaramanga, Sogamoso, Pasto, Duitama, entre otros.

Es importante indicar que el transporte de carga es oneroso para la empresa, por el costo de los vehículos, los peajes y el valor de la gasolina; adicionalmente, el gasto que se genera por las operaciones de recibo y de despacho, la asignación de equipos y de personal, para llevar un control detallado de cada uno de los viajes realizados y, en general, cada uno de los procesos que exige la operación.

La logística externa impacta financieramente a la firma, pero adicionalmente, se genera mayor flujo vehicular al municipio, ocasionando problemas de movilidad, trancones por la demora en carga y descarga dentro del parque empresarial,

en razón que los espacios para parqueo dentro de los mismos son pequeños y no pueden albergar el total de vehículos que le ingresan, generando filas al lado de la vía.

Con relación a lo anterior, el estudio permitió establecer la frecuencia de entrada y de salida de vehículos por tamaño y por capacidad, durante los días hábiles de la semana, como se establece en la tabla 1. Se destaca que durante la semana, el martes se concentra la mayor cantidad de camiones y corresponde, principalmente, a las mercancías que llegan de los puertos y representa casi el doble del lunes y el viernes. También se resalta que los camiones de dos ejes son los que representan mayor porcentaje y en relación con las tractomulas, la que circula más por el municipio es la de cabezote de tres ejes, con semirremolque de tres ejes, principalmente, por la capacidad de carga.

Otra actividad del proceso de logística externa es el descargue de los camiones, cuyo resultado global para el área de observación es el siguiente: Descargar un camión en promedio demora 1,99 horas, con la participación directa de 2,68 personas en promedio. La tractomula de tres ejes es la que en promedio exige más tiempo 2,53 horas y mayor cantidad de personas descargando, 3,75; el que se descarga más rápido es el camión de dos ejes pequeños, 0,62 horas.

Cargar un automotor exige, en promedio, 2,51 horas, superior en 0,52 horas a la descarga; el tipo de camión que más requiere tiempo para la carga es la tractomula de tres ejes, 3,09 horas y el número de personas para desarrollar la actividad es de 3,75; el camión de dos ejes pequeño, se

Tabla 1. Análisis de correlación para la carga.

Correlaciones para carga					
	Tiempo carga	Personas carga	Número de ejes camión	Número de ejes del remolque	Centro
Tiempo carga	1	,596**	,266*	,508**	0,166
Personas carga	,596**	1	,249*	,646**	0,123
Número de ejes camión	,266*	,249*	1	0,087	0
Número de ejes del remolque	,508**	,646**	0,087	1	0
Centro	0,166	0,123	0	0	1
**La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).					
*La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).					

carga en menor tiempo, 1,05 horas y el número personas requerido es de 1,25.

El 9,39% de los despachos, se realiza para Bogotá, por su cercanía y también porque es uno de los centros de consumo más grandes del país; también, se envían mercancías a otros lugares, como Cartagena (8,59%), Cali (8,16%), Cúcuta (8,16%), Barranquilla (8,16%), Medellín (6,53%), Buenaventura (5,71%) y, en menores porcentajes, a las ciudades capitales y a municipios cercanos a Bogotá, como Cota, Chía, Mosquera, Madrid y Cajicá.

Al comparar el proceso de logística es importante destacar al municipio de Cota, en Cundinamarca, ya que es en donde se encuentran parques industriales como: Celta Trade Park, Los Nogales, Metropolitano, Parque Industrial Siberia, con empresas como Marcopolo, fábrica de buses articulados tipo Transmilenio, Yanbal®, Pat Primo®, Gerfar® y algunas empresas con infraestructura propia, como Colombina®, industrias sprint, Copidrogas, Siemens y Titán.

En el municipio de Mosquera, se encuentra parques industriales como: San Jorge, Montana, Puerto Vallarta, Porvenir y cuenta con muchas empresas importantes, como

Ramo, Purina, Finca, Harinas El lobo, Doria, Soya, Fósforos El Rey, entre otras. Y en el municipio de Madrid, se está construyendo una zona franca y tres parques industriales; se destacan las sedes de Colcerámica S.A. (empresa de la organización Corona), Café Águila Roja®, Ajoever®, Factoría del Vidrio Bellini®, Molinos Capri®, Facelec®, Triplex y Acemar®.

Al comparar el proceso de logística externa de las empresas localizadas en Funza, con otras empresas de otros municipios, se observa que en los municipios cercanos a Bogotá, también se concentran empresas de diferentes actividades, aunque en todos los desarrollos son diferentes. El proceso logístico de Funza es el de más impacto por la cercanía a la capital colombiana, ya que se puede entrar por la calle 80 y la calle 13 y por la facilidad de llegar al aeropuerto El Dorado de Bogotá.

La estructuración del modelo de logística externa, se realiza a través dos componentes principales, que son el tráfico y el tiempo de carga y descarga. El análisis del tráfico, se desarrolla utilizando los indicadores de intensidad, densidad y capacidad de la vía, los resultados de intensidad se presentan en la figura 1.

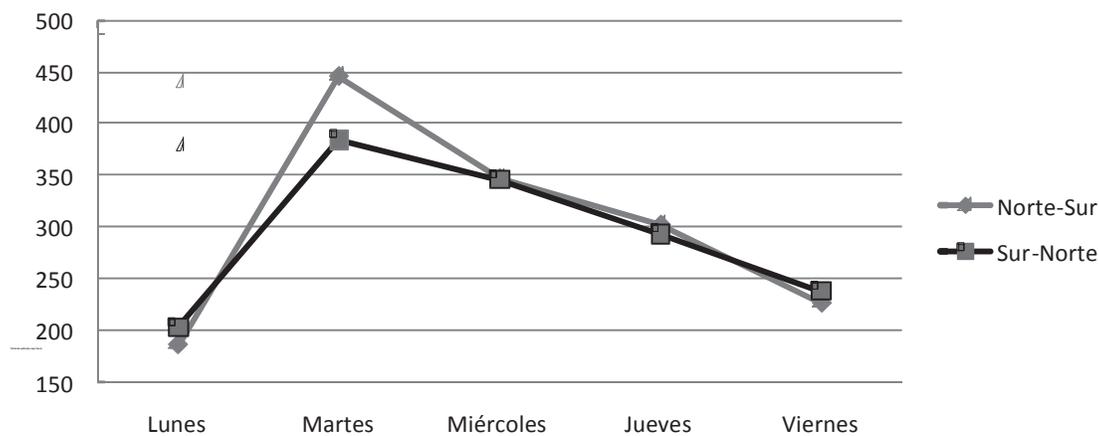


Figura 1. Intensidad de tráfico – hora.

Con base en los resultados, se determinó que la intensidad de tráfico es mayor el martes. En general, se encuentra que el flujo de camiones norte-sur es equivalente al sur-norte, a excepción del martes, que presenta un mayor tráfico de camiones en sentido norte-sur. Es importante indicar que la fórmula general para el cálculo de la densidad del tráfico es la siguiente:

$$\text{Densidad} = \text{Intensidad} / \text{Velocidad media}$$

Considerando la anterior ecuación y teniendo como base que la velocidad media de 60km/hora, se obtiene la siguiente densidad de tráfico 39,64 vehículos/hora. La densidad del tráfico es mayor en el sentido sur-norte, lo que significa una menor fluidez de los camiones; también es importante indicar que el martes tiene la mayor intensidad de tráfico, 55,37 vehículos/hora.

Respecto al análisis de los tiempos de carga y de descarga, se fundamenta en los modelos de regresión lineal simple

y validada con pruebas de correlación. A continuación, se presenta el resumen de las principales estadísticas.

Se encuentra que, en general, es mayor el tiempo de carga que el de descarga; sin embargo, el coeficiente de variación indica que es mucho más predecible el tiempo de carga (CV=38%) de que de descargue (CV=45%).

Del cálculo de los percentiles se resalta: El 25% de las cargas realizadas toma dos horas o menos, mientras que las descargas tardan una hora y media, en el 25% de los casos; es importante indicar que el tiempo medio de descargue es menor al de carga, por 30 minutos y el 90% de las cargas realizadas, se tardó entre una y tres horas y media, mientras el 90% de los descargues tomó tres horas, como se observa en la figura 2, Box-plot tiempo de carga y descarga.

La figura 2, Box-plot permite constatar las afirmaciones ya realizadas y como información relevante para el modelo de predicción del tiempo de carga y de descargue, se tiene que no se encuentran observaciones atípicas. Al observar las estadísticas descriptivas para las variables número de personas que se emplean en la carga y el número de personas que se emplean en el descargue, se encuentra que no presentan diferencias significativas, destacando que el 90% de las cargas las realizan cuatro personas, 75% de las cargas, tres personas y el 25%, dos personas.

El uso de Box-plot validó estas afirmaciones, además se estableció que el tiempo requerido para la carga de los camiones es superior al tiempo de descarga en 30 minutos promedio; el número de personas que se ocupa de la carga y la descarga de lo camiones es el mismo. En términos de

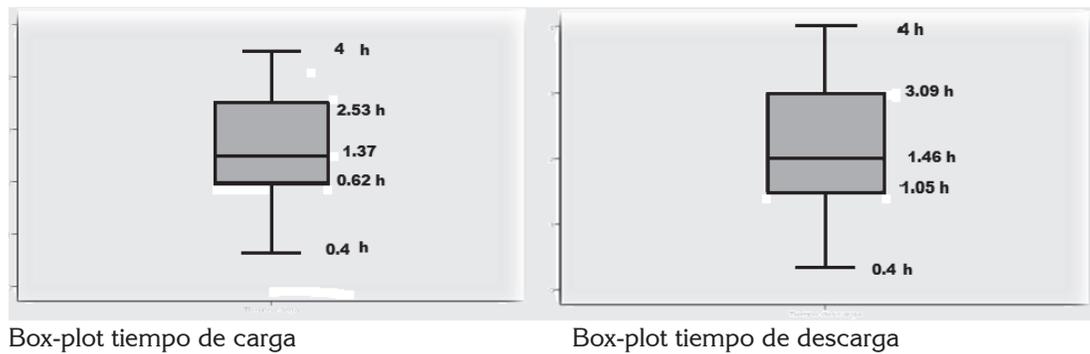


Figura 2. Box-plot tiempo de carga y de descarga.

la logística, las variables no inciden favorablemente en la reducción del tiempo de cargue y descarga, además, no se encuentran observaciones atípicas.

Existe relación directa entre el número de personas que intervienen en la carga o descarga y el tiempo que estas tardan; el número de ejes del remolque está relacionado directamente con el tiempo de carga o descarga, lo que significa que a mayor número de ejes del camión, el tiempo de carga y descarga es mayor; luego, existe relación directa entre el número de personas que interviene en el proceso y el número de ejes del remolque, como se observa en la figura 3.

Finalmente, la capacidad es el valor máximo que adquiere la densidad, representada por la intensidad y la velocidad, lo que se conoce como “densidad crítica” y que se sintetiza en

la figura 4, correspondiente al modelo de logística externa. Teniendo en cuenta los anteriores resultados y considerando la definición de Highway Capacity Manual, para la vía de análisis se obtienen los siguientes resultados de capacidad: la utilizada del sentido Norte-Sur: 446 camiones por hora y la capacidad del sentido Sur- Norte: 384 camiones por hora, con lo cual, se establece que el promedio por hora se encuentran 415 camiones, valor medio de la capacidad total, a partir, del cual, el espacio disponible se satura.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Financiación: Este estudio fue financiado por la U.D.C.A y la Alcaldía de Funza.

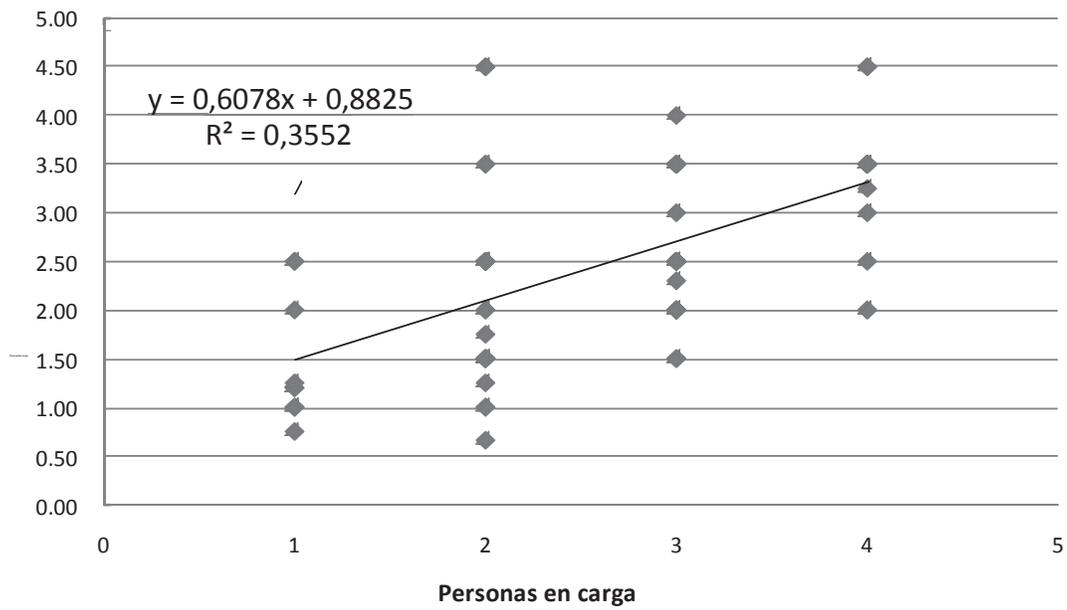


Figura 3. Relación tiempo - personas en carga.

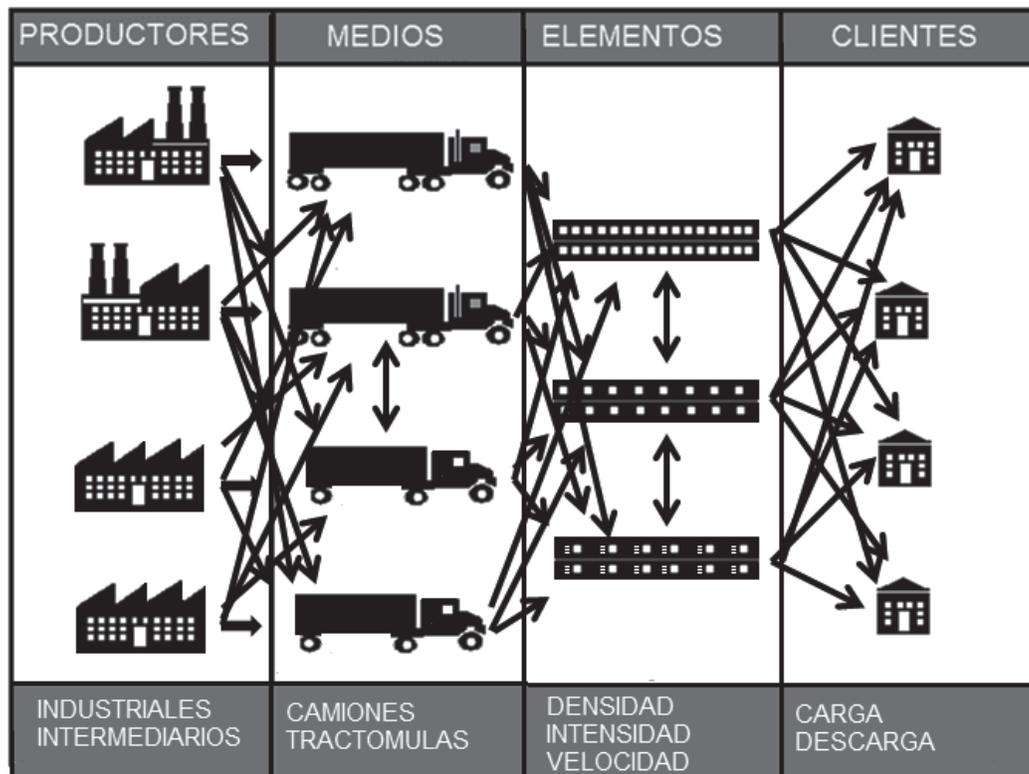


Figura 4. Modelo de logística externa.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANAYA, J. 2007. Logística integral: la gestión operativa de la empresa. 3^{ra} ed. Editor ESIC Editorial (España). 290p.
2. ANDERSON, D.; SWEENEY, D.; WILLIAMS, T. 2008. Estadística Para Administración y Economía. Cengage Learning Editores (México). 1056p.
3. CASANOVAS, A.; CUATRECASAS, L. 2012. Logística Integral. Nuevas Tendencias en logística y Operaciones. Profit Ed. (España). 214p.
4. GRANDE, I.; ABASCAL, E. 2009. Fundamentos y Técnicas de Investigación Comercial. Esic Editorial (España) 433p.
5. JANY, N. 2005 Investigación Integral de Mercados: Un enfoque para el siglo 21. 3ra ed. Ed. Mc Graw Hill (Santafé de Bogotá) D.C. 409p.
6. LAMB, W.; HAIR, J.; MCDANIE, C. 2006. Marketing. 8va ed. Cengage Learning Editores. (México). 697p.
7. LÓPEZ-PINTO, B.; MACHUCA, M.; VISCARRI, J. 2010, Los Pilares del Marketing. Editorial de la Universidad Politécnica de Cataluña. (Barcelona).413p.
8. MARSHALL, K.P. 1999. Sistemas de Información de Mercadotecnia. International Thomson Editores. (México). 164p.
9. MAS, F. 2010 Temas de Investigación Comercial. 5 Ed. Editorial Club Universitario ECU. España. 496p.
10. MCDANIEL, C; 2007. Investigación de Mercados. 6^{ta} ed. México, Thomson. 617p.
11. OBRADORS, M. 2007. Creatividad y generación de ideas: Estudio de la práctica creativa en cine y publicidad. Universidad de Valencia. (España). 238p.
12. PERIS, S. 2006. Distribución comercial. 5ta Ed. Editorial ESIC. (España) 366p.
13. PETRI, H.; GORVEN, J. 2006. Motivación: Teoría, investigación y aplicaciones. Cengage Learning Editores (México). 504p.
14. PIERA, M.; GUASCH, T.; CASANOVAS, J.; RAMOS, J. 2006. Como mejorar la logística de su empresa mediante la simulación. Ediciones Díaz de Santos. (Madrid – España). 103p.
15. SORET LOS SANTOS, I. 2006. Logística y marketing para la distribución comercial. 3^{ra} Ed. ESIC Editorial. (España) 332p.
16. TAMAYO, M. 2005. El Proceso de la investigación científica: Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación. Editorial Limusa (México). 440p.
17. URZELAI, I. 2006. Manual básico de la logística integral. Ediciones Díaz de Santos. Madrid (España). 320p.
18. ZILMUND, W. 2008. Investigación de mercados. 9^{na} ed. Cengage Learning Editores (México). 736p.

Recibido: Julio 4 de 2012

Aceptado: Octubre 30 de 2013

Como citar:

Vásquez Bernal, J.; Layton, P. 2013. Modelo del proceso de logística externa de las empresas localizadas en el municipio de Funza – Cundinamarca. Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient. 16(2): 563-570.