

EDITORIAL

REFLEXIONES AL PROYECTO DE REFORMA DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN COLOMBIA

Germán Anzola Montero

Rector

La experiencia de 45 años vinculada al quehacer universitario, me permite, con ocasión del proyecto de reforma a la Educación Superior, dejar a consideración de los lectores de esta publicación, una serie de reflexiones, que bien vale la pena tener en cuenta.

Con el Decreto Ley 80 de 1980, uno podría afirmar que se constituyó en la normativa que permitió, hasta hoy, organizar el conjunto de instituciones que, de acuerdo con este Decreto Ley, habrían de constituir la modalidad de la educación post-secundaria que, hasta ese momento, no disponía de ninguna organización, ni regulación y, mucho menos, de controles adecuados para garantizarle a la Educación Superior no solo la calidad y la excelencia que le corresponde a este nivel sino el desempeño de la misma dentro de los más altos y exigentes criterios e indicadores de responsabilidad social universitaria, ante sus beneficiarios. Adicional a este primer planteamiento, se consagraron principios fundamentales, que permitieron definir la Educación Superior como un servicio público de carácter cultural, ofrecido por instituciones de naturaleza pública y privada, señalando, para esta última, la no búsqueda de lucro a partir de su ofrecimiento.

Otros hechos de recordación, consagrados en el Decreto Ley 80, fueron la posibilidad de ofrecer programas por ciclos de formación (técnica, tecnológica y universitaria), desconociendo una tradición de valoración académica (créditos académicos), por un improvisado e inaplicable concepto de las Unidades de Labor Académica –ULAS–, es decir, que 12 años se perdieron, perjudicando los tan importantes procesos de planeación académica y, además, para no desnaturalizar la tarea, siempre arrogante, del Estado colombiano es el gobierno de turno, se ratificó el concepto de la SAGRADA INSPECCIÓN Y VIGILANCIA del mismo, frente a las Instituciones de Educación Superior. Hoy, por más de 30 años, se ha demostrado que este tipo de control ha sido inútil para contener las irresponsabilidades y los abusos que suelen cometer, una minoría de instituciones, que quieren ver la Educación Superior como una fuente o posibilidad

impropia e inadecuada de enriquecimiento, a partir del derecho o bien social, que les corresponde al recibir su Educación Superior.

Con fundamento en la nueva Constitución Política de 1991 fue determinante reglamentar lo concerniente a la Educación Superior, la cual, se realizó con la promulgación de la Ley 30 de 1992, cuyo principal criterio de inspiración correspondió a la consagración de la AUTONOMÍA UNIVERSITARIA, expresada en el Artículo 67 de la Carta Magna de Colombia, pero equivocadamente desarrollada, ocasionando un costo muy negativo para la universidad colombiana y una confusión total para el supuesto sistema de educación superior, ya que no es posible generalizar, por ningún motivo, el concepto de autonomía universitaria hacia aquellas instituciones que no son universidades. Este hecho, es una de las principales razones que afectan la calidad académica, que debe predominar en cualquier nivel educativo, pues bajo el hipotético derecho de una serie de libertades, no ha sido ni es altamente responsable en la prestación de este servicio educativo.

Con la aprobación de las tipologías para las instituciones, bajo la Ley 30, y sin resultados positivos frente a su control, fue necesario ratificar el concepto de la Constitución Política, inspección y vigilancia, suscitando, por fin, en el panorama nacional, un esquema de trabajo, favoreciendo los criterios de calidad y de búsqueda permanente de la excelencia académica en todas las IES del país, a partir de la implantación e implementación de rigurosos sistemas de autoevaluación, con miras al mejoramiento permanente y al logro de reconocimientos, como la acreditación de programas y de instituciones; esto último, se complementa con el desarrollo de cada uno de los programas que componen el Sistema de Calidad de la Educación Superior, que es, hoy por hoy, el factor que está conduciendo a una mejor cualificación de la Educación Superior y universitaria en Colombia.

En diferentes presentaciones y documentos, el Gobierno Nacional ha venido afirmando que se requiere de una

reforma, indispensable por todos los cambios del mundo moderno: porque después de 18 años de la Ley 30, a ella, hay que armonizarla con el presente; porque el número de bachilleres será mayor en un futuro cercano; porque se presenta una significativa deserción supera el 50%; porque se debe lograr una educación superior más pertinente y de mayor calidad; porque es necesario mejorar la cobertura; por la reducida aplicación para recibir acreditación de alta calidad, tanto a nivel de programas como de instituciones y, finalmente, en términos muy sencillos, porque el Grupo de seis países con mayores expectativas de crecimiento y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), así lo ordenan.

No dudo que modernizar y actualizar la legislación frente a las realidades de la internacionalización de la Universidad Colombiana es una prioridad y, ello, se debe practicar y así como se tienen en cuenta las recomendaciones de la CIVETS y la OCDE, observando sus criterios; es deber igualmente referenciar las redes académicas, tales como: UDUAL, AUALCPI, OUI, IESALC, entre otras y los mandatos de la Conferencia Regional de Educación Superior en Cartagena 2008 y la Conferencia Mundial de Educación Superior en París 2009.

Así se afirme lo contrario, una determinante incuestionable es que está comprobado que las legislaciones únicas para los Sistemas de Educación Superior no son viables. No es factible ni lógico seguir insistiendo que es posible una misma mirada y una misma legislación para las modalidades educativas que, en su fundamento, propósitos y metodologías de formación, tienen, por lógica, consecuencia pedagógica, significativas diferencias. Un concepto es el de UNIVERSIDAD, con objeto de trabajo muy bien establecido y definido y otro, totalmente diferente, en lo que corresponde, a la denominada educación superior (Institutos de educación superior, centros universitarios, institutos técnicos o tecnológicos).

Solo en Colombia, se definen y se aplican criterios comunes para que la docencia, la investigación y la extensión se desarrollen bajo los mismos conceptos, normas y valoraciones académicas en las denominadas IES. No, estas tres funciones sustantivas son patrimonio de lo superior y para lo superior, es decir, para la institución UNIVERSIDAD, que es la entidad que, por su naturaleza, su infraestructura, su organización y sus capacidades organizacionales, lo puede hacer. Cómo vamos a legislar por igual y a exigir de la misma forma a instituciones con responsabilidades tan diferentes?

No es cierto que las legislaciones en el mundo, actualmente, tengan esa particular mirada de regular un concepto

generalista de la Educación Superior. En Europa, caso específico España y demás países, y en América Latina, se legisla para la Universidad y, en forma muy diferente, para las instituciones de Educación Superior. Se pueden medir con el mismo rasero. Es más, me atrevo a decir que, por diversas razones, en Colombia, se hace necesario reglamentar de manera diferente entre universidades de mayor desarrollo relativo y aquellas que están en pleno proceso de crecimiento institucional.

Afirma el Gobierno Nacional que con la reforma a la Ley 30, se pretende: promover la calidad; favorecer el mayor ingreso (mayor cobertura), a partir de un incremento en la oferta; fortalecer la permanencia, superando limitaciones que hoy contribuyen la deserción; adecuar la legislación a nuevas realidades nacionales e internacionales y, finalmente, para velar por el buen gobierno y transparencia en el sector y todo ello, supuestamente, favorecido con la inversión privada, con ánimo de lucro en la educación superior, con miras a superar las dificultades de financiamiento, en las denominadas IES.

Favorecer la calidad y la búsqueda permanente de la excelencia académica es una responsabilidad de las propias universidades. Son ellas quienes tienen que definir sus estándares e indicadores de excelencia y lo que le corresponde al Gobierno Nacional es FOMENTAR y FACILITAR estos propósitos; para ello, no se puede estimular la buena práctica sino la gestión y calidad resultaría de fundamental importancia; entonces, legislar sobre aquello, por ejemplo, lo que consagró la Ley 30 para el logro de acreditaciones de programas e instituciones y que no se cumplió, vale la pena analizarlo en sus causas y proponer mecanismos reales y sostenibles en el tiempo.

Reconociendo verdaderamente los procesos de acreditación será posible estimular la investigación y la extensión; aumentar la cobertura, asintiendo y facilitando el ingreso a las universidades de jóvenes provenientes de familias de limitados recursos y de poblaciones vulnerables y, lógicamente, beneficiando su permanencia, de hecho, se soluciona, fortaleciendo la financiación a la demanda y mejorando las condiciones del crédito educativo, pero, igualmente, es importante auspiciar la financiación a la oferta de calidad por parte del gobierno nacional. Evidentemente, el sector privado es una opción y para ello no es necesario invocar principios de lucro, para un servicio que es responsabilidad del Estado y que antes de promover conceptos poco fundamentados, sería importante analizarlo, a partir de las concepciones de Estado, de los actuales legisladores y gobernantes del país.

La rama legislativa y el Gobierno Nacional no deben tener ninguna limitación para garantizarle a la sociedad colombiana, la transparencia y el buen uso de los recursos económico-financieros, que siempre provienen de la sociedad colombiana, a partir de los impuestos, dinero con el que se financia la Universidad Pública y de las matrículas

que son canceladas directamente a las Universidades privadas. Es aquí donde la simple y elemental inspección y vigilancia, que le corresponde al Gobierno Nacional, no debe ahorrar esfuerzos para hacerla verdaderamente viable en aras de legitimar su buen uso a partir de principios de justicia y de equidad para con los usuarios.

CARACTERIZACIÓN EPIDEMIOLÓGICA DE LA CRIPTOSPORIDIOSIS EN POBLACIÓN INFANTIL DE LA REGIÓN SABANA CENTRO (CUNDINAMARCA)

EPIDEMIOLOGIC CHARACTERIZATION OF CRYPTOSPORIDIOSIS IN INFANT POPULATION AT THE SABANA CENTRO (CUNDINAMARCA)

Martín Bayona R.¹, Catalina Avendaño V.², Álvaro Amaya M.³

¹ Bacteriólogo, Esp., M.Sc. Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá D.C. Colombia. Autor para correspondencia: mabayona@udca.edu.co ² Microbióloga Agrícola y Veterinaria, Esp. Facultad de Ciencias Pecuarias, programa Medicina Veterinaria, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A, cavendano@udca.edu.co ³ Estudiante Facultad de Ciencias Pecuarias, programa Medicina Veterinaria, U.D.C.A, alamayam89@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 7-13, 2011

RESUMEN

Cryptosporidium parvum es un protozoo intracelular que infecta el epitelio gastrointestinal, ocasionando diarrea autolimitada, en pacientes inmuno-competentes y potencialmente grave en inmuno-comprometidos. El microorganismo, se transmite de persona a persona por contacto con animales infectados, por el agua de bebida, de las piscinas o por alimentos contaminados. El presente trabajo buscó contribuir al conocimiento de la criptosporidiosis en una pequeña población preescolar, mediante un estudio epidemiológico, en la región Sabana Centro (Cundinamarca-Colombia). Se obtuvieron 260 muestras de heces de niños menores de cinco años, entre julio de 2009 y abril de 2010, provenientes de centros hospitalarios y de jardines infantiles, de siete municipios evaluados. Se realizó análisis microscópico de las muestras, consistente en la tinción de Ziehl Neelsen modificada y, posteriormente, se confirmó por inmuno-cromatografía. Para analizar la fuerza de asociación entre las variables estudiadas, se llevó a cabo la prueba de χ^2 y prueba de Fisher y se halló el p -valor. Para rechazar la hipótesis nula, se tomó como valor de referencia un $p < 0,05$. Se encontró una prevalencia de *Cryptosporidium* spp., del 7%. En los niños del presente estudio no se registró relación con ningún tipo de diarrea, ubicando la infección, por este parásito, como frecuente y asintomática. Se determinó que *Cryptosporidium* spp. puede afectar en cualquier momento a los niños menores de cinco años.

Palabras clave: Población infantil, criptosporidiosis, heces, Ziehl Neelsen, parasitosis intestinal.

SUMMARY

Cryptosporidium parvum is an intracellular protozoan that infects the gastrointestinal epithelium, causing self-limiting diarrhea in immunocompetent and potentially serious affections in immunocompromised patients. The organism is transmitted from person to person, by contact with infected animals, by drinking water in swimming pools or by contaminated food. The present research was aimed to contribute to the knowledge of cryptosporidiosis in a preschool population through an epidemiological study in the Sabana Center area (Cundinamarca, Colombia). 260 stool samples were obtained from children under five years between July 2009 and April 2010, from hospitals and kindergartens in the seven municipalities evaluated. Microscopic analysis of the samples, consisting in the modified Ziehl Neelsen staining and later confirmation by immunochromatography was performed. To analyze the association between variables the χ^2 and the Fisher test was used to find the p -value. To reject the null hypothesis as reference $p < 0.05$ was taken. A prevalence of 7% of *Cryptosporidium* spp. was detected. With the children of this study no relationship with any type of diarrhea was found, placing this parasite infection as frequent and asymptomatic. It was determined that *Cryptosporidium* spp. can affect children under five years at any time.

Key words: Infant population, criptosporidiosis, heces, Ziehl Neelsen, intestinal parasitosis

INTRODUCCION

Cryptosporidium spp. es un protozoo causante de diarrea en el hombre, su acción es más severa en niños, en adultos mayores y en pacientes inmunocomprometidos. *Cryptosporidium* spp. posee un complejo apical, como las demás coccidias, se reproduce por ciclos sexuales y asexuales. Se han reconocido 22 especies de *Cryptosporidium*, doce de las cuales se han encontrado en mamíferos (Plutzer & Karanis, 2009). El agua es un importante vehículo de transmisión, encontrándose resistencia a concentraciones de hasta 80mg/L de cloro. Se han presentado brotes hídricos ocasionados por este parásito en diversas regiones del mundo, tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo (Díaz *et al.* 2003).

La patogénesis de la criptosporidiosis no está totalmente entendida, pero se sabe que el parásito causa destrucción del epitelio intestinal, lo que resulta en una disminución de las micro vellosidades, reduciendo la actividad enzimática y la superficie de absorción, lo que termina en mala absorción y mala digestión produciéndose, entonces, la diarrea (Klein, 2008).

Cryptosporidium spp. está implicado en tres escenarios epidemiológicos: 1) esporádico, relacionado con el agua y brotes de diarrea autolimitada en persona sanas; 2) crónico, asociado con enfermedad que pone en peligro la vida en pacientes inmunocomprometidos y 3) diarrea y desnutrición en niños jóvenes en países en vía de desarrollo (Mor & Tzipori, 2008; Hashimoto *et al.* 2006).

En Colombia, entre junio de 1996 y octubre de 1998, se realizó el primer estudio serológico de *Cryptosporidium* spp., en el cual, se registró una seroprevalencia de 83,3%, lo que indicó que la criptosporidiosis es endémica en el país y representa un importante problema de salud pública (Vergara *et al.* 2000).

En el Hospital Universitario de Cali, entre julio de 1998 y enero de 2005, se analizaron las heces de 70 niños con VIH/SIDA, de las cuales, el 51,4% fueron positivos al parásito (Siuffi, 2006).

Cryptosporidium, se transmite por aguas y por alimentos, bien sea de persona a persona o animal-persona (zoonosis), de manera fecal-oral (Morrison *et al.* 2008). Este protozoo tiene un gran potencial de transmisión, a través del agua de bebida, debido a que los ooquistes pueden penetrar las

barreras físicas usadas en el tratamiento de aguas, además de ser resistentes a los desinfectantes empleados en este proceso, todo esto ligado a la baja dosis infectante para los humanos y los animales. Los ooquistes presentes en las heces pueden contaminar el agua directa o indirectamente y la disposición de los desechos humanos y animales representan un ítem importante en esta enfermedad (Smith *et al.* 2007; Fayer *et al.* 2000). La transmisión de este parásito, se puede dar por ingestión de agua o comida contaminada, por contacto directo o, posiblemente, por vectores (insectos) (Ajjampur *et al.* 2007).

Cryptosporidium tiene una baja dosis infectante, sólo 9 a 1042 ooquistes pueden causar la enfermedad, además los ooquistes son altamente resistentes al medio ambiente y a los tratamientos del agua, lo que facilita su diseminación (Smith *et al.* 2007).

De acuerdo con Kim & Corapcioglu (2002), las infecciones intestinales por protozoos y por helmintos continúan siendo un grave problema, sobre todo en países en vía de desarrollo, en donde las precariedades y la falta de recursos de ciertas poblaciones obligan a sus habitantes a adquirir malos hábitos y conductas, que predisponen la adquisición de estas patologías.

La prevalencia de la criptosporidiosis en Sudamérica no se conoce con exactitud, puesto que los estudios epidemiológicos efectuados son escasos, aunque el parásito ha sido identificado en todos los países en los que se investigó su presencia, mediante técnicas coprológicas (Vergara *et al.* 2000).

En la literatura mundial, las diversas investigaciones de prevalencia de *Cryptosporidium* spp. han mostrado datos que van desde 0% hasta 46,7%, según la región geográfica, el tipo de población en estudio, la comorbilidad y el estado inmunológico (Xian-Ming *et al.* 2002; Pollok, 2001; Mosier & Oberst, 2000).

El presente trabajo pretendió contribuir al conocimiento de la criptosporidiosis en la población preescolar, mediante un estudio epidemiológico en la región Sabana Centro (Cundinamarca-Colombia).

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las muestras: Se tomaron 260 muestras de heces de niños menores de cinco años, entre julio de 2009 y abril de 2010, provenientes de centros hospitalarios y de jardines infantiles, de las municipios de Cota, de Tocancipá, de Nemocón, de Zipaquirá, de Chía, de Tenjo, de Cajicá y de Tabío. La muestra fue evacuada espontáneamente y

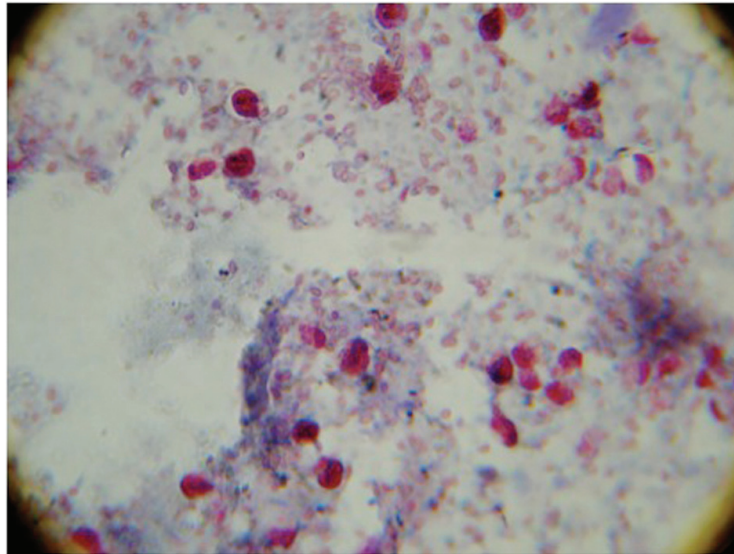


Ilustración 1. Técnica de Ziehl Neelsen modificada. Ooquistes de *Cryptosporidium* spp., obtenidos a partir de materia fecal de niños menores de cinco años, en la Región Sabana Centro (Cundinamarca).

recolectada el mismo día para su análisis microscópico, consistente en la realización de la coloración de Ziehl Neelsen modificada y, posteriormente, a las pruebas positivas para dicha coloración (Ilustración 1), se realizó la prueba de inmunocromatografía (método en cassette), para la confirmación de *C. parvum* (Ibáñez *et al.* 2004).

Las variables que se tomaron en cuenta en esta investigación fueron municipio y presencia de acueducto, edad y consistencia de la materia fecal.

Las 260 muestras fueron tomadas en los municipios, como se indica a continuación: Chía: 53, Nemocón: 31, Zipaquirá: 30, Tenjo: 27, Tabio: 4, Tocancipá: 54, Cota: 38 y Cajicá: 53.

Del total de muestras tomadas, 38 correspondían a niños de un año; 80, de dos; 66, de tres años; 36, de cuatro y 40, de cinco años.

Análisis microbiológicos: Una vez obtenidos los montajes de las muestras, se practicó la tinción de Ziehl Neelsen, descrita por Henricksen & Pohlenz (1981), para lo cual, se realizó un frotis en una lámina, una vez seca la muestra, se fijó con metanol para, posteriormente, efectuar la tinción modificada.

A las muestras positivas, se les realizó inmunocromatografía para saber si los ooquistes correspondían a *C. parvum*.

Análisis estadístico: Para analizar la fuerza de asociación entre las variables, se llevó a cabo la prueba de X^2 y prueba

de Fisher; se halló el p-valor y para rechazar la hipótesis nula, se tomó como valor de referencia un $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 260 muestras, en 19 (7%), se observaron ooquistes de *Cryptosporidium* spp., de acuerdo con la prueba de inmunocromatografía, la cual, es específica para la especie *parvum*. Las 19 muestras resultaron negativas para la especie *parvum*, lo que confirma que pueden estar implicadas otras especies en patología humana, como lo afirman Smith *et al.* (2007), en su estudio, en donde asoció con infección en humanos a *C. meleagridis*, *C. muris*, *C. suis*, *C. felis* y *C. canis*. Un porcentaje similar al hallado en el presente estudio, lo reportaron Huiza *et al.* (2004), al evaluar materias fecales de 79 niños peruanos, las cuales, no presentaban sintomatología alguna con enfermedad diarreica aguda, percibiendo una prevalencia de *Cryptosporidium* spp., correspondiente al 8,9%. Así mismo, Ajjampur *et al.* (2007) reportaron, en niños con diarrea de una comunidad semi urbana en el sur de la India, una prevalencia de *Cryptosporidium* spp., del 7,6%, siendo las especies frecuentemente identificadas: *C. hominis*, 81%; *C. parvum*, 12,1% y *C. felis*, 6%. Hamedi *et al.* (2005), en una población de niños entre seis meses y siete años, en Irán, reportaron una prevalencia de *Cryptosporidium* spp., del 7%, asociada con diarrea prolongada y bajo peso.

Cryptosporidium spp. han sido reportados en personas en 106 países. En Estados Unidos, durante el 2003, se describieron 3505 casos de criptosporidiosis; en 2004, 3911 y

en 2005, 8269 casos. El incremento de 2005, se atribuyó a un brote producido por aguas recreacionales (Xiao & Fayer, 2008).

El presente estudio buscó encontrar una relación entre la edad de los niños y la presencia de ooquistes en las heces; de las 19 muestras positivas, cuatro eran de niños de cuatro años; nueve, de dos años; tres, de tres años y tres, de cinco años. Ninguna muestra de niños de un año resultó positiva. No se encontró relación estadísticamente significativa entre la edad y la presencia de ooquistes (χ^2 6,34 $p > 0,17$).

En Colombia, se han reportado prevalencias mayores a la obtenida en este estudio, como es el caso del trabajo realizado en el Departamento de Arauca, por De Arango *et al.* (2006), quienes analizaron la frecuencia de *Cryptosporidium* spp., en heces de niños de un mes a 13 años de edad, hallándola en el 46,8%. En la ciudad de Bucaramanga, desde septiembre de 2002 hasta enero de 2004, se analizaron niños con y sin cáncer, encontrándose una prevalencia de 42%, en los que tenían cáncer y 40%, en los niños sin cáncer (Carreño *et al.* 2005).

En el Hospital Universitario de Cali, entre julio de 1998 y enero de 2005, se analizaron las heces de 70 niños con VIH/SIDA, de los cuales, el 51,4% fueron positivos al parásito (Siuffi, 2006). En contraste a estas cifras, otros estudios reportan porcentajes inferiores a los obtenidos en la presente investigación, como por ejemplo, De la Ossa *et al.* (2007), quienes reportaron una prevalencia de *Cryptosporidium* spp. de 1,9%, en pacientes del Departamento de Barranquilla y tres municipios del Atlántico; así mismo, el estudio de Ibáñez *et al.* (2004), halló una prevalencia de *Cryptosporidium* spp., de un 1,9%.

En Brasil, Cabral *et al.* (2002), al evaluar heces de 445 niños menores de dos años notó una prevalencia *C. parvum* del 18,7%, percibiendo, dentro de los factores implicados en su transmisión al invierno, la mala higiene en las guarderías y el contacto con niños que presentaban diarrea. Gatei *et al.* (2006) encontraron en niños Kenianos, menores de cinco años, una prevalencia global de *Cryptosporidium* spp., del 4%, los cuales, no exteriorizaban manifestaciones clínicas de enfermedad diarreaica.

De las 19 muestras positivas, cinco tenían una consistencia líquida, mientras que 14, eran pastosas, ubicando la infección, por este parásito, como bastante frecuente y asintomática, lo que concuerda con lo reportado por De Arango *et al.* (2006) y en contraste con el trabajo de Siwila *et al.* (2011), quienes obtuvieron una asociación significativa de diarrea en niños con *Cryptosporidium* spp. ($p = 0,029$, OR = 3,7).

Son muchos los patógenos que causan, principalmente, gastroenteritis, donde el 50% de estos casos, se deben al

consumo de agua contaminada por heces, tanto humanas como de animales, siendo *Cryptosporidium* spp. un agente de alta prevalencia, asociado con dichas patologías. Este microorganismo es un protozooario intestinal intracelular que se describió como patógeno humano en 1976, siendo conocido, hasta la fecha, más de 20 especies. Los niños con diarrea representa la tercera o cuarta causa de diarrea infecciosa, después de los rotavirus y *Escherichia coli* (Kuhls, 2000).

De los 19 niños en los que se observó al menos un ooquiste del parásito, 17 tenía servicio de acueducto, mientras que dos, no. Este hallazgo, se ve soportado con lo reportado por Quilez *et al.* (2008), quienes argumentan que *Cryptosporidium* spp. son resistentes a los sistemas de tratamientos de agua.

El principal reservorio es el ganado bovino, específicamente, los terneros, en los que la criptosporidiosis es responsable de una alta tasa de morbilidad neonatal (Broglia *et al.* 2008). *Cryptosporidium* spp. tienen un gran potencial de transmisión, a través del agua de bebida, debido a que los ooquistes no son afectadas por el tratamiento de aguas y son tolerantes o resistentes a los desinfectantes usados en este proceso, todo esto, ligado a la baja dosis infectante para los humanos y los animales. Los ooquistes presentes en las heces del ganado pueden contaminar el agua directa o indirectamente y la disposición de los desechos humanos y animales representan un ítem importante en esta enfermedad (Smith *et al.* 2007; Carey *et al.* 2004). Estos hechos requieren una especial atención por parte del personal de salud responsable de la desinfección del agua potable.

Por otra parte, la resistencia de los ooquistes a los tratamientos y a los desinfectantes utilizados, rutinariamente, para potabilizar el agua de bebida ha dado gran relevancia a la criptosporidiosis en los últimos años, como enfermedad de transmisión hídrica, siendo considerada como uno de los mecanismos de transmisión de la enfermedad al hombre, de mayor interés (Widme, 1996). De hecho, más de una década y de acuerdo con Slifko (2000), se han documentado un total de 39 brotes hídricos en el Reino Unido, en Estados Unidos, en Canadá y en Japón, destacando el ocurrido en la ciudad norteamericana de Milwaukee, en 1993, donde 400.000 personas resultaron afectadas; un 10% requirieron ingreso hospitalario y, aproximadamente, 54 murieron. La vigilancia de *Cryptosporidium* en E.U muestra que la incidencia viene en aumento desde 2004, asociados con factores de exposición, como animales infectados, viajes a zonas endémicas e ingestión de alimentos contaminados, como lo afirman Yoder & Beach (2010); de igual manera, Luna *et al.* (2002) confirman, en su trabajo sobre la presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. en aguas

superficiales en Costa Rica, que los métodos usuales de tratamiento de agua no son completamente eficientes en la remoción de los ooquistes. Castro *et al.* (2008) afirmaron que *Cryptosporidium* spp., se encuentra constantemente en altas concentraciones en el agua potable destinada al consumo humano y animal, en la cuenca hidrográfica, en el estudio realizado en Galicia (Noroeste de España).

En individuos inmunocompetentes, las manifestaciones usualmente son de corta duración y autolimitadas, mientras que en los individuos no inmunocompetentes la falta de medicamentos efectivos, se constituye en un riesgo, ya que la enfermedad en ellos es severa. Se podría acotar que en pacientes con SIDA y en terapia antirretroviral la mejoría en el nivel de CD4 permite el control de la diarrea y la desaparición de los ooquistes de las heces (Hunter, 2005).

En un estudio longitudinal, desde el nacimiento hasta los cuatro años, en 533 niños en Perú, se encontró que la primera infección con *C. hominis* se asoció con diarrea, malestar general, vómito y alta excreción de ooquistes, a diferencia de la infección con *C. parvum*, *C. meleagridis*, *C. canis* y *C. felis*, asociado sólo con diarrea (Cama *et al.* 2008). Xiao *et al.* (2001), al analizar 132 muestras de heces de 80 niños peruanos, identificaron cinco tipos de *Cryptosporidium*: *C. parvum humano*, *C. parvum bovino*, *C. parvum de perro*, *C. meleagridis* y *C. felis*, de los cuales, el 29%, de los 85 casos infecciosos, estaban asociados con diarrea, sin registrar diferencias significativas con la edad y el nivel nutricional.

En 142 niños en la unidad de enfermedad diarreica aguda del Hospital San Vicente de Paul de Medellín, 15,5% de ellos presentaron este parásito; de igual manera, en este Departamento, se determinó *Cryptosporidium* (3,6%), en personas inmunosuprimidas, por diferentes causas (Botero *et al.* 2003).

Agradecimientos: A la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a cada uno de los jardines y centros hospitalarios participantes. **Conflicto de intereses:** Los autores del presente escrito declaran que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados. **Financiación:** El presente estudio fue financiado por el fondo de investigación de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJJAMPUR, S.; GLADSTONE, B.; SELVAPANDIAN, D.; MULLIYIL, J.; WARD, H.; KANG, G. 2007. Molecular and spatial epidemiology of cryptosporidiosis in children in a semiurban community in South India. *J. Clin. Microbiol.* 45: 915-920.
2. BOTERO, J.; CASTAÑO, A.; MONTOYA, M.; OCAMPO, N.; HURTADO, M.; LOPERA, M. 2003. A preliminary study of the prevalence of intestinal parasites in immunocompromised patients with and without gastrointestinal manifestations. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo.* 45:197-200.
3. BROGLIA, A.; RECKINGER, S.; CACCIÓ, S.; NÖCKLER, K. 2008. Distribution of *Cryptosporidium parvum* subtypes in calves in Germany. *Vet. Parasitology (Países Bajos).* 154(1-2):8-13.
4. CABRAL, M.; ATWILL, E.; PASSOS, A.; ALMEIDA, S.; GARCIA, M. 2002. Intra-familial and extra-familial risk factors associated with *Cryptosporidium parvum* infection among children hospitalized for diarrhea in Goiania, Goias, Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 66:787-793.
5. CAMA, V.; BERN, C.; ROBERTS, J.; CABRERA, L.; STERLING, C.; ORTEGA, Y.; GILMAN, R.; XIAO, L. 2008. *Cryptosporidium* species and subtypes and clinical manifestations in children, Perú. *Emerg. Infect. Dis.* 14:1567-1574.
6. CAREY, C.; LEE, H.; TREVORS, J. 2004. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Research.* 38:818-862.
7. CARREÑO, M.; VELASCO, C.; RUEDA, E. 2005. Prevalencia de *Cryptosporidium* spp. en niños menores de 13 años con afecciones oncológicas. *Colombia Médica.* 36(2 Supl 1):6-9.
8. CASTRO, J.; GARCÍA, I.; ALMEIDA, A.; GONZÁLEZ, M.; CORREIA, J.; MEZO, M. 2008. Presence of *Cryptosporidium* spp. and *Giardis duodenalis* through drinking water. *Science of the Total Environment.* 405:45-53.
9. DE ARANGO, M.; RODRÍGUEZ, D.; PRADA, N. 2006. Frecuencia de *Cryptosporidium* spp. en materia fecal de niños entre un mes y trece años en un hospital local colombiano. *Colombia Médica.* 37(2):121-125.
10. DE LA OSSA, N.; FALCONAR, A.; LLINÁS, H.; ROMERO, C. 2007. Manifestaciones clínicas y factores de riesgo asociados a la infección por *Cryptosporidium* en pacientes de Barranquilla y tres municipios del Atlántico (Colombia). *Salud UniNorte. Barranquilla (Col.).* 23(1):19-31.

11. DÍAZ, M.; LEYVA, E.; MATA, V.; GONZÁLEZ, H. 2003. Incidencia y viabilidad de *Cryptosporidium parvum* en el agua potable de ciudad de Obregón, Sonora, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 19(2):67-72.
12. FAYER, R.; MORGAN, U.; UPTON, S.; 2000. Epidemiology of *Cryptosporidium*: transmission, detection and identification. *Int. J. Parasitol.* 30: 1305-1322.
13. GATEI, W.; WAMAE, C.; MBAE, C.; WARURU, A.; MCLINGE, E.; WAITHERA, T. 2006. Criptosporidiosis: prevalence, genotype analysis, and symptoms, associated with infections in children in Kenya. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 75:78-82.
14. HAMED, Y.; SAFA, O.; HAIDARI, M. 2005. *Cryptosporidium* infection in diarrheic children in Southeastern Iran. *Pediatr. Infect. Dis. J.* 24:86-88.
15. HASHIMOTO, A.; SUGIMOTO, H.; MORITA, S.; HIRATA, T. 2006. Genotyping of single *Cryptosporidium* oocysts in sewage by semi-nested PCR and direct sequencing. *Water Res.* 40:2527-2532.
16. HENRICKSEN, S.; POHLENZ, J. 1981. Staining of *Cryptosporidium* by a Modified Ziehl-Neelsen technique. *Acta Ve. Scand.* 22:594-596.
17. HUIZA, A.; ESPINOZA, Y.; ROJAS, R.; SEVILLA, C.; ALVA, P.; VERÁSTEGUI, R.; QUISPE, E.; ROMUALDO, G.; ÁNGELES, Z. 2004. Detección de coccidios en niños asintomáticos mediante esporulación de muestras fecales. *An. Fac. Med. Lima, Perú.* 65(4):239-242.
18. HUNTER, P. 2005. The zoonotic transmission of *Giardia* and *Cryptosporidium*. *Internal J. Parasitol.* 35(11-12):1181-1190.
19. IBÁÑEZ, N.; JARA, C.; GUERRA, A.; DÍAZ, E. 2004. Prevalencia del entero parasitismo en escolares de comunidades nativas del alto Amazonas, Perú. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública.* 21(3):126-133.
20. KIM, S.; CORAPCIOGLU, M. 2002. Vertical transport of *Cryptosporidium parvum* oocysts through sediments. *Environ. Technol.* 23:1435-1446.
21. KLEIN, P. 2008. Effect of *Cryptosporidium parvum* infection on the absorptive capacity and paracellular permeability of the small intestine in neonatal calves. *Vet. Parasit.* 152:53-59.
22. KUHL, T. 2000. Cryptosporidiosis during childhood. *Semin. Pediatr. Infect. Dis.* 11:213-219.
23. LUNA, S.; REYES, L.; CHINCHILLA, M.; CATARINELLA, G. 2002. Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* spp. en aguas superficiales en Costa Rica. *Parasitol. Latinoam.* 57(1-2):63-65.
24. MOR, S.; TZIPORI, S. 2008. Criptosporidiosis in children in Sub-Saharan Africa; a lingering Challenge. *Clin. Infect. Dis.* 47:915-921.
25. MORRISON, L.; MALLON, M.; SMITH, H.; MACLEOD, A.; XIAO, L.; TAIT, A. 2008. The population structure of the *Cryptosporidium parvum* population in Scotland: A complex picture. *Infection, Genetics and Evolution.* 8:121-129.
26. MOSIER, D.; OBERST, R. 2000. Cryptosporidiosis: A global challenge. *Ann New York. Acad. Science.* 916:102-111.
27. PLUTZER, J.; KARANIS, P. 2009. Genetic polymorphism in *Cryptosporidium* species: an update. *Vet. Parasitol.* 165(3-4):187-199.
28. POLLOK, R. 2001. Cryptosporidiosis and Microsporidiosis. *Internal J. Gastroenterol. Hepatol.* 49:457-467.
29. QUILEZ, J.; TORRES, E.; CHALMERS, R.; ROBINSON, G.; DEL CACHO, E.; SANCHEZ-ACEDO, C. 2008. *Cryptosporidium* species and subtype analysis from dairy calves in Spain. *Parasitology.* 135(14):1613-20.
30. SIUFFI, A. 2006. Relación entre los niveles de carga viral y los niveles de linfocitos CD4 en el diagnóstico de *Cryptosporidium* spp. en heces de niños de la Clínica Pediátrica de VIH/SIDA del Hospital Universitario del Valle, Cali, Colombia. *Colombia Médica.* 37(1):3715-3720.
31. SIWILA, J.; PHIRI, I.; LARSEN, H.; NCHITO, M.; OLSEN, A. 2011. Seasonal prevalence and incidence of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* and associated diarrhea in children attending pre-school in Kafue, Zambia. *Transactions Royal Soc. Trop. Med. Hyg.* 105:102-108.
32. SLIFKO, T. 2000. Emerging parasite zoonoses associated with water and food. *Internal J. Parasitol.* 30(12-13):1379-1393.

33. SMITH, H.; CACCIO, S.; COOK, N.; NICHOLS, R.; TAIT, A. 2007. *Cryptosporidium* and *Giardia* as foodborne zoonoses. *Vet. Parasitol.* 149: 29-40.
34. VERGARA, C.; SANTOS, S.; SANTOS, F.; ARES, M. 2000. La criptosporidiosis en la región andina de Colombia: seroprevalencia y reconocimiento de antígenos. *Rev. Panamericana de Salud Pública.* 8(6):373-379.
35. WIDME, G. 1996. Water-borne *Cryptosporidium*: A perspective from the USA. *Parasitology Today.* 12(7):286-290.
36. XIAO, L.; BERN, C.; LIMOR, J. 2001. Identification of five types of *Cryptosporidium* parasites in children in Lima, Perú. *J. Infect. Dis.* 183:492-497.
37. XIAO, L.; FAYER, R. 2008. Molecular characterisation of species and genotypes of *Cryptosporidium* and *Giardia* and assessment of zoonotic transmission. *Int. J. Parasitol.* 38(11):1239-1255.
38. XIAN-MING, C.; KEITHLY, J.; PAYA, C.; LARUSSO, N. 2002. Current concepts: Criptosporidiosis. *N. Engl. J. Med.* 346:1723-1731.
39. YODER, J.; BEACH, M. 2010. *Cryptosporidium* surveillance and risk factors in the United States. *Exp. Parasitol.* 124:31-39.

Recibido: Noviembre 4 de 2010

Aceptado: Abril 6 de 2011

NUEVO MÉTODO DE AYUDA DIAGNÓSTICA CON GEOMETRÍA FRACTAL PARA CÉLULAS PRENEOPLÁSICAS DEL EPITELIO ESCAMOSO CERVICAL

NEW DIAGNOSIS AID METHOD WITH FRACTAL GEOMETRY FOR PRE-NEOPLASIC CERVICAL EPITHELIAL CELLS

Javier O. Rodríguez¹

¹ M.D. Director Grupo Insight. Dirección: Cra 79b # 51-16 Sur, Interior 5 apto 102, Bogotá – Cundinamarca – Colombia. e-mail: grupoinsight2025@yahoo.es

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 15 - 22, 2011

RESUMEN

La geometría fractal permite la descripción matemática de objetos autosimilares, sibisemejantes y salvajes. La aplicación del análisis fractal al cáncer ha logrado, en algunos casos, mostrar cambios en las medidas fractales de tejidos y de células asociados a la evolución neoplásica. Se desarrolló una metodología diagnóstica de alteraciones celulares preneoplásicas en citologías cervicales, a partir de fotografías digitales de ocho células; cuatro normales (tres superficiales y una intermedia), dos ASCUS y dos L-SIL diagnosticadas, según los parámetros convencionales. Se calcularon las dimensiones fractales con el método de Box Counting, de tres objetos: el núcleo, el citoplasma sin núcleo y totalidad, estimando la variabilidad y la Armonía Matemática Intrínseca celular de las dimensiones fractales. Se diferenciaron células normales de L-SIL, evidenciándose que las ASCUS pueden tener valores asociados a normalidad o de L-SIL. Esta nueva metodología constituye la primera evaluación objetiva y cuantitativa de diagnóstico preventivo de aplicación clínica para lesiones cervicales pre-neoplásicas. Se muestran, cuantitativamente, las diferencias entre células normales y L-SIL, solucionando la indeterminación diagnóstica de las células ASCUS.

Palabras clave: Cáncer de cuello uterino, geometría fractal, citología.

SUMMARY

Fractal geometry allows the mathematical description of autosimilar, sibisemejants and wild objects. Fractal analysis

application to cancer has been able to show changes in the fractal measures of tissues and cells associated in some cases to neoplastic evolution. A new diagnostic methodology for pre-neoplastic cells in cervical cytologies was developed, beginning with the digital photographs of 8 cells, 4 healthy cells, -3 superficiales and 1 intermediate-, 2 ASCUS and 2 L-SIL, diagnosed according to conventional parameters. Fractal dimensions from three objects, nucleus, cytoplasm without nucleus and totality, were calculated with Box-Counting method, estimating variability and cellular intrinsic mathematical harmony of fractal dimensions. Mathematical differences between healthy and L-SIL cells were found, making evident that ASCUS cells can have both healthy or L-SIL associated values. This new methodology constitutes the first objective and quantitative evaluation of preventive diagnosis and clinical application for pre-neoplastic cervical injuries. Making quantitatively evident the degree of evolution from normal cells to L-SIL, this methodology gives a solution to diagnostic indetermination of ASCUS cells.

Key words: Uterine cervix cancer, fractal geometry, cytology.

INTRODUCCIÓN

Problemas como la paradoja en la medición del perímetro de la costa de Gran Bretaña, donde a medida que la unidad de medición disminuye, la longitud total de la costa tiende al infinito, evidencian que las mediciones euclidianas no son confiables en objetos irregulares; dichos problemas, llevaron al desarrollo de la geometría fractal (Mandelbrot, 2000). Existen, en general, tres tipos de fractales, que requieren diferentes metodologías para el cálculo de su dimensión fractal, razón, por la cual, no es un concepto universal para

todos los casos: los abstractos, como el triángulo de Sierpinski, caracterizados porque la parte es igual a la totalidad, los salvajes, en los que las partes se superponen entre sí, y que son característicos de los objetos de la naturaleza (Peitgen *et al.* 1992) y los estadísticos, que presentan distribuciones hiperbólicas (Rodríguez, 2005). La metodología de cálculo del box counting, se utiliza, preferiblemente, para obtener la dimensión fractal de objetos que no son auto-similares (Peitgen *et al.* 1992a), aunque también se puede aplicar para objetos auto-similares; para éstos, usualmente, se aplica la dimensión de auto-similitud (Peitgen *et al.* 1992a).

Su aplicación en el análisis de imágenes diagnósticas en medicina ha permitido desarrollar caracterizaciones y metodologías cuantitativas y reproducibles, para diferenciar salud de enfermedad, a nivel experimental y clínico (Goldberger & West, 1987; Baish & Jain, 2000). Tal es el caso del trabajo de Rodríguez *et al.* (2002), quienes en un trabajo previo, implementaron una metodología que diferencia arterias sanas y restenosadas. Para esto, inicialmente, confirmaron que las dimensiones fractales de las partes y la totalidad de la arteria no permiten la diferenciación entre normalidad y restenosis y, con base en una analogía, en la que se observan las partes (capas íntima, media y adventicia) y la totalidad de la arteria, como islas, para medirlas análogamente a la forma en que lo hizo Mandelbrot (2000) con la isla de Gran Bretaña, se desarrolló el concepto de Armonía Matemática Intrínseca, que permite comparar el grado de similitud o diferencia entre las dimensiones fractales de las islas que componen el objeto, con respecto a la dimensión fractal de la totalidad. Este concepto, se basa en la morfología misma de la arteria, donde, en el caso de la normalidad, se observa una forma redonda de cada una de las partes y de la totalidad, de tal manera que se puede inferir que existen diferencias en los cálculos fractales entre sus dimensiones fractales al ser comparadas con las dimensiones fractales de las partes y totalidad de una arteria restenosada. Esto hace que las medidas de Armonía Matemática Intrínseca tengan unas correlaciones con la morfología del objeto, constituyendo una medida física efectiva, que permite establecer mediciones objetivas de las arterias normales de enfermas (Rodríguez *et al.* 2002).

Este mismo grupo, ampliando los conceptos de variabilidad y de diferencia neta de las dimensiones fractales de la ramificación coronaria izquierda durante la dinámica cardiaca, estableció diferencias entre pacientes con presencia y ausencia de enfermedad arterial oclusiva severa (Rodríguez *et al.* 2004), metodología que fue posteriormente aplicada con éxito a enfermedad arterial oclusiva moderada (Rodríguez *et al.* 2007). El primer concepto es definido como las variaciones en la inicial cifra posterior a la coma, en medidas consecutivas de la dimensión fractal en la totalidad de la secuencia, mientras que la diferencia neta en una secuencia es definida como la diferencia entre el cambio total creciente y el decreciente.

Desde esta perspectiva física y matemática, se ha realizado un diagnóstico clínico de la dinámica cardiaca del adulto, basado en atractores fractales, cuantificados con proporciones de la entropía (Rodríguez, 2010a).

Uno de los campos fructíferos en la aplicación de este tipo de medida es el avance neoplásico, donde se han evidenciado variaciones en las medidas de dimensión fractal, asociadas a alteraciones neoplásicas, en el tejido conectivo epitelial de interfase de la mucosa oral (Landini & Rippin, 1993), mamografías digitales (Pohlman *et al.* 1996; Lefebvre & Benali, 1995) y tumores andrógeno dependientes de ratones (Gazit *et al.* 1997), entre otros.

La evaluación actual de las alteraciones celulares pre-neoplásicas de cuello uterino está basada en la observación cualitativa de características específicas, a partir, de las cuales, se han desarrollado diferentes sistemas de clasificación de grados de lesión, de los que el sistema de Bethesda es uno de los más reconocidos en la actualidad (Peluffo, 2003); sin embargo, ninguna de estas nomenclaturas está basada en una caracterización cuantificable y reproducible, lo cual, lleva a dificultades en la determinación de un diagnóstico preciso o en la diferenciación de anomalías de mayor o menor severidad, intrínseco en un mismo grado de lesión (Lacruz, 2003). Las dificultades actuales de especificidad diagnóstica y pronóstica, se evidencian en la inclusión dentro de la nomenclatura Bethesda, de una denominación especial para cambios celulares no conclusivos, pero potencialmente graves: las células escamosas atípicas o ASC, con el fin de "acotar con más precisión la "zona gris" entre cambios celulares benignos y lesión intraepitelial" (Lacruz, 2003).

Recientemente, Rodríguez y colaboradores desarrollaron una metodología de caracterización matemática de células pre-neoplásicas, con base en medidas fractales de los contornos nuclear y citoplasmático (Rodríguez *et al.* 2006). La presente investigación, se basa en la metodología de caracterización mencionada (Rodríguez *et al.* 2006), en los conceptos de AMI (Rodríguez *et al.* 2002) y la variabilidad de las dimensiones fractales (Rodríguez *et al.* 2004), para establecer un método de ayuda diagnóstica matemático, objetivo y reproducible de lesiones pre-neoplásicas en células epiteliales de cuello uterino, buscando eliminar las ambigüedades diagnósticas y el carácter no reproducible de las clasificaciones actuales.

DEFINICIONES

Dimensión fractal de Box-Counting: Medición del grado de complejidad por evaluación de la rapidez con que varía la longitud, la superficie, el volumen o cualquier otra variable, si medimos respecto a diferentes escalas, en este caso específico, aplicado a objetos en los que existen diferentes superposiciones entre sus partes (Peitgen *et al.* 1992a).

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

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

donde:

N_1 : Número de cuadros que contiene el contorno del objeto con la cuadrícula de partición K.

N_2 : Número de cuadros que contiene el contorno del objeto con la cuadrícula de partición K+1.

K: Grado de partición de la cuadrícula 1.

K+1: Grado de partición de la cuadrícula 2.

D: Dimensión fractal.

Prototipo fractal celular: Conjunto de células de cuello uterino esenciales que representan las diferentes proporciones núcleo – citoplasma de células normales y L-SIL. En éstas, se escogen células denominadas ASCUS, con proporciones núcleo/citoplasma, similares a las normales y a las L-SIL, para hacer dos cálculos fractales de estas observaciones subjetivas.

Armonía Matemática Intrínseca celular y Variabilidad de la dimensión fractal: La diferencia en la primera cifra posterior a la coma en la dimensión fractal al comparar dos de los tres objetos evaluados; núcleo y citoplasma sin núcleo y totalidad; cuantificando la relación de las partes y la totalidad celular en los diferentes estadios.

Relaciones matemáticas: Relaciones establecidas entre las unidades y las cifras significativas de las dimensiones fractales de las partes y la totalidad del objeto medido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron ocho células de placas citológicas vaginales, del archivo personal de muestras de una citóloga experta: cuatro normales (tres superficiales y una intermedia), dos ASCUS y dos L-SIL, diagnosticadas por la citóloga, de acuerdo con el sistema Bethesda. Las células se seleccionaron, luego de un entrenamiento con el método de observación convencional (Bethesda) y se definieron prototipos fractales celulares, que representan proporciones núcleo/citoplasma, claramente diferenciadas, desde las observaciones de células normales, L-SIL y de células ASCUS que, claramente, tenían proporciones núcleo/citoplasma de ambos tipos y se podían corresponder con normalidad o L-SIL, para lograr cuantificar, con las dimensiones fractales estas observaciones subjetivas, permitiendo establecer características matemáticas diferenciales entre células normales y con L-SIL, es decir, diferencias en los valores

característicos de normalidad respecto a los de L-SIL desde la metodología desarrollada, así como determinar, cuantitativamente, la cercanía de las células ASCUS respecto a uno u otro estado celular. Las células, se observaron a un aumento de 100X, a través de microscopio (Nikon Eclipse ε200); posteriormente, se fotografiaron con una cámara digital (Nikon) para, al final, transferirlas, por medio de interfase en serie, a la computadora. Las fotografías tenían dimensiones de 1200 x 1600 píxeles y se observaron al 50% en la computadora para su análisis, mediante un software diseñado para tal fin.

El software, se desarrolló en lenguaje C++; el algoritmo implementado está basado en una función que identifica, por coordenadas, el número de cuadros de la rejilla superpuesta respecto al borde de la imagen seleccionada; posteriormente, la función retorna dicho valor de cuadros ocupados, a una función que evalúa la dimensión fractal, a través de la ecuación de Box-counting. Los parámetros de tamaño de las rejillas son seleccionados por el usuario, por medio de un menú diseñado para tal efecto; finalmente, el valor resultante de la dimensión fractal y de los espacios ocupados por la imagen es visualizado por una ventana emergente de la aplicación. Además de lo anterior, el programa muestra el número de píxeles ocupados por la superficie de la figura. El tiempo de ejecución de la función que evalúa el número de cuadros y calcula la dimensión fractal es del orden de los microsegundos.

Se definieron tres objetos matemáticos a medir: núcleo (N), citoplasma sin núcleo (C) y totalidad (T) de cada célula, calculando su dimensión fractal con el método de Box Counting, a partir de cinco rejillas compuestas por cuadros de 2, 4, 8, 16 y 32mm de lado. El tamaño de las rejillas fue establecido, de acuerdo con la magnitud de las diferencias, empíricamente observadas, en la estructura celular en los diferentes estados pre-neoplásicos, pues estas rejillas permiten dar cuenta de estas diferencias. La linealización de la gráfica, se realizó siguiendo el método descrito por Peitgen *et al.* (1992a).

La dimensión de Box-counting, se obtiene de la pendiente de la recta construida con los puntos, cuyas coordenadas cartesianas son los logaritmos del número de cuadros que ocupa el objeto medido y del inverso multiplicativo del ancho del cuadro, de esta forma, debemos escoger varias cuadrículas para desarrollar este método. Para efectos prácticos es, frecuentemente conveniente, considerar una proporción entre el ancho de una cuadrícula y el de la siguiente y esta proporción es de $\frac{1}{2}$ (Peitgen *et al.* 1992b); por esto fue que se escogieron las rejillas de 32, 16, 8, 4 y 2mm, pues se puede observar que entre el ancho de la primera y de la siguiente hay un factor de $\frac{1}{2}$, y, sucesivamente con las siguientes; además, el método de box-counting es un método en el que se quiere superar el problema de la indeterminación de las medidas al escoger diferentes compases, como en el caso

de la medición de la longitud de la costa de Gran Bretaña, así que las rejillas también deben ser escogidas, teniendo en cuenta, que queremos abarcar la mayoría de detalles del objeto, para obtener una mejor medida de éste; las rejillas escogidas para este trabajo cumplen con este requerimiento, al colocarlas sobre las fotografías de las células.

También, se seleccionaron estas rejillas, pues este trabajo es una continuación de otro (Rodríguez *et al.* 2006), en el que ya se habían empleado estas rejillas, encontrando que se podían realizar medidas fractales, a partir del método de Box-counting, de las células de cuello uterino; sin embargo, las dimensiones fractales aisladas no mostraron diferencias al comparar normalidad con enfermedad, es por esto que es necesario aplicar un nuevo concepto que permita descifrar, numéricamente, las diferencias al hacer este tipo de comparaciones. Las medidas fueron repetidas, para confirmar la precisión de las cuatro cifras decimales. Así como en trabajos previos (Rodríguez *et al.* 2002; 2004; 2007), en los que aplicando nuevos conceptos a medidas de dimensión fractal, se logró evidenciar las diferencias entre normalidad y enfermedad, diferencias que no eran visibles, sólo con las dimensiones fractales.

Las tres medidas de cada célula fueron comparadas por parejas, obteniendo tres valores de AMI y variabilidad para cada célula (citoplasma y núcleo, núcleo y totalidad y citoplasma y totalidad). Se compararon las medidas registradas entre las células, para establecer las diferencias y las similitudes entre ellas. Por el tipo de metodología desarrollado, basado en medidas objetivas y reproducibles de células representativas de cada caso, no se necesita de un gran número de muestras ni análisis estadísticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este es el primer trabajo en el que, a partir de dimensiones fractales del núcleo, del citoplasma sin núcleo y de la totalidad, evaluadas con la variabilidad y AMI celular de la dimensión fractal, entre células clasificadas convencionalmente como normales, ASCUS y L-SIL, se caracteriza matemática y objetivamente el grado de alteración pre-neoplásica de células del epitelio cervicouterino. Esta metodología mejora el diagnóstico clínico cualitativo actual, porque provee información objetiva que diferencia, matemáticamente, células normales de L-SIL y permite descubrir lesiones de bajo grado, que resultan actualmente encubiertas dentro de la clasificación de ASCUS, al eliminar su carácter indeterminado, mediante medidas matemáticas. La célula intermedia es un tipo de célula normal, cuyas relaciones matemáticas resultaron dentro de las normales.

Las dimensiones fractales, se encontraron entre 1,2868 y 1,9146; para el núcleo, se registraron valores entre 1,2868

y 1,6975; para el citoplasma, entre 1,6682 y 1,9146 y para la totalidad, entre 1,6690 y 1,9040. No es posible establecer diferencias entre células normales y L-SIL con base en la observación de dimensiones fractales aisladas.

La variabilidad y AMI de la dimensión fractal osciló entre 0 y 5, tanto al comparar citoplasma y núcleo como al comparar núcleo y totalidad en todos los casos, mientras que presentó variaciones entre 0 y 1, al comparar citoplasma y totalidad (Tabla 1). La evaluación ejecutada, se efectuó mediante el concepto de Variabilidad Fractal (ver definiciones), que permite establecer comparaciones cuantitativas entre los objetos irregulares componentes de la célula definidos; este tipo de cuantificación permite una evaluación objetiva y reproducible de cada caso particular evaluado, según esta metodología, siendo innecesaria la inclusión de medidas estadísticas.

Los valores de AMI y variabilidad de las células con L-SIL oscilaron entre 1 y 2, en la comparación entre núcleo y totalidad, y entre 0 y 1, entre citoplasma y totalidad, mientras que presentó una variabilidad de 2, en la comparación entre citoplasma y núcleo, en ambos casos. Para las células normales, estos valores oscilaron entre 4 y 5, en las comparaciones entre citoplasma y núcleo, así como entre núcleo y totalidad, mientras que la comparación entre citoplasma y totalidad, siempre presentó un valor de 0.

Las células normales presentan, en todos los casos, valores de variabilidad y AMI mayores, en la comparación entre citoplasma y núcleo, y entre núcleo y totalidad y valores iguales o menores, en la comparación entre citoplasma y totalidad, respecto a las células con L-SIL, permitiendo su diferenciación matemática. Las células ASCUS presentan, en un caso, valores similares a los de una célula normal y, en el otro, valores menores, que los de las células L-SIL. Se evidencia, que la disminución de los valores de variabilidad y AMI en las comparaciones entre núcleo y citoplasma y núcleo y totalidad, así como el aumento de este valor en la comparación entre citoplasma y totalidad, se puede relacionar con alteraciones pre-neoplásicas de gravedad, cada vez mayor.

Las células fueron escogidas como prototipos fundamentales, por previas observaciones, conociendo las dificultades pronosticas para hacer objetivas y reproducibles, las observaciones subjetivas, donde eran sugestivas las diferencias de proporción núcleo/citoplasma entre células normales y L-SIL y en donde las células ASCUS se podían corresponder con normalidad o L-SIL, subjetivamente, buscando aclarar este fenómeno cuantitativamente. Los prototipos fractales celulares, al representar las diferencias de proporciones núcleo/citoplasma respecto a normalidad y L-SIL permiten inducir una metodología con una respuesta simple, en donde las células ASCUS, al tener cuantificaciones de normalidad o

Tabla 1. Dimensiones fractales del citoplasma sin núcleo, núcleo y totalidad; Variabilidad Fractal y Armonía matemática Intrínseca celular entre ellas.

Diagnóstico	DIMENSIONES FRACTALES			VARIABILIDAD FRACTAL Y AMI CELULAR		
	C	N	T	CYN	NYT	CYT
Normal	1,8436	1,3722	1,8331	5	5	0
Normal	1,9146	1,5293	1,9040	4	4	0
Normal	1,7433	1,3925	1,7247	4	4	0
Intermedia	1,8705	1,4243	1,8519	4	4	0
ASCUS	1,7296	1,2868	1,6850	5	4	1
L-SIL	1,8353	1,6975	1,8353	2	2	0
L-SIL	1,8013	1,6338	1,7702	2	1	1
ASCUS	1,6682	1,6727	1,6690	0	0	0

C: Citoplasma, N: Núcleo, T: Totalidad.

L-SIL, permiten aclarar cambios estructurales relacionados con la evolución pre-neoplásica y hacia el cáncer de cuello uterino.

La utilización de los sistemas de clasificación, basados en características cualitativas, ha conducido a una “amplia y, a veces, confusa terminología, utilizándose diferentes denominaciones para una misma lesión o, más rara vez, nombrando con el mismo término lesiones diferentes” (Lacruz, 2003). El problema se ve agravado, porque la clasificación ASCUS es empleada para cualquier caso que no sea fácilmente diagnosticable. Las relaciones matemáticas evaluadas constituyen un orden matemático subyacente a las características cualitativas observadas, haciendo innecesario el uso de las clasificaciones actuales al evidenciar, cuantitativamente y de manera reproducible, el grado de alteración pre-neoplásica de la célula, constituyendo un diagnóstico preventivo, que alertaría, con precisión, la presencia de células ASCUS no diferenciables matemáticamente de L-SIL, permitiendo hacer un mejor seguimiento.

La mayoría de los trabajos basados en geometría fractal, se fundamentan en la comparación de medidas fractales aisladas y en la búsqueda de rangos característicos de salud o enfermedad (Landini & Rippin, 1993; Pohlman *et al.* 1996; Lefebvre & Benali, 1995; Gazit *et al.* 1995; Gazit *et al.* 1997); sin embargo, las dimensiones fractales analizadas individualmente no siempre proveen información diagnóstica diferencial. La presente investigación determina órdenes matemáticos desde la geometría fractal, a partir de una aplicación del concepto de Armonía Matemática Intrínseca celular y Variabilidad de la dimensión fractal, desarrollado con base en metodologías previamente desarrolladas (Rodríguez *et al.* 2002; Rodríguez *et al.* 2004). Las ocho células fueron

escogidas por presentar relaciones núcleo citoplasma bien diferenciadas, estableciendo un experimento teórico-práctico, cuyo análisis, por medio del concepto desarrollado, hace de esta metodología una medida física efectiva para la morfología celular, pues permite evaluar, matemáticamente, las relaciones entre las partes y la totalidad de cada célula particular, superando la imposibilidad de realizar afirmaciones individuales, dificultad característica de las metodologías estadísticas, sin necesidad de análisis de grandes volúmenes. Por esta razón, es posible determinar, objetivamente, cuándo una célula ASCUS tiene relaciones de normalidad o de L-SIL y evitar así ambigüedades diagnósticas, potencialmente graves, a nivel clínico.

El concepto de variabilidad fue desarrollado originalmente para evaluar el cambio dinámico en la RCI en el paso de sístole a diástole (Rodríguez *et al.* 2004), mientras que el concepto de AMI permite la observación del orden geométrico supramolecular de capas arteriales (Rodríguez *et al.* 2002). El desarrollo del concepto de Armonía Matemática Intrínseca celular y Variabilidad de la dimensión fractal permite establecer una generalización geométrica que evidencia que los diferentes estadios celulares son un proceso estructural y fisiológico dinámico fractal, constituyendo una medida que cuantifica los cambios reales, a nivel celular del proceso pre-neoplásico, al evidenciar cómo cambia la relación morfológica núcleo-citoplasma.

Los cambios pre-neoplásicos, se caracterizan por alteraciones en el tamaño del núcleo y del citoplasma, así como variaciones en las proporciones entre estos objetos. Estas transformaciones son caracterizadas, cualitativamente en la actualidad y la forma como es utilizada la dimensión fractal de box counting, mediante el establecimiento de las relaciones matemáticas fractales entre partes y totalidad,

permite cuantificar estas diferencias. Del mismo modo, se demostró que las medidas de dimensión fractal evaluadas aisladamente no permitían diferenciar una arteria normal de una restenosada; sin embargo, al observar simultáneamente las arterias normales, “cada arteria sana se diferencia en dimensiones fractales de las Islas 1 y 2 con la totalidad, máximo, en la segunda cifra significativa. En las demás arterias, se puede dar similitud en las medidas de dos de las tres Islas, sin presentarse en las tres” (Rodríguez *et al.* 2002). Por ejemplo, mientras que una arteria restenosada muestra valores de 1,0458, 0,9643 y 1,1699 para Isla 1, Isla 2 e Isla Total, respectivamente, una arteria normal indicó valores de 1,0565 1,0524 y 1,0544. La AMI cuantifica el grado de similitud fractal de estos objetos matemáticos, evidenciando un orden subyacente a la estructura arterial desde la geometría fractal.

Este trabajo sirvió como base para el desarrollo de una generalización objetiva, geométrica y numérica, capaz de abstraer la variabilidad y la complejidad de la estenosis y re-estenosis coronaria y calcular todos los posibles prototipos de arterias normales y enfermas, sin tener en cuenta las clasificaciones experimentales, con base en la Armonía Matemática Intrínseca en el espacio fractal de Box-counting. Con esta metodología, se encontró que las posibilidades de ocupación del espacio fractal son finitas y que se obtiene un total de 69,249 prototipos de arterias, desde la normalidad hasta la oclusión total de la luz (Rodríguez *et al.* 2010). Desde estas metodologías es que se logró establecer una medida general de aplicación a las células de cuello uterino.

En la física moderna, la teoría cuántica (Feynman *et al.* 1987a), la mecánica estadística (Feynman *et al.* 1987b) y la teoría del caos (Crutchfield *et al.* 1990), las causas han dejado de ser el fundamento para entender la naturaleza. En este contexto, se han formulado investigaciones físicas y matemáticas en varias áreas de la medicina, como la dinámica cardiaca (Rodríguez *et al.* 2010a), el estudio de la epidemia de dengue (Rodríguez & Correa, 2009), la biología e inmunología molecular (Rodríguez *et al.* 2009a; Rodríguez *et al.* 2009b; Rodríguez, 2010b) y la dinámica de la malaria en Colombia (Rodríguez, 2009c; Rodríguez, 2010c). De la misma manera en que con diez prototipos fundamentales de la dinámica cardiaca se realiza una metodología diagnóstica basada en predicciones físicas de las proporciones de la entropía de atractores fractales, en este trabajo, de una manera mucho más simple, se establecen medidas generales objetivas y reproducibles, con implicaciones de aplicación clínica (Rodríguez, 2010a).

Para Prigogine (Rañada, 1990), desde la concepción caótico determinista, sólo tenemos ventanas temporales, a través de las cuales, se halla el orden del fenómeno estudiado. No es necesario ni posible aclarar las causas que producen alteraciones pre-neoplásicas. De manera práctica, para

facilitar el diagnóstico clínico, el citólogo puede llevar a cabo una primera evaluación, detectando células normales, L-SIL y/o ASCUS, de acuerdo con la metodología tradicional y luego aplicar a las células de interés o sospechosas, el método diagnóstico desarrollado. Las células que presenten valores cercanos a L-SIL pueden ocultar enfermedad y ser indicadoras, probablemente, de mayor peligrosidad para las pacientes, por lo que se les debería efectuar un seguimiento más riguroso, a través del tiempo. Esta metodología también sería útil para evaluar citologías y correlacionarlas con la aplicación de vacunas, como por ejemplo, del papiloma virus, para estudiar sus efectos en alteraciones pre-neoplásicas.

Limitaciones

La efectividad de la aplicación clínica de la metodología desarrollada está supeditada a múltiples factores intrínsecos al método del examen, pues se debe tener en cuenta ciertos factores, como la técnica colorimétrica utilizada, la presencia de histocitos o los procesos de desecación y glicogenización, que pueden alterar la relación núcleo citoplasma, haciendo que la célula se pueda confundir con una ASCUS. Adicionalmente, los ciclos hormonales naturales implican cambios que requieren un posterior análisis; es así que las células peri-menopáusicas, se confunden con las células intermedias y los días 20 a 22 del período de menstruación, alteran la relación núcleo citoplasma, de tal modo que las células pueden presentar características de una célula ASCUS. Por ello, se recomienda prestar especial atención a este tipo de problemas, en la aplicación de esta metodología.

Para esclarecer el fenómeno de la evolución de las células ASCUS, que tienen valores numéricos similares a las L-SIL, se sugiere un seguimiento clínico de estos casos específicos en el tiempo, pues las medidas indican que existe un mayor riesgo que estos casos presenten L-SIL o evolucionen hacia tal estado, respecto a los casos de ASCUS, con valores similares a los normales.

Agradecimientos: Al grupo Insight, por el apoyo para concretar este sueño. A la citóloga y pedagoga Martha Díaz, por sus sugerencias y la donación de las imágenes citológicas de su banco de datos y a la doctora Carolina Wiesner, por su interés en que se realice el proceso de investigación. A la doctora Stella Huérfano, Ph.D. en Matemáticas, por su interés y apoyo en mis investigaciones. Agradezco la colaboración de la doctora Argenis Bonilla, del laboratorio de Biología, de la Universidad Nacional de Colombia, por facilitarme los equipos de fotografía. **Conflictos de interés:** El autor declara que no existe ningún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Dedicatoria: A todos los Maestros que lo llenan completamente todo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAISH, J.; JAIN, R. 2000. Fractals and Cancer. *Cancer Research* (Estados Unidos). 15(60):3683-3688.
2. CRITCHFIELD, J.; FARMER, D.; PACKARD, N.; SHAW, R. 1990. Caos. En: *Orden y Caos*. Scientific American. Prensa Científica S.A. (Barcelona) p.78-90.
3. FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. 1987a. Comportamiento cuántico. En: Feynman, R.; Leighton, R.B.; Sands, M. *Física Vol 1*. Addison-Wesley Iberoamericana S.A. (Wilmington). p.37-1 – 37-8.
4. FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. 1987b. Leyes de la Termodinámica. En: Feynman R.; Leighton RB, Sands M. *Física Vol 1*. Addison-Wesley Iberoamericana S.A. (Wilmington) p.44-1, 44-19.
5. GAZIT, Y.; BAISH, J.W.; SAFABAKSH, N. 1997. Fractal characteristics of tumor vascular architecture during tumor growth and regression. *Microcirculation*. 4:395-402.
6. GAZIT, Y.; BERK, D.A.; LEUNIG, M. 1995. Scale-invariant behavior and vascular network formation in normal and tumor tissue. *Phys Rev Lett*. 75:2428-2431.
7. GOLDBERGER, A.L.; WEST, B.J. 1987. Fractals in physiology and medicine. *The Yale Journal of Biology*. 60:421-423.
8. LACRUZ, C. 2003. Nomenclatura de las Lesiones Cervicales (de Papanicolau a Bethesda 2001). *Rev Esp. Patol*. 36(1):5-10.
9. LANDINI, G.; RIPPIN, J.W. 1993. Fractal dimensions of epithelial-connective tissue interfaces in premalignant and malignant epithelial lesions of the floor of mouth. *Anal. Quant. Cytol. Histol*. 15:144-149.
10. LEFEBVRE, F.; BENALI, H.A. 1995. Fractal approach to the segmentation of microcalcifications in digital mammograms. *Med. Phys.* (Estados Unidos) 22:381-390.
11. MANDELBROT, B. 2000. ¿Cuánto mide la costa de Bretaña? En: Mandelbrot B. *Los Objetos Fractales*. Tusquets Eds. S.A. (Barcelona) p.27-50.
12. PEITGEN, J.; JÜRGENS, H.; SAUPE, D. 1992. Length area and dimension. Measuring complexity and scaling properties. En: Jürgens, H.; Saupe, D. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. (New York). p.183-228.
13. PEITGEN, J.; JÜRGENS, H.; SAUPE, D. 1992a. Length area and dimension. Measuring complexity and scaling properties. En: Jürgens, H.; Saupe, D. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. (New York). p.202.
14. PEITGEN, J.; JÜRGENS, H.; SAUPE, D. 1992b. Length area and dimension. Measuring complexity and scaling properties. En: Jürgens, H.; Saupe, D. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. (New York). p.213.
15. PELUFFO, M. 2003. *Revoluciones Conceptuales en Patología Cervical*. Editorial Ascune Hnos (Buenos Aires). 10p.
16. POHLMAN, S.; POWELL, K.; OBUCHOWSKI, N.A. 1996. Quantitative classification of breast tumors in digitized mammograms. *Med. Phys.* (Estados Unidos). 23:1337-1345.
17. RAÑADA, A.F. 1990. Introducción. En: *Orden y Caos*. Scientific American. Prensa Científica S.A. (Barcelona) p.4-8.
18. RODRÍGUEZ, J.; MARIÑO, M.; AVILÁN, N.; ECHEVERRI, D. 2002. Medidas fractales de arterias coronarias, un modelo experimental en reestenosis, armonía matemática intrínseca de la estructura arterial. *Rev. Col. Cardiología*. 10(2):65-72.
19. RODRÍGUEZ, J.; ÁLVAREZ, L.; MARIÑO, M.; AVILÁN, N.; PRIETO, S.; CASADIEGO, E.; CORREA, C.; OSORIO, E. 2004. Variabilidad de la dimensión fractal del árbol coronario izquierdo en pacientes con enfermedad arterial oclusiva severa. *Dinámica fractal de la ramificación coronaria*. *Rev. Col. Cardiol*. 11(4):185-92.
20. RODRÍGUEZ, J. 2005. Comportamiento fractal del repertorio T específico contra el alérgeno Poa p.9. *Rev Fac Med Univ Nal Colomb*. 53(2):72-78.
21. 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. Ciencias de la Salud*. (Colombia). 4(2):58-63.

22. RODRÍGUEZ, J.; PRIETO, S.; ORTIZ, L.; WIESNER, C.; DÍAZ, M.; 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):173-180.
23. RODRÍGUEZ, J.; CORREA, C. 2009. Predicción Temporal de la Epidemia de Dengue en Colombia: Dinámica probabilista de la epidemia. *Rev. Salud pública (Colombia)*. 11(3):443-453.
24. RODRÍGUEZ, J.; CORREA, C.; PRIETO, S.; PUERTA, G.; VITERY, S.; BERNAL, P.; SORACIPA, Y.; BOTERO, D. 2009a. Aplicación de la probabilidad y la entropía a la proteína EBA-140. Caracterización matemática de péptidos de alta unión. *Inmunología (España)*. 28(2):65-73.
25. RODRÍGUEZ, J.; BERNAL, P.; CORREA, C.; PRIETO, S.; BENÍTEZ, L.; VITERY, S.; PUERTA, G.; MUÑOZ, D.; ROJAS, I.; SORACIPA, Y. 2009b. Predicción de Unión de Péptidos de MSA-2 y AMA-1 al HLA Clase II: Probabilidad, combinatoria y entropía aplicadas a péptidos. *Inmunología (España)*. 28(3):115-124.
26. RODRÍGUEZ, J. 2009c. Dinámica probabilista temporal de la epidemia de malaria en Colombia. *Revista Med (Colombia)*. 17(2):214-22.
27. RODRÍGUEZ, J. 2010a. Entropía proporcional de los sistemas dinámicos cardiacos. Predicciones físicas y matemáticas de la dinámica cardiaca de aplicación clínica. *Rev. Col Cardiol.* 17(3): En prensa.
28. 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 Medical Physics*, 10:1 doi:10.1186/1756-6649-10-1. Disponible desde Internet en: <http://www.biomedcentral.com/1756-6649/10/1>.
29. RODRÍGUEZ, J.; BERNAL, P.; PRIETO, S.; CORREA, C. 2010b. 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):En prensa.
30. RODRÍGUEZ, J. 2010c. Método para la predicción de la dinámica temporal de la malaria en los municipios de Colombia. *Rev Panam. Salud Pública (Estados Unidos)*. 27(3):211-218.

Recibido: Abril 9 de 2010

Aceptado: Enero 11 de 2011

INTEGRACIÓN DE CONTROL BIOLÓGICO Y DE PRODUCTOS ALTERNATIVOS CONTRA *Tetranychus urticae* (ACARI: TETRANYCHIDAE)

INTEGRATION OF BIOLOGICAL CONTROL AND ALTERNATIVE PRODUCTS AGAINST *Tetranychus urticae* (ACARI: TETRANYCHIDAE)

Alberto Soto¹, Hamilton G. Oliveira², Angelo Pallini³

¹ I.A., M.Sc., Ph.D. Profesor Universidad de Caldas. Calle 65 No 26-10 Manizales, Caldas, Colombia; alberto.soto@ucaldas.edu.co

² Ph.D. Investigador Centro Nacional de Investigaciones en Palma, CENIPALMA, Villavicencio, Colombia; hgomes@cenipalma.org

³ Ph.D. Profesor Universidade Federal de Viçosa. CEP 36570-000, Viçosa, MG, Brasil; pallini@ufv.br

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 23 - 29, 2011

RESUMEN

Tetranychus urticae es una importante plaga asociada al cultivo de fresa debido a las altas densidades poblacionales alcanzadas y a los daños ocasionados a las plantas. Los productores utilizan acaricidas en grandes volúmenes sin cumplir los periodos de carencia, ocasionando residuos tóxicos en los frutos, desarrollo de poblaciones resistentes a los productos, destrucción de organismos benéficos, intoxicación de mamíferos y contaminación del medio ambiente. Por lo tanto, es necesario generar otras alternativas de manejo de este ácaro plaga. El objetivo de este trabajo fue evaluar, mediante el análisis conjunto de la concentración letal y subletal, la acción tóxica de productos comerciales a base de nim sobre los ácaros *T. urticae* y *Phytoseiulus macropilis*. Fueron controladas poblaciones de *T. urticae* en plantas de fresa cuando se emplearon concentraciones correspondientes a CL_{95} de los productos alternativos a base de nim, y también cuando se utilizaron concentraciones inferiores. La aplicación de los productos a base de nim, Neem Pro, Organic Neem y Natuneem en la CL_{95} y cuando la tasa instantánea de crecimiento poblacional $r_i=0,1$ para el predador representan una alternativa viable para el control del ácaro fitófago *T. urticae*.

Palabras clave: Acaro rayado, *Phytoseiulus macropilis*, *Azadirachta indica*, ácaros fitófagos, fresa.

SUMMARY

Tetranychus urticae is an important pest associated with strawberry, due to its high densities and plant damage. Farmers use acaricides in large volumes without complying with the window between the last application and harvest, resulting on toxic residues in fruits, as well as pest populations resistant to pesticides, decrement of beneficial organisms, mammalian toxicity and environmental pollution. Therefore, it is necessary to generate new alternatives for the control of this mite. The aim of this work was to evaluate the toxic effect of commercial neem-based products on the mites *T. urticae* and *Phytoseiulus macropilis*, through a combined analysis using both, lethal and sublethal concentrations. *Tetranychus urticae* populations were controlled in strawberry plants when neem was used at or below LC_{95} concentrations. The application of the neem-based products, Neem Pro, Organic Neem and Natuneem at CL_{95} , and when the instantaneous predator's rate of population increase $r_i = 0.1$, represents a viable alternative to be considered for the control of the phytophagous mite *T. urticae*.

Key words: Striped mite, *Phytoseiulus macropilis*, *Azadirachta indica*, phytophagous mites, strawberry.

INTRODUCCIÓN

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es considerada una de las principales plagas asociadas al

cultivo de fresa. En Brasil, *T. urticae* ocasiona pérdidas hasta del 80% de la producción, debido, principalmente, a su alto potencial reproductivo (Chiavegato & Mischán, 1981). Este hecho ha llevado a los productores a emplear acaricidas en grandes volúmenes, ocasionando altos niveles de residuos tóxicos en los frutos, desarrollo de poblaciones resistentes a los productos, intoxicación de mamíferos y destrucción de organismos benéficos (Hernández & Vendramim, 1996; Sato *et al.* 2000; Venzon *et al.* 2008). La utilización de compuestos naturales extraídos de plantas y la liberación del ácaro predador *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acarí: Phytoseiidae), el cual, presenta gran eficiencia predatoria, puede contribuir con el éxito de programas de manejo integrado de *T. urticae* (García & Chiavegato, 1997; Potenza *et al.* 1999a,b; Gonçalves *et al.* 2001; Brito *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2007).

El nim *Azadirachta indica* A. Juss, cuyo principal compuesto activo es la azadirachtina, presenta elevada acción insecticida y acaricida, bajísima toxicidad al hombre y a animales domésticos (Rembold, 1989; Castagnoli *et al.* 2000; El-Gengaihi *et al.* 2000; Mourão *et al.* 2004). El producto se ha mostrado bastante promisorio en el manejo integrado de ácaros fitófagos, causando mortalidad, reducción de la fecundidad, deterrencia, inviabilidad de formas inmaduras y repelencia (Dimetry *et al.* 1993; Mansour *et al.* 1993; Spollen & Isman, 1996; Momen *et al.* 1997; Schmutterer, 1997; Castiglioni *et al.* 2002; Brito *et al.* 2006; Soto *et al.* 2010). Además, la planta posee multiplicidad de compuestos, como la solanina, la azadiradiona y la azadirachtina, dificultando el surgimiento de poblaciones resistentes (Viegas Jr., 2003).

Individuos que sobreviven a la exposición a pesticidas pueden sufrir efectos subletales (Venzon *et al.* 2008). Estos efectos pueden ser manifestados a través de la reducción en el período de vida, disminución de fertilidad, reducción de la fecundidad, cambios en la razón sexual y en el comportamiento de alimentación y oviposición (Vinson, 1974; Stark *et al.* 1992; Stark & Rangus, 1994).

Por lo tanto, la verificación solamente de efectos letales sobre los organismos podrá no detectar importantes efectos sobre los herbívoros y los enemigos naturales. Los parámetros que definen el efecto letal o subletal son las concentraciones empleadas de los productos (Venzon *et al.* 2008).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos letales y subletales de productos derivados de nim sobre los Ácaros *T. urticae* y *P. macropilis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo, se realizó en el laboratorio de Acarología del Departamento de Biología Animal, de la Universidade

Federal Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Fueron estudiados los efectos letales y subletales de los productos comerciales a base de nim, con la concentración de azadirachtina: Neem Pro (10mg/L de azadirachtina), Natuneem (1,5mg) y Organic Neem (3,3mg) sobre *T. urticae* y *P. macropilis*.

Para determinar la selectividad de compuestos a enemigos naturales han sido aplicados, en gran medida, los índices de toxicidad diferencial, normalmente, determinados a través de test de toxicidad aguda, con el uso de las concentraciones letales (CL) estimadas (Sato *et al.* 2002; Stark & Banks, 2003). A pesar de ser una medida importante, la CL es una medida incompleta de los efectos de productos químicos sobre poblaciones, pues analiza solamente la mortalidad, como parámetro de toxicidad.

El análisis de la tasa de crecimiento poblacional ha sido recomendado en conjunto con el cálculo de la CL, para el estudio de efectos tóxicos a artrópodos en laboratorio, ya que combinan efectos letales y subletales (Walthall & Stark, 1997). La tasa instantánea de crecimiento poblacional (ri) es una medida directa de crecimiento poblacional en determinado período de tiempo pudiendo ser adoptada para predecir el crecimiento poblacional de artrópodos (Walthall & Stark, 1997)

Fueron estimadas las concentraciones letales (CL) de los productos a base de nim para hembras adultas de *T. urticae* y *P. macropilis*. Las concentraciones evaluadas fueron escogidas a través de bioensayos iniciales y se situaron entre el límite inferior, donde el producto no causó mortalidad y el límite superior de respuesta, donde generó 100% de mortalidad para cada especie.

Los bioensayos de concentración-respuesta fueron realizados utilizándose hembras de los ácaros *T. urticae* y *P. macropilis*, al inicio de la fase reproductiva. Los productos fueron pulverizados en discos ($\varnothing = 3,0\text{cm}$) de hojas de fresa, acondicionados en caja de Petri, a través de torre de Potter, Burkard, Rickmansworth, UK (Potter, 1952), sobre la presión de 5lb/pul² y con la aplicación de un volumen igual a 2,5mL por dosis, lo que corresponde a un depósito de $1,70 \pm 0,07\text{mg/cm}^2$, sobre la superficie tratada. Esta cantidad aplicada está de acuerdo con lo recomendado por la IOBC/WPRS (Internacional Organization for Biological Control of Noxious Animals and Plants/ West Palearctic Regional Section) (Overmeer & Van Zon, 1982) y representa lo que ocurre en situación de campo (Reis *et al.* 1998). Para la fijación del disco en la placa, se preparó una solución de carragenina (30g/300mL de agua), siendo que el disco fue colocado antes que la solución se solidificara.

Los discos asperjados con los productos y con agua (testigo) fueron expuestos al ambiente por una hora, para el secado del producto; posteriormente, ocho hembras de los ácaros *T. urticae* fueron colocadas sobre cada disco. Para *P. macropilis*

(igualmente a lo realizado para *T. urticae*), los discos de hojas de fresa fueron pulverizados, secos e infestados con *T. urticae*; después, los discos recibieron ocho hembras del ácaro predador *P. macropilis*; cada concentración del producto fue repetida cinco veces. Los discos de hojas tratados fueron mantenidos en cámara climatizada ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, $60 \pm 10\%$ HR y 13h de luz); la mortalidad fue evaluada 24h después a la aplicación de los productos y las curvas de concentración-mortalidad fueron estimadas por el análisis de Probit (Finney, 1971).

La evaluación de la acción subletal de los productos alternativos a base de nim sobre el ácaro fitófago *T. urticae* y el predador *P. macropilis* fue aplicada utilizando la misma metodología citada para la evaluación de la acción letal de los productos; el tiempo de evaluación fue de cinco días.

Para cada concentración de cada producto fueron realizadas cinco repeticiones, donde cada una fue representada por un disco con ocho hembras de *T. urticae*. Los ácaros fueron mantenidos en cámaras climatizadas sobre las mismas condiciones descritas en los experimentos de toxicidad letal. La evaluación del efecto subletal, se realizó a través de la estimativa de la tasa instantánea de crecimiento (r_i), por la siguiente fórmula (Stark & Banks, 2003):

$$r_i = \ln (N_f / N_0) / \Delta t$$

Donde N_f es el número final de individuos, N_0 es el número inicial de individuos, Δt es la variación de tiempo (duración del experimento cinco días). El valor positivo de r_i , significa que la población está en crecimiento; $r_i = 0$, indica que la población está estable, mientras que un valor negativo de r_i señala que la población está en descenso y en vías de extinción. El análisis de regresión, se aprovechó para la evaluación de r_i en función de las concentraciones utilizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Toxicidad letal

Para el Neem Pro fueron obtenidas Cl_{50} de 0,06 y 0,07 mg/L de azadirachtina para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente. Las Cl_{95} fueron de 0,27 y 0,22 mg i.a/L para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Tablas 1 y 2).

El ácaro predador *P. macropilis* presentó mayor selectividad al producto Neem Pro (1,2 veces más resistente que *T. urticae*), lo que indica que en la concentración de 0,06 mg i.a/L de este producto comercial, se controla el ácaro fitófago *T. urticae* y no se afecta el predador. La toxicidad o selectividad a los ácaros puede variar, sobre todo, en función del solvente utilizado en la extracción, parte de la planta procesada y concentración aplicada (Mansour & Ascher, 1983; Mansour *et al.* 1987; Castiglioni *et al.* 2002; Mourão *et al.* 2004) (Tablas 1 y 2).

Para Organic Neem fueron obtenidas Cl_{50} de 0,29 y 0,17mg/L de azadirachtina para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente. Las Cl_{95} fueron de 0,82 y 0,70mg i.a/L para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Tablas 1 y 2).

Respecto a Natuneem, las Cl_{50} fueron de 0,95 y 0,41mg/L de azadirachtina para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente. Las Cl_{95} fueron de 2,88 y 1,49mg i.a/L del producto comercial para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Tablas 1 y 2).

Fueron controladas poblaciones de *T. urticae* en plantas de fresa cuando se aplicaron concentraciones correspondientes a CL_{95} de los productos alternativos a base de nim y también cuando se utilizaron concentraciones inferiores. En estas concentraciones, la tasa de crecimiento poblacional de *T. urticae* es igual a cero.

Tabla 1. Toxicidad de los productos a base de nim al ácaro fitófago *T. urticae*.

Producto	N ¹	Coefficiente Angular \pm EP ²	Cl_{50} ³ (I.C. a 95%)	Cl_{95} ⁴ (I.C. a 95%)	χ^2	P
Neem Pro	280	0,19 \pm 0,01	0,06 (0,05 - 0,07)	0,27 (0,20 - 0,43)	0,33	0,86
Organic Neem	280	0,12 \pm 0,23	0,29 (0,26 - 0,32)	0,82 (0,69 - 1,04)	0,38	0,79
Natuneem	280	0,34 \pm 0,10	0,95 (0,29 - 1,08)	2,88 (1,47 - 3,79)	0,62	0,75

¹ Número de ácaros evaluados

² Coeficiente angular y error patrón de la media

³ Concentración letal media e intervalo de confianza al 95%

⁴ Concentración letal que causa 95% de mortalidad e intervalo de confianza al 95%

Tabla 2. Toxicidad de los productos a base de nim al ácaro predador *P. macropilis*.

Producto	N ¹	Coefficiente Angular ± EP ²	CI ₅₀ ³ (I.C. a 95%)	CI ₉₅ ⁴ (I.C. a 95%)	X ²	P
Neem Pro	185	0,61 ± 0,10	0,07 (0,06 – 0,08)	0,22 (0,19 – 0,29)	0,79	0,99
Organic Neem	220	0,65 ± 0,14	0,17 (0,14 - 0,21)	0,70 (0,60 - 1,05)	0,68	0,92
Natuneem	330	0,69 ± 0,07	0,41 (0,36- 0,47)	1,49 (1,23 - 1,93)	0,35	0,89

¹ Número de ácaros evaluados

² Coeficiente angular y error patrón de la media

³ Concentración letal media e intervalo de confianza al 95%

⁴ Concentración letal que causa 95% de mortalidad e intervalo de confianza al 95%

Efecto subletal

Para Neem Pro, la tasa instantánea de crecimiento poblacional fue igual a cero, en las dosis de 0,20 y 0,13mg i.a/L del producto comercial para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Figura 1 A y B).

En cuanto a Organic Neem, la tasa instantánea de crecimiento poblacional fue igual a cero, en las dosis de 0,56 y 0,39mg i.a/L del producto comercial para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Figura 2 A y B).

Relativo a Natuneem, la tasa instantánea de crecimiento poblacional fue igual a cero en las dosis de 2,02 y 1,43mg i.a/L del producto comercial para *T. urticae* y *P. macropilis*, respectivamente (Figura 3 A y B).

La obtención del control de *T. urticae*, a bajas concentraciones, representa un gran avance en relación a los estudios que buscan el control de ese ácaro, considerado una de las más importantes plagas del cultivo de fresa.

La aplicación de dosis subletales de los productos a base de nim en la población, se manifiesta en la reducción de la fecundidad, deterrencia, inviabilidad de formas inmaduras y repelencia, presentando, normalmente, selectividad para los enemigos naturales (Dimetry *et al.* 1993; Castiglioni *et al.* 2002; Schmutterer, 1997). Los productos a base de nim en las concentraciones manejadas, no afectaron al predador *P. macropilis*.

La aplicación de los productos a base de nim Neem Pro, Organic Neem y Natuneem representan una alternativa viable para el control del ácaro fitófago *T. urticae* en plantas de fresa, que se pueden integrar dentro de un programa de manejo integrado de dicha plaga, en concentraciones de azadirachtina, que posibiliten efectos negativos sobre el ácaro fitófago *T. urticae*, y que no afecte al ácaro predador *P. macropilis*.

Agradecimientos: A la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Brazil, por el financiamiento de la investigación. Conflictos de intereses:

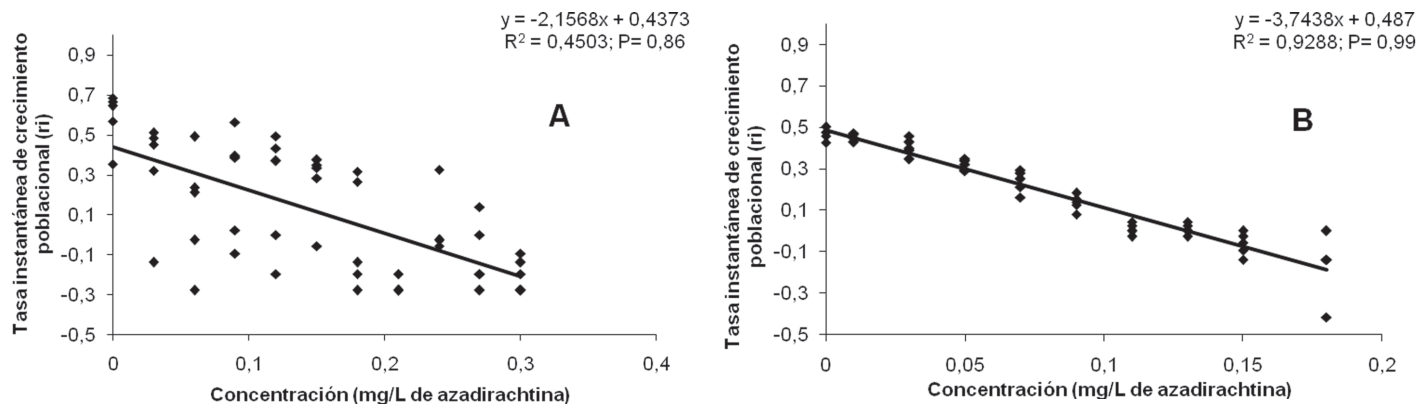


Figura 1. Tasa instantánea de crecimiento poblacional (r) del ácaro A. *T. urticae* y B. *P. macropilis*, en función de la aplicación de concentraciones del producto comercial Neem Pro.

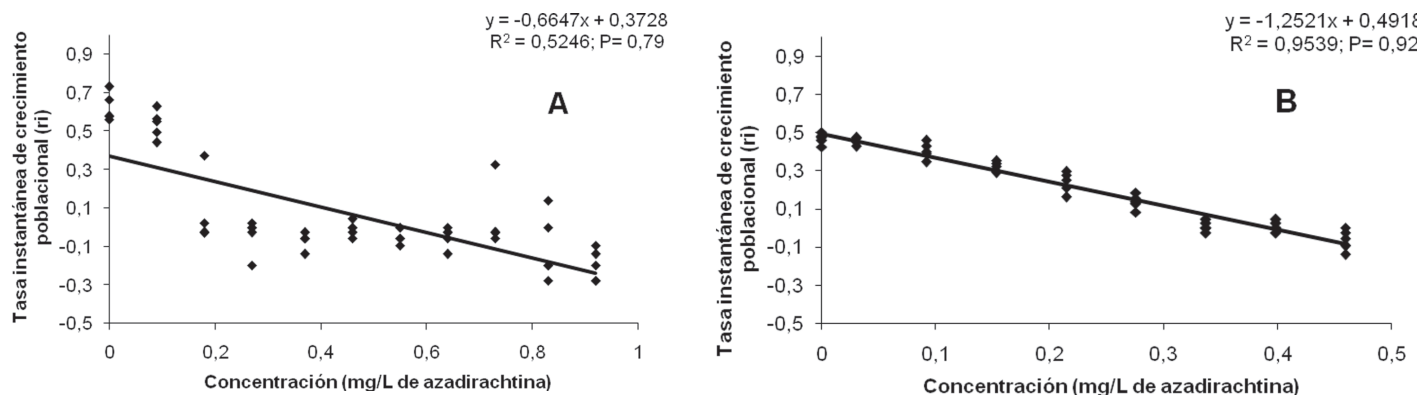


Figura 2. Tasa instantánea de crecimiento poblacional (r_i) del ácaro **A.** *T. urticae* y **B.** *P. macropilis*, en función de la aplicación de concentraciones del producto comercial Organic Neem.

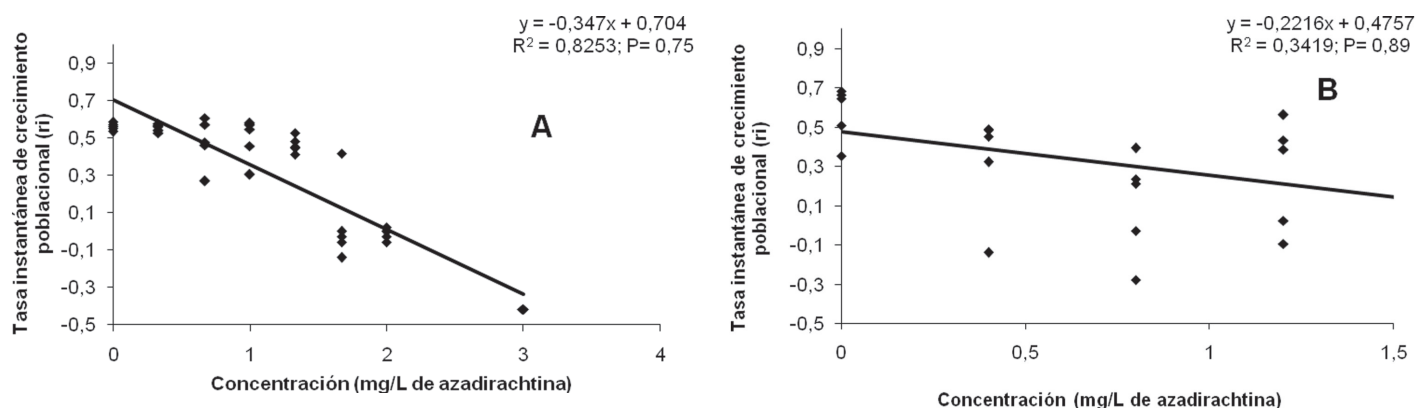


Figura 3. Tasa instantánea de crecimiento poblacional (r_i) del ácaro **A.** *T. urticae* y **B.** *P. macropilis*, en función de la aplicación de concentraciones del producto comercial Natuneem.

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

- BRITO, H.M.; GONDIM, M.G.C.; OLIVEIRA, J.V.; GOMES, C.A. 2006. Toxicidade de Natuneem sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e ácaros predadores da família Phytoseiidae. *Ciência e Agrotecnología*, Lavras 30(4):685-691.
- CASTAGNOLI, M.; SIMONI, S.; GOGGIOLI, D. 2000. Attività biológica di sostanze vegetali nei confronti di *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) e del suo predatore *Neoseiulus californicus* (Mcgregor) (Acari: Phytoseiidae). *Redia*. 83:141-150.
- CASTIGLIONI, E.; VENDRAMIM, J.D.; TAMAI, M.A. 2002. Evaluación del efecto tóxico de extractos acuosos y derivados de meliáceas sobre *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae). *Agrociencia*. 6:75-82.
- CHIAVEGATO, L.G.; MISCHAN, M.M. 1981. Efeito do ácaro *Tetranychus (T.) urticae* (Koch, 1836) Boudreux; Dosse, 1963 (Acari: Tetranychidae) na produção no morangueiro (*Fragaria* spp) CV. *Científica*, Campinas 9:257-266.
- DIMETRY, N.Z.; AMER, S.A.A.; REDA, A.S. 1993. Biological activity of two neem seed kernel extracts against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *J. Appl. Entomol.* 116:308-312.
- EL-GENGAIHI, S.; DIMETRY, N.Z.; AMER, S.A.A.; S.M. MOHAMED, S.M. 2000. Acaricidal activity of lipoidal

- matter of different plant extracts against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch. Insect Science and its Application. 20(3):191-194.
7. FINNEY, D.J. 1971. Probit analysis. Cambridge: Cambridge University Press. 333p.
 8. GARCÍA, I.P.; CHIAVEGATO, L.G. 1997. Respostas funcional e reprodutiva de *Phytoseiulus macropilis* (Banks, 1905) (Acari: Phytoseiidae) a diferentes densidades de ovos de *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae). Científica 25:35-43.
 9. GONÇALVES, M.E.C.; OLIVEIRA, J.V.; BARROS, R.; TORRES, J.B. 2001. Efeito de extratos vegetais sobre estágios imaturos e fêmeas adultas de *Mononychellus tanajoa* (Bondar) (Acari:Tetranychidae). Neotropical Entomology, Londrina. 30(2):305-309.
 10. HERNÁNDEZ, C.R.; VENDRAMIM, J.D. 1996. Toxicidade de extratos aquosos de Meliácea em *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Manejo Integrado de Pragas, Turrialba. 42:12-22.
 11. MANSOUR, F.A.; ASCHER, K.R.S.; ABO-MOCH, F. 1993. Effects of Margosan-OTM, AzatinTM and RD9-Repelin on spiders, and on predacious and phytophagous mites. Phytoparasitica. 21(3):205-211.
 12. MANSOUR, F.A.; ASCHER, K.R.S. 1983. Effects of neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extracts from different solvents on the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. Phytoparasitica. 11:177-185.
 13. MANSOUR, F.A.; ASCHER, K.R.S.; OMARI, N. 1987. Effects of neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extracts from different solvents on the predacious mite *Phytoseiulus persimilis* and the phytophagous mite *Tetranychus cinnabarinus*. Phytoparasitica. 15:125-130.
 14. MOMEN, F.M.; REDA, A.S.; AMER, S.A.A. 1997. Effect of Neem Azal-F on *Tetranychus urticae* and three predacious mites of the family Phytoseiidae. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica 32:355-362
 15. MOURÃO, S.A.; SILVA, J.C.T.; GUEDES, R.N.C.; VENZON, M.; JHAM, G.N.; OLIVEIRA, C.L.; ZANUNCIO, J.C. 2004. Seletividade de extratos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) ao ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* (Denmark & Muma) (Acari: Phytoseiidae). Neotropiocal Entomology. 33:613-617.
 16. OLIVEIRA, H.; JANSSEN, M.; PALLINI, A.; VENZON, M.; FADINI, M.A.; DUARTE, M. 2007. A phytoseiid predator from the tropics as potencial biological control agent for the spider mite *Tetranychus urticae* Kock (Acari: Tetranychidae). Biological Control. 42: 105-109.
 17. OVERMEER, W.P.J.; VAN ZON, A.Q. 1982. A standardized method for testing the side effect of pesticides on the predaceous mite, *Amblyseius potentillae* (Acari: Phytoseiidae). Entomophaga. 27:357-364.
 18. POTTER, C. 1952. An improved laboratory apparatus for applying direct sprays and surface films, with data on the electrostatic charge on atomized spray films. Annals of Applied Biology. 39:1-29.
 19. POTENZA, M.R.; TAKEMATSU, A.P.; SIVIERI, A.P.; SATO, M.E.; PASSEROTTI, C.M. 1999a. Efeito acaricida de alguns extratos vegetais sobre *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) em laboratório. Arquivos do Instituto Biológico. 66:31-37.
 20. POTENZA, M.R.; TAKEMATSU, A.P.; BENEDICTO, L.H. 1999b. Avaliação do controle de *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) (Acari: Tetranychidae) através de extratos vegetais, em laboratório. Arquivos do Instituto Biológico. 66:91-97.
 21. REIS, P.R.; CHIAVEGATO, L.G.; MORAES, G.J.; ALVES, E.B.; SOUSA, E.O. 1998. Seletividade de agroquímicos ao ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil. 27:265-274.
 22. REMBOLD, H. 1989. Azadirachtins: Their structure and mode of action. In: Arnason, J.T.; Philogene, B.J.R.; Morand, P. (eds.), Insecticides of plant origin. Washington, American Chemical Society. p.150-163.
 23. SATO, M.E.; PASSEROTTI, C.M.; TAKEMATSU, A.P.; SOUZA Filho, M.F.; POTENZA, M.R.; SIVIERI, A.P. 2000. Resistência de *Tetranychus urticae* (Koch, 1836) a acaricidas, em pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch) em Paranapanema e Jundiá-SP. Arquivos do Instituto Biológico. 67(1):117-123.
 24. SATO, M.E.; SILVA, M. DA; GONÇALVES, L.R.; SOUZA FILHO, M.F. DE.; RAGA, A. 2002. Toxicidade diferencial de agroquímicos a *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) e *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) a morangueiro. Neotropical Entomology, Londrina. 31(3):449-456.

25. SCHMÜTTERER, H. 1997. Insect growth-disrupting and fecundity reducing ingredients from the neem and chinaberry trees. In: E.D. Morgan, E.D.; Mandava, N.B. (eds.), CRC Handbook of natural pesticides. Florida, CRC series in naturally occurring pesticides. p.119-170.
26. SOTO, A.; VENZON, M.; OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, H.; PALLINI, A. 2010. Alternative control of *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard (Acari: Tetranychidae) on tomato plants grown in greenhouses. Neotropical Entomology. 39(4):363-368.
27. SPOLLEN, K.M.; ISMAN, M.B. 1996. Acute and sublethal effects of a neem insecticide on the commercial biological control agents *Phytoseiulus persimilis* and *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). J. Econ. Entomol. 89:1379-1386.
28. STARK, J.D.; RANGUS, T. 1994. Lethal and sublethal effects of the neem insecticide, Margosan-O, on pea aphid. J. Pest Science. 41:155-160.
29. STARK, J.D.; VARGAS, R.I.; MESSING, R.H.; PURCELL, M. 1992. Effects of cyromazine and diazinon on three economically important Hawaiian Tephritidae fruit flies (Diptera: Tephritidae) and their endoparasitoids (Hymenoptera: Braconidae). J. Econ. Entomol. 85:1687-1694.
30. STARK, J.D.; BANKS, J.E. 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. Ann. Ver. Entomol. 48:505-519.
31. VENZON, M.; OLIVEIRA, H.; SOTO, A.; OLIVEIRA, R.M.; FREITAS, R.C.P.; LOPES, I.P.C. 2008. Potencial de produtos alternativos para o controle de pragas. In: Poltronieri, L.S.; Ishida, A.K.N. (eds.). Métodos alternativos de controle de insetos-praga, doenças e plantas daninhas. Belém, Embrapa Amazônia Oriental. p.263-287.
32. VIEGAS, JR., C. 2003. Terpenos com atividade inseticida: Uma alternativa para o controle químico de insetos. Química Nova. 26:390-400.
33. VINSON, S.B. 1974. Effect of an insect growth regulator on two parasitoids developing from treated tobacco budworm larvae. J. Econ. Entomol. 67:335-336.
34. WALTHALL, W.K.; STARK J.D. 1997. Comparison of two population-level ecotoxicological endpoints: the intrinsic (r_m) and instantaneous (r_i) rates of increase. Environmental Toxicology and Chemistry. 16:1068-1073.

Recibido: Febrero 9 de 2011

Aceptado: Abril 13 de 2011

GROWTH OF BANANA PASSIONFRUIT SEEDLINGS (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) UNDER SALINE STRESS

CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CURUBA (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) BAJO ESTRÉS SALINO

Fánor Casierra-Posada¹, Jaime E. Peña-Olmos¹, Edwin Tejedor²

¹ Pedagogical and Technological University of Colombia. Faculty of Agricultural Sciences. Plant Ecophysiology Research Group. Avenida Central del Norte, Tunja / Colombia. ² Sena Regional Casanare. Corresponding author: fanor.casierra@uptc.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 31 - 38, 2011

SUMMARY

High salinity in the root zone affects the growth of many plant species. Soil salinity can lead to reduced emergence and low growth of seedlings. The objective of this study was to evaluate the growth of banana passion fruit (*P. tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) seedlings under saline stress. The salinity effect on growth and dry matter (DM) production of banana passionfruit seedlings was evaluated under greenhouse conditions at Tunja / Colombia. Plantlets were grown in plastic bags filled with soil and 0; 20; 40 and 80mM NaCl were added to the soil, which induced the following different electrical conductivity levels: 0.70; 2.38; 3.47 and 5.49 dS m⁻¹ respectively. Salt was added gradually to the soil, up to the mentioned concentration. Results indicate significant differences among treatments. Plants of the control treatment without salt had higher number of leaves, total stem + shoot length, specific leaf weight, leaf area and DM in relation to salt treated plants. Leaf area and DM production were drastically reduced by salinity, especially by 80mM NaCl. The DM partitioning was also affected by salinity, reducing dry matter accumulation in leaves and increasing the DM in petioles + stems + shoots and roots. The findings from the study indicate that banana passionfruit seedlings are moderately sensitive to salt stress.

Key words: Salinity, dry matter, leaf area

RESUMEN

Las altas concentraciones de sales en la zona cercana a la raíz afectan el crecimiento de muchas especies de plantas. La salinidad en el suelo conduce a la reducción de la emergencia de plántulas y además ocasiona un crecimiento pobre de las mismas. El efecto de la salinidad sobre el crecimiento y producción de materia seca (MS) en plántulas de curuba fue evaluado bajo condiciones de invernadero en Tunja / Colombia. Las plántulas crecieron en bolsas plásticas con suelo en el que se adicionó NaCl en diferentes concentraciones; 0; 20; 40 y 80mM, las cuales indujeron diferentes niveles de conductividad eléctrica: 0,70; 2,38; 3,47 y 5,49 dS m⁻¹ respectivamente. La aplicación de sal al suelo, se realizó de forma gradual hasta llegar a la concentración indicada en cada tratamiento. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Las plantas del tratamiento control tuvieron un mayor número de hojas, longitud total de tallos y ramas, peso específico de las hojas, área foliar y MS con relación a las plantas tratadas con sal. El área foliar y la producción de MS se vio fuertemente reducida por la salinidad, especialmente en el tratamiento con 80 mM de NaCl. La distribución de MS también se vio afectada por la salinidad, de tal forma que se redujo acumulación de MS en las hojas e incrementó en los tallos, las ramas y las raíces. Los resultados obtenidos indican que las plántulas de curuba son moderadamente sensibles al estrés salino.

Palabras clave: Salinidad, materia seca, área foliar.

INTRODUCTION

In 2009, 1.323ha of banana passionfruit were cultivated in Colombia and the department of Boyacá participated with 52.6% of the total area in the country (Agronet, 2010). In the Boyacá region, fruit cultivation under non-irrigated conditions has increased considerably, mainly due to the lack of economic resources of farmers for the installation of irrigation systems. This production system causes solute concentration in soil mainly during the dry season, triggering osmotic stress to plants. Modern agriculture management practices also worsen the extent of salinity by remobilizing salts from deep soil layers, therefore, salinity also occur in non-irrigated environments. The soil salinity problem can be reduced through two approaches. One is to make a technology available to users aimed to reclaiming these soils, while the other is based on biological exploitation of such soils through cultivation of salt tolerant plant species (Guasmi *et al.* 2007).

Many crop species are very sensitive to soil salinity and are known as glycophytes, whereas salt-tolerant plants are known as halophytes. In general, glycophytes cannot grow at 100mM NaCl, whereas halophytes can grow at salinities over 250mM NaCl (Hu & Schmidhalter, 2005). Salinity-sensitive plants restrict the uptake of salt and strive to maintain an osmotic equilibrium by the synthesis of compatible solutes such as prolines, glycine betaine and sugars. Salinity-tolerant plants have the capacity to sequester and accumulate salt into the cell vacuoles, thus preventing the buildup of salt in the cytosol and maintaining a high cytosolic K^+/Na^+ ratio in their cells. Because of the competition of Na^+ and Cl^- with other nutrients such as K^+ , Ca^{2+} , and NO_3^- , which reduce plant growth by affecting the availability, transport, and partitioning of nutrients, high salinity stress causes nutrient imbalances (Hameed *et al.* 2010).

Some plants present a moderate tolerance to salinity per sodium chloride, like naranjilla (*Solanum quitoense*), that accumulates chloride and sodium ions in tissues, a condition that permits a classification of plant resistance to moderate salinity (Casierra-Posada *et al.* 2000). However, genotypic differences in salt tolerance between different species or plant varieties, for growth parameters in plants were found (Casierra-Posada & García, 2005; Casierra-Posada *et al.* 2006). On the other hand, fruits are also severely affected by salinity. While salt stress also increases the percentage of protein, fiber, fat, total soluble solids and carbohydrates in fruits of NaCl-treated plants, water content is reduced by salt excess (Casierra-Posada & García, 2006; Casierra-Posada *et al.* 2009).

There is lack of information on the response of banana passionfruit plants to salinity; however, some studies were

carried out using yellow passion fruit, *Passiflora edulis*, which may be useful to understand the behavior of banana passionfruit plants exposed to salt stress, since both species belong to the same genus. NaCl-salinity delayed the germination process in *P. edulis*, but relative reduction was observed only above EC_w 4.43 $dS\ m^{-1}$ (Soares *et al.* 2002; Fischer *et al.* 2009). These authors found that seedling vigor and growth decreased with increased salinity, however, water at 4 $dS\ m^{-1}$ resulted in 85% of vigor and seedlings with more than 50% growth in comparison to 1.0 $dS\ m^{-1}$ (lowest salinity treatment). Based on soil salinity the passion fruit may be considered as moderately tolerant to salinity during the initial phase.

Unlike previous authors, Nyagah & Musyimi (2009) categorized passion fruits seeds as very sensitive to salt stress. Their results showed that sodium chloride solution treatment reduced percentage germination of passion fruit seeds, radicle and plumule growth. Thus, the higher salinity reduces the absorption of water and nutrients and carbon accumulation into yellow passion fruit seedlings. This could be explained since with salinity stress the stomata of the seedlings of yellow passion fruit closes in order to minimize the water loss and in this way result in lower production of leaf number, affecting significantly the production of dry matter. It can be inferred that the seedlings of yellow passion fruit begin to experience differences from a high level of salinity (Soares *et al.* 2002).

Meza *et al.* (2007) share the opinion of Nyagah & Musyimi (2009) in relation to the high sensitivity of *P. edulis* plants on the basis that the germination percentage of passion fruit was affected negatively and significantly with the increment of the saline concentrations. At emergency beginning, plantlets were not affected, while the percentage of total emergency showed significant differences, with trend to diminish when total salt concentration increases. The highest emergency percentage was 79% with the lowest concentration (0.75 $dS\ m^{-1}$) and the less, 48.6% was 6.5 $dS\ m^{-1}$, the most saline.

In the passion fruit crops, salinity responses have been studied in a very limited way; tolerance level to salinity in the growing stages and plant development of banana passionfruit (*P. tripartita* var. *mollissima*) is unknown. Because of the lack of information about salinity limit indicated for this species, the objective of this study was to evaluate the growth of seedlings of passion fruit (*P. tripartita* var. *mollissima*) under saline stress.

MATERIALS AND METHODS

Plant growth conditions: The study was conducted in a greenhouse at the Pedagogical and Technological University

of Colombia (UPTC), Tunja / Colombia (5°33'16,25"N; 73°21'9,14"O) at 2790m.a.s.l. *Passiflora tripartita* var. *mollissima* seeds were sown in a mixture 1:1 of soil and peat. Average growth conditions inside the greenhouse were: photosynthesis photon flux 782.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 15.8°C temperature and 72% relative humidity. Four weeks after germination, single seedlings were transplanted to plastic bags filled with soil. Four concentration of salt (0; 20; 40 and 80 mM NaCl) were tested which induced different electrical conductivity (EC) levels (0.70; 2.38; 3.47 and 5.49 dS m^{-1} , respectively). The soil in the bags was slowly salinized four weeks after planting until the calculated NaCl concentration was reached.

Growth measurements: Plants were harvested twelve weeks after transplanting. Then they were dried to determine total dry weight and dry weight of each plant organ (roots, petioles + stem + shoots and leaves), by drying in an oven at 70 °C for 48 h. The specific leaf weight (mg cm^{-2}) was obtained as a ratio between the total dry weight of leaves and leaf area of the same plant. The leaf area was measured using an analyzer LI-3000-A (LI-COR, Lincoln, USA).

Statistical analysis: All factors were evaluated in a completely randomized design with a factorial arrangement for four treatments. Treatments were: 0; 20; 40 and 80mM NaCl. For measuring of growth parameters, 10 seedlings were taken. Each seedling was taken as a repetition. All data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SPSS 17.0.0, taking $p < 0,05$ as significant, followed by a post hoc Tukey test.

RESULTS AND DISCUSSION

For the number of leaves per plant, the total stem and shoots length and the specific leaf weight, significant difference ($p < 0.01$) was found regarding exposure of plants to different salinity levels (Table 1). For these three parameters, it was

noted that, despite salinity effects the growth, this is not so severe at a level of 40mM NaCl, while the concentration of 80mM drastically reduced growth in values of 86.80 and 41.64% in relation to control plants, for the number of leaves per plant and total stem and shoots length, respectively, as the specific leaf weight increased in a 88.34%.

In this study, salinity reduced the number of leaves per plant. In fact, in several species such as mangrove, an increase in soil salinity decreases the number of leaves per plant (Clough, 1984; Ball & Pidsley, 1995). Leaf production and leaf death rates, as well as leaf life span have important physiological consequences for the whole plant, since they determine the total leaf surface area per plant and the rate of leaf turnover, linked to the carbon and nutrient economy of the plant (Ackerly & Bazzaz, 1995; Casper *et al.* 2001). Clough (1984) found that an increase in salinity in seawater from 25 to 50‰ caused an increase of up to five times of the leaf mortality over a twelve months period in other mangrove species. Thus, the capacity of the plant to increase the leaf area, probably depends on both its capacity to avoid the increase in ion concentration in leaf tissues and on the maintenance of higher rates of leaf production than of leaf death (Munns & Termaat, 1986). Similarly, when salinity reaches maximal levels during the dry season, a progressive increase in senescence of older leaves occurs in combination with a decrease in leaf initiation and, under these conditions, a fluctuation in salinity may contribute to the survival of the species (Ball & Pidsley, 1995).

In the current study, in agreement with previous studies, salinity reduced plant height. In tomato, all growth parameters, such as plant height, leaf area, total chlorophyll and K^+ contents, fresh weight of areal parts and percentage of dry weight of areal parts, as well as yield and some yield quality parameters, responded negatively to an increase in the salinity level (Tantawy *et al.* 2009). Height of lemon balm herb plant was affected significantly by water salinity (Ozturk *et al.* 2004), which is in agreement with Sari & Ceylan (2002),

Table 1. Parameters values of growth evaluated in seedlings of banana passionfruit (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) exposed to saline stress.

NaCl	Number of leaves	Total stem + Shoots length	Specific leaf weight
(mM)		(cm)	(mg cm^{-2})
0	39.80 d	613.50 b	2.66 b
20	33.25 c	590.62 b	2.70 b
40	26.50 b	555.33 b	2.84 b
80	5.25 a	358.00 a	5.01 a

who obtained plant height of 41.61-55.79cm in Aegean conditions. Also fresh yield, dry yield, number of shoots, root length, root dry weight and evapotranspiration were affected significantly by salt stress in lemon balm plants.

While decreasing specific leaf weight in *Furcraea* spp. due to salt stress was reported by Casierra-Posada *et al.* (2006), Casierra-Posada & García (2005) found an increase of this variable in *Fragaria* sp varieties. Specific leaf weight of *Spartina alterniflora* increased too in response to both high salinity and high illumination. Many plants show an increase in leaf thickness, mainly in mesophyll cell layers, in response to salinity (Poljakoff-Mayber, 1975; Wignarajah *et al.* 1975). Longstreth & Strain (1977) also observed that differences in specific leaf weight at high illumination were the result of differences in leaf thickness. Likewise, as found in these researches, in the current work, the specific leaf weight increased with increasing salinity level, as a mechanism of osmoregulation by plant to tolerate this adverse situation.

As found in the current study regarding the effect of salinity on plant growth, some authors, such as Munns (2002), pointed out that salinity inhibition of plant growth is also the result of osmotic and ionic effects and the different plant species have developed different mechanisms to cope with these effects. The osmotic adjustment, i. e., reduction of cellular osmotic potential by net solute accumulation, has been considered an important mechanism for plant tolerate saline stress. This reduction in osmotic potential in salt stressed plants can be

a result of inorganic ion (Na^+ , Cl^- , and K^+) and compatible organic solute (soluble carbohydrates, amino acids, proline, betaines) accumulations (Hasegawa *et al.* 2000; Casierra-Posada *et al.* 2009). The osmotic adjustment in both roots and leaves contribute to the maintenance of water uptake and cell turgor, allowing physiological processes, such as stomatal opening, photosynthesis and cell expansion (Serraj & Sinclair, 2002). In addition to their role in cell water relations, organic solute accumulation may also help towards the maintenance of ionic homeostasis and of the C/N ratio, removal of free radicals, and stabilization of macromolecules and organelles, such as proteins, protein complexes and membranes (Bohnert & Shen, 1999; Bray *et al.* 2000). Moreover, these solutes may also help the control of pH in the cytosol and detoxification of excess NH_4^+ (Gilbert *et al.* 1998). Thus, solute accumulation, essential for osmoregulation, increases the specific leaf weight to the extent that salinity increases.

Dry weight of whole plant, as presented in figure 1, showed a significant reduction as the salinity level increased. Especially, there was a great reduction in DM at 80mM NaCl, which reached 66.97% in relation to control without salt adding.

Consistent with the reports mentioned above and the findings in this research, it can be noted that salinity causes physiological and biochemical changes in plants. In plants, these changes appear to depend on the effects of ions and solutes in the root zone, on water activity in the cell and

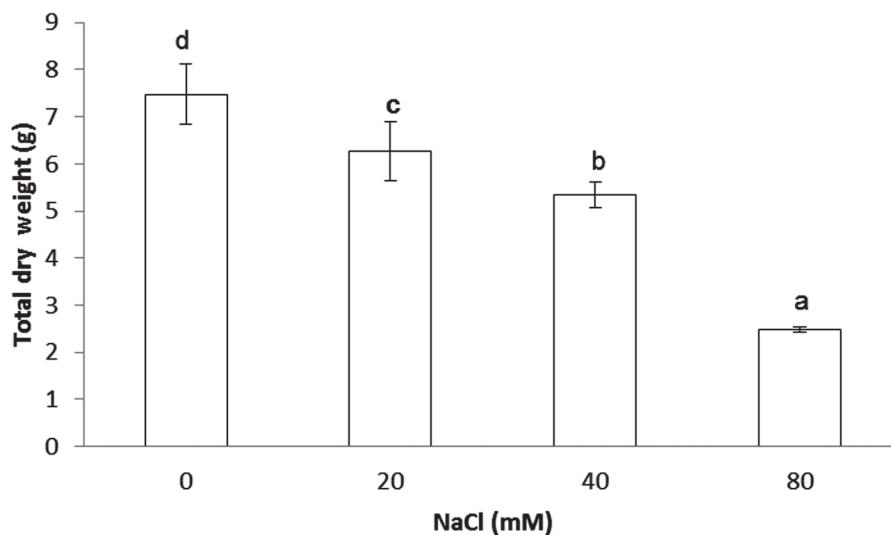


Figure 1. Dry weight banana passionfruit seedlings (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) exposed to saline stress. Same letter on columns do not differ significantly according to Turkey's HSD test ($p > 0.05$).

physiological and biochemical functions of the cell (Greenway & Munns, 1980), reducing turgor, limiting photosynthesis (Schwarz & Gale, 1981; Walker *et al.* 1981) and increasing ion deficiency due to inadequate transport mechanisms (Hasegawa *et al.* 1986).

As stated by Munns (2002), suppression of plant growth under saline conditions may either be due to the decreasing availability of water or to the increasing toxicity of sodium chloride associated with increasing toxicity of sodium chloride, connected with increasing salinity. Another possible reason for DM reduction could be the greater decline in uptake and use of mineral nutrients by plants under saline stress (Dadkhah & Griffiths, 2006). Pessaraki & Tucker (1985, 1988) reported that the total nitrogen uptake of cotton plants decreased with increasing salinity; the main shoot was not reduced as much as that of the root. Moreover, according to Cheeseman (1988), salinity stress imposes additional energy requirements on plant cells and diverts metabolic carbon to storage pools so that less carbon is available for growth.

The data obtained on leaf area showed differences between different variables of osmotic stress. Salinity concentration caused considerable reduction of leaf area. The reduction was higher ($p < 0.05$) with 80 mM NaCl, compared to the control (Figure 2).

Plants exposed to saline environment generally present a reduced leaf area, as also found in this study. Leaf area

reduction can be attributed to the reduction of leaf growth in its central and distal part with increasing salinity (Bernstein *et al.* 1993). Leaf growth inhibition by salinity must be expected to occur via an effect on this region (Lazof & Bernstein, 1998).

Exposure of plants to high NaCl contents changed patterns of DM allocation in different organs of plant. Both the dry matter accumulated in leaves and petioles + stems + shoots showed statistically significant difference ($p < 0.01$). The addition of 80mM NaCl reduced allocation of biomass to leaves in 36.6% less than in the control (Figure 3). Between 20; 40mM and the control no significant difference was observed. In relation to DM accumulation in petioles + stems + shoots, the results were similar to those obtained for the leaves, with no significant difference between them; however, differing significantly ($p < 0.05$) from the treatment of 80mM NaCl; the plants presented 12.7% more dry matter than the control. Accumulated DM in the roots of treated plants showed in all cases no statistically significant different results.

In spite of the variation of DM in different parts of the plant with different salinity levels, the main effect of salinity on DM partitioning was the reduction of DM in leaves and the increase of DM accumulation in petioles + stems + shoots and roots (Figure 3). This suggests that the salinity affected the total DM distribution in different plant parts, as consequence of an adaptation mechanism of banana passionfruit plants to salinity, similar to other plant species exposed to salinity (Casierra-Posada & García, 2005; Casierra-Posada *et al.*

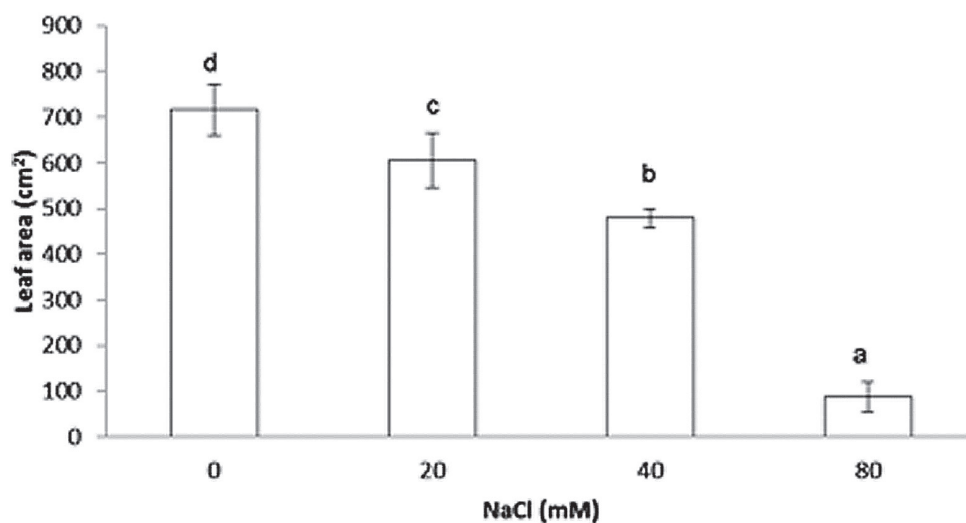


Figure 2. Leaf area of banana passionfruit seedlings (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) exposed to saline stress. Same letter on columns do not differ significantly according to Turkey's HSD test ($p > 0.05$).

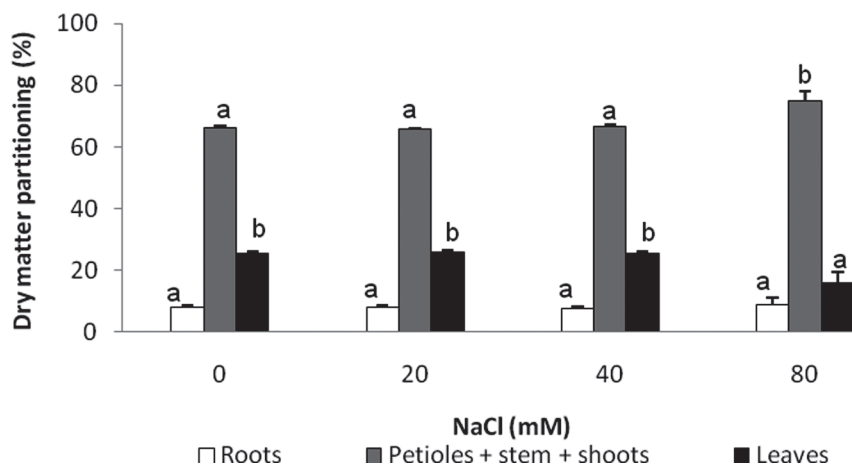


Figure 3. Dry matter partitioning on plant organs of banana passionfruit seedlings (*Passiflora tripartita* var. *mollissima* (Kunth) L. H. Bailey) exposed to saline stress. Same letter on columns of the same color do not differ significantly according to Turkey's HSD test ($p > 0.05$).

2006). Partitioning of photosynthetic materials among different organs is an important component of any crop growth description. However, up to date only limited attention has been given to this aspect and many crop models include only simple definitions where fixed fractions are partitioned to different organs throughout specific developmental phases (Weir *et al.* 1984). Milford *et al.* (1988) detected no evidence of a discontinuity in the partitioning between shoot and root in sugar beet, at any stage of development under normal conditions; they concluded that usually a progressive shift in partitioning to the storage root occurs as the crop develops. However, to understand the results reported by Milford *et al.* (1988) in relation to those found in this study, the anatomical differences between passion fruit plants and sugar beet should be taken into account.

The results of the present research suggest that salinity does not only reduce growth of banana passionfruit seedlings, but also alters the DM partitioning in the different plant organs, as an adaptive mechanism to salinity. Further studies are needed to determine the parameters related to chlorophyll fluorescence and gaseous exchange of individual leaves to bring complementary information on the nature of constraints acting on photosynthetic processes. This study suggests that the banana passionfruit is moderately sensitive to saline stress.

Acknowledgments: The team gratefully acknowledges the generous support of the Research Directorate (Dirección de Investigaciones – DIN) of the Pedagogical and Technological University of Colombia (UPTC), Tunja, for providing the funds and opportunity to conduct this research project. We also

gratefully acknowledge matching support from the members of the Research Group in Plant Ecophysiology (Grupo Ecofisiología Vegetal) of the Faculty of Agricultural Sciences of the UPTC. **Conflicts of interest:** this document was prepared and reviewed with the participation of all authors, who report no conflict of interest that may be inherent in their submissions.

BIBLIOGRAPHY

1. ACKERLY, D.D.; BAZZAZ, F.A. 1995. Leaf dynamics, self-shading, and carbon gain in seedlings of a tropical pioneer tree. *Oecologia*. 101:289-298.
2. AGRONET. 2010. Análisis-Estadísticas. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Available online in: <http://www.agronet.gov.co/agronetweb/AnalisisEstadisticas/tabid/73/Default.aspx>. (accessed 30/11/10).
3. BALL, M.C.; PIDSLEY, S.M. 1995. Growth responses to salinity in relation to distribution of two mangrove species, *Sonneratia alba* and *S. lanceolata*, in northern Australia. *Funct. Ecol.* 9:77-85.
4. BERNSTEIN, N.; LAÜCHLI, A.; SILK, W.K. 1993. Kinematics and dynamics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) leaf development at various Na/Ca salinities: I. Elongation growth. *Plant Physiology*. 103:1107-1114.
5. BOHNERT, H.J.; SHEN, B. 1999. Transformation and compatible solutes. *Sci. Hortic.* 78:237-260.

6. BRAY, E.A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan B.B.; Gruissem W.; Jones R.L. (eds), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, ASPP, Rockville. p.1158-1203.
7. CASPER, B.B.; FORSETH, I.N.; KEMPENICH, H.; SELTZER, S.; XAVIER, K. 2001. Drought prolongs leaf life span in the herbaceous desert perennial *Cryptantha flava*. *Funct. Ecol.* 15:740-747.
8. CASIERRA-POSADA, F.; EBERT, G.; LÜDDERS, P. 2000. Efecto de la salinidad por cloruro de sodio sobre el balance de nutrientes en plantas de Lulo. (*Solanum quitoense* L.). *Agronomía Colombiana.* 17:85-90.
9. CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA, N. 2005. Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. *Agronomía Colombiana.* 23(1):83-89.
10. CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA, N. 2006. Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) afectados por estrés salino. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* 59(2):3527-3542.
11. CASIERRA-POSADA, F.; PÉREZ, W.A.; PORTILLA, F. 2006. Relaciones hídricas y distribución de materia seca en especies de fique (*Furcraea* sp. Vent.) cultivadas bajo estrés por NaCl. *Agronomía Colombiana.* 24(2):280-289.
12. CASIERRA-POSADA, F.; PACHÓN, C.A.; NIÑO-MEDINA, R.C. 2009. Changes in the quality characteristics of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits affected by NaCl salinity. *Acta Hort.* 82(1):235-240.
13. CHEESEMAN, J.M. 1988. Mechanisms of salinity tolerance in plants. *J. Plant Physiol.* 87:547-550.
14. CLOUGH, B.F. 1984. Growth and salt balance of the mangroves *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. and *Rhizophora stylosa* Griff. in relation to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 11:419-430.
15. DADKHAH, A.R.; GRRIFITHS, H. 2006. The effect of salinity on growth, inorganic ions and dry matter partitioning in sugar beet cultivars. *J. Agric. Sci. Technol.* 8:199-210.
16. FISCHER, G.; CASIERRA-POSADA, F.; PIEDRAHITA, W. 2009. Ecofisiología de las especies pasifloráceas cultivadas en Colombia. pp. 45-67. En: Miranda, D.; Fischer, G.; Carranza, C.; Magnitskiy, S.; Casierra, F., Piedrahita, W.; Flórez, L.E. (eds.). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba.* Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, Bogotá. 357p.
17. GILBERT, G.A.; GADUSH, M.V.; WILSON, C.; MADORE, M.A. 1998. Amino acid accumulation in sink and source tissues of *Coleus blumei* Benth. during salinity stress. *J. Exp. Bot.* 49:107-114.
18. GREENWAY, H.; MUNNS, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in no halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:149-190.
19. GUASMI, F.; FERCHICHI, A.; TOUIL, L.; FÈRES, K.; MARZOUGUI, N. 2007. Analysis of genetic diversity to salt stress of South Tunisian barley cultivars using agronomic parameters. *J. Biological Sci.* 7(3):475-485.
20. HAMEED, M.; ASHRAF, M.; AHMAD, M.S.A.; NAZ, N. 2010. Structural and functional adaptations in plants for salinity tolerance. In: Ashraf, M.; Ozturk, M., Ahmad, M.S.A. (eds), *Plant adaptation and phytoremediation.* Springer Verlag. Berlin – Germany. p.151-170.
21. HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; HANDA, A.V. 1986. Cellular mechanism of salinity tolerance. *Hort. Sci.* 21(6):1317-1324.
22. HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; ZHU, J.K.; BOHNERT, H.J. 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463-499.
23. HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:541-549.
24. LAZOF, D.; BERNSTEIN, N. 1998. The NaCl-induced inhibition of shoot growth: the case for disturbed nutrition with special consideration of calcium nutrition. *Advances Bot. Res.* 29:113-189.
25. LONGSTRETH, D.J.; STRAIN, B.R. 1977. Effects of salinity and illumination on photosynthesis and water balance of *Spartina alterniflora* Loisel. *Oecologia.* 31:191-199.
26. MEZA, N.; ARIZALETA, M.; BAUTISTA, D. 2007. Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 24:69-80.

27. MILFORD, G.F.J.; TRAVIS, K.Z.; POCOCK, T.O.; JAGGARD, K.W.; DAY, W. 1988. Growth and dry matter partitioning in sugar beet. *J. Agr. Sci.*, 110:301-308.
28. MUNNS, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 28:239-250.
29. MUNNS, R.; TERMAAT, A. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:143-160.
30. NYAGAH, A.W.; MUSYIMI, D.M. 2009. Effects of sodium chloride solution stress on germination and growth of passion fruits seedlings. *ARPN J. Agric. Biol. Sci.* 4:49-53.
31. OZTURK, A.; UNLUKARA, A.; IPEK, A.; GURBUZ, B. 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pak. J. Bot.* 36(4):787-792.
32. PESSARAKLI, M.; TUCKER, T.C. 1985. Uptake of nitrogen-15 by cotton under salt stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:149-152.
33. PESSARAKLI, M.; TUCKER, T.C. 1988. Dry matter yield and nitrogen-15 uptake by tomatoes under sodium chloride stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:698-700.
34. POLJAKOFF-MAYBER, A. 1975. Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity. In: Poljakoff-Mayber A.; Gale, J.; (eds.) *Plants in saline environments*. Berlin: Springer-Verlag. p.97-117.
35. SARI, A.O.; CEYLAN, A. 2002. Yield characteristics and essential oil composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) grown in the Aegean Region in Turkey. *Tr. J. of Agric. & Forestry.* 26(4):217-224.
36. SCHWARZ, M.; GALE, J.; 1981. Maintenance respiration and carbon balance of plant at low levels of sodium chloride salinity. *J. Exp. Bot.* 32:933-941.
37. SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant Cell Environ.* 25:333-341.
38. SOARES, F.A.L.; GHEYI, H.R.; VIANA, S.B.A.; UYEDA, C.A.; FERNANDES, P.D. 2002. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. *Scientia Agricola.* 59(3):491-497.
39. TANTAWY-ALAA, S.; ABDEL-MAWGOUD, A.M.R.; EL-NEMR, M.A.; CHAMOQIN, Y.G. 2009. Alleviation of salinity effects on tomato plants by application of amino acids and growth regulators. *Eur. J. Sci. Res.* 30:484-494.
40. WALKER, R.R.; TOROKFALVY, E.; STEELE, S.N.; KRIEDEMANN, N.E. 1981. An analysis of photosynthetic response to salt treatment in *Vitis vinifera*. *Austr. J. Plant Physiol.* 8:359-374.
41. WEIR, A.H.; BRAGY, P.L., PORTER, J.R.; RAYNER, J.H. 1984. A Winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J. Agr. Sci.* 102:371-382.
42. WIGNARAJAH, K., JENNINGS, D.H.; HANDLEY, J.F. 1975. The effect of salinity on growth of *Phaseolus vulgaris*. I. Anatomical changes in the first trifoliolate leaf. *Annals of Botany.* 39:1029-1038.

Received: January 2, 2011

Accepted: April 30, 2011

EFFECTO DE DIETAS MERÍDICAS EN LA TOXICIDAD DE LA PROTEÍNA CRISTALINA (Cry) DEL *Bacillus thuringiensis* SOBRE TRES PLAGAS DEL ALGODONERO (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

EFFECTS OF MERIDIC DIETS ON THE *Bacillus thuringiensis* CRYSTALLINOUS PROTEINS (Cry) TOXICITY UPON THREE COTTON PESTS (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

Helber Arévalo¹, Ingeborg Zenner de Polanía², Laura Romero³

¹ Ingeniero Agrónomo. Programa jóvenes investigadores e innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” convenio Colciencias-Ú.D.C.A, Calle 222 No. 54-37, Bogotá D.C. harevalo@udca.edu.co ² I.A. Ph.D. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Ú.D.C.A izenner@udca.edu.co ³ Estudiante Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Ú.D.C.A lauraromeror@hotmail.com

Rev. Ú.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 39 - 48, 2011

RESUMEN

Desde la introducción de los cultivos genéticamente modificados (transgénicos) alrededor del mundo, se ha venido realizando un esfuerzo para monitorear la susceptibilidad de las diferentes especies que son el objetivo a controlar por parte de las toxinas Cry de estos cultivos. Sin embargo, difícilmente estos resultados pueden ser comparados de una región a otra, no sólo por la procedencia de las poblaciones insectiles, si no por el empleo de diversas metodologías; entre ellas encontramos el uso de dietas merídicas de componentes diferentes. El objetivo de este estudio, fue evaluar el efecto de tres dietas merídicas en la toxicidad de las proteínas cristalinas producidas por la bacteria *B. thuringiensis* sobre tres plagas del algodón de El Espinal, Tolima. En todos los casos la menor susceptibilidad se presentó en la dieta ICRISAT, la cual ha exhibido los mejores resultados para la cría de estas plagas bajo nuestras condiciones. Los resultados encontrados no permiten inferir sobre un aumento o disminución de resistencia de la población de *Heliothis virescens* debido a que la cohorte evaluada fue recolectada sobre *Desmodium* sp.; para *Spodoptera frugiperda*, no se encontró dilución, ni adquisición de resistencia, mientras que en *Helicoverpa zea* se observa un leve aumento en la susceptibilidad. Los datos encontrados sugieren que se debe continuar con el monitoreo de la susceptibilidad de estas especies usando en

lo posible la misma metodología para evitar una variación en los resultados y de igual manera emplear poblaciones procedentes de distintas geografías y plantas hospederas.

Palabras clave: Dietas merídicas, Toxinas Cry, *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, *Heliothis virescens*.

SUMMARY

Since the introduction of genetically-modified (transgenic) crops around the world, an effort to monitor the susceptibility to Cry toxins on targeted insects has been implemented. However, these results are hardly comparable from region to region, not only due to the use in strains from different parts, but also due to methodological differences. Among these discrepancies is the use of meridic diets containing different ingredients. The goal of this study was to evaluate the effect of three meridic diets on the toxicity of crystal proteins from the bacterium *B. thuringiensis* on three cotton pests from El Espinal and Tolima. In all the tests, the lowest susceptibility was obtained with the ICRISAT diet, which in turn, it is superior for rearing these pests under our environmental conditions. The results also suggest that there is an increase or dilution of resistance in *Heliothis virescens* populations due to the fact that these insects were collected from *Desmodium* sp. *Spodoptera frugiperda*'s susceptibility was not affected, nor acquired resistance, while *Helicoverpa zea* had a slightly

increase in susceptibility. These results suggest that Bt-susceptibility should continue using the same methodology to decrease variability as well as tests to be conducted on populations from different areas and host plants.

Key words: Meridic diets, Cry toxins, *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, *Heliothis virescens*.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, al igual que en otros países, el uso de los cultivares que han sido genéticamente modificados (transgénicos) ha logrado disminuir la aplicación de insecticidas (Molina-Ochoa *et al.* 2010; Zenner de Polanía *et al.* 2008; Greenberg & Adamczyk, 2010); no obstante, la probabilidad que los noctuidos *Helicoverpa zea* (Boddie) y *Heliothis virescens* (Fabricius) adquieran resistencia, así como el bajo o nulo control de los cultivos transgénicos sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith), aunado con la posibilidad de que otras plagas lepidóptera se puedan convertir en plagas primarias por la reducción en el número de aplicaciones de insecticidas y por la competencia interespecífica (Santos *et al.* 2009; Zenner de Polanía *et al.* 2008), hace que estos insectos sean objetivo de estudio en nuestro sector agrícola.

Además de la importancia mencionada, el aumento en la implementación del algodón transgénico en Colombia, donde el área sembrada pasó de ser del 5% en el 2003 a más del 70% en la actualidad (Agro-Bio, 2009), hace necesario monitorear la respuesta de las diferentes poblaciones a las toxinas Cry presentes en el algodón *Bt*, con el fin de conocer la evolución de la resistencia de los insectos sujetos a control por esta tecnología. Conociendo esta respuesta, se puede prevenir a los agricultores para que estén preparados y puedan tomar a tiempo las medidas pertinentes (Zenner de Polanía *et al.* 2008).

Para monitorear la resistencia de estas plagas a las toxinas Cry, se emplea la técnica del bioensayo, en la cual, se exponen larvas neonatas, bajo condiciones de laboratorio, a las toxinas Cry del *Bt*, empleando un alimento artificial; sin embargo, los bioensayos elaborados, hasta el momento, presentan algunas diferencias, que afectan los datos obtenidos. Las variaciones más comunes giran en torno a cuatro aspectos. 1) La obtención de las poblaciones insectiles: los investigadores parten de poblaciones recolectadas de diferentes plantas hospederas en el campo o a partir de poblaciones criadas bajo condiciones de laboratorio. En este aspecto, se ha comprobado que la respuesta es diferente, cuando las poblaciones provienen de distintas partes geográficas (Ali *et al.* 2006) o cuando las poblaciones provienen de diferentes

plantas hospederas (Zenner de Polanía *et al.* 2009). También, cuando las cohortes son obtenidas de laboratorios, lo que ha permitido la elaboración de la técnica de isofamilias en la que se ha estudiado la condición genética de la resistencia (Blanco *et al.* 2010). 2) La forma de obtención de las diferentes toxinas Cry: debido a que se puede partir de tres maneras diferentes purificando la toxina: a partir de plantas transgénicas; a partir de formulaciones comerciales, o purificando la toxina, a partir de cepas clonadas de *E. coli* recombinante (Akhurst *et al.* 2003). 3) La disposición de las toxinas en la dieta meridica: dado a que en algunos casos se imposibilita incorporar altas concentraciones de la toxina en la dieta, lo que ha obligado a los investigadores a adicionar la toxina solamente en la superficie de la misma (Akhurst *et al.* 2003). 4) Al empleo de diferentes dietas artificiales para la cría de insectos, debido a que la adquisición de dietas específicas o de algunos ingredientes se dificulta, ya sea porque no se encuentran en el mercado donde se realiza el estudio o son demasiado costosos. Sobre esta variable, Blanco *et al.* (2009) han comprobado cómo se puede encontrar una respuesta diferencial, debido a la cantidad de alimento y, con ello, de toxina consumida y que algunos ingredientes puedan inferir en la activación de las protoxinas Cry.

Uno de los puntos más críticos en el empleo de las dietas meridicas es, por lo tanto, su costo, por lo cual, muchos investigadores se han dedicado al desarrollo de dietas de bajo costo, buscando ingredientes más baratos, eliminado ingredientes, aparentemente no esenciales y evaluando sustitutos potenciales para el agar (Morimoto *et al.* 2004; Cappelozza *et al.* 2005). Todas estas variables impiden la comparación de los resultados entre regiones y hacen necesario que se continúe con la evaluación del efecto que tiene cada una de estas variaciones, en la obtención de resultados.

El empleo de dietas con diferentes componentes no solamente puede tener un efecto sobre los resultados obtenidos en los bioensayos para monitorear resistencia o las crías masivas de insectos, sino también en la producción de, por ejemplo, hongos entomopatógenos o virus usados en control biológico. Elvira *et al.* (2010) evaluaron el efecto de la dieta consumida por *Spodoptera exigua* sobre la producción del virus de la nucleopolihedrosis y no hallaron diferencias entre una dieta de bajo costo y otra comúnmente usada.

Por esta razón, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de tres dietas meridicas en la toxicidad de las toxinas Cry y evaluar la respuesta de diferentes poblaciones a las toxinas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se efectuó en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Las condiciones ambientales fueron $25,6\pm 2,3^{\circ}\text{C}$ y $70\pm 5\%$ de humedad relativa.

Tres poblaciones de *Spodoptera frugiperda* en estado larval fueron obtenidas del municipio El Espinal, Tolima; una, del laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, originalmente recolectada sobre maíz convencional, la cual, había sido criada por cinco generaciones; la segunda obtenida también de maíz convencional y, la tercera, se recolectó sobre algodón transgénico. Tanto en la segunda como en la tercera población, se empleó la primera generación obtenida en laboratorio. La población de *H. virescens* fue extraída del laboratorio de Biotecnología Agrícola de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, recolectada sobre pega-pega (*Desmodium* sp.). La colonia de *H. zea*, se inició a partir de larvas de los dos últimos instares obtenidas de mazorcas de maíz atacadas. Las larvas de las diferentes colonias fueron criadas una generación antes de iniciar el estudio sobre la dieta ICRISAT diet 3, a base de garbanzo, preparada de acuerdo a la fórmula proporcionada por el doctor H. Sharma del Instituto Internacional de Investigación

en Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT), en Patancheru, Andhra Pradesh, India, la cual, presentó los mejores resultados biológicos para *S. frugiperda* y *H. virescens* bajo nuestras condiciones de cría (Arévalo & Zenner de Polanía, 2009; 2010).

Larvas neonatas, se obtuvieron del apareamiento de diez parejas puestas en una cámara de cría de vidrio de 3,7L. Los adultos fueron alimentados con la solución azucarada, sugerida por Greene *et al.* (1976), consistente en 1g de miel, 0,1g de ácido ascórbico, 0,1g de methyl parahydroxybenzoato y 6g de azúcar, diluidos en 100mL de agua, que se brindó humedeciendo una mota de algodón diariamente. Las cámaras de cría fueron tapadas con tela tole y, para la oviposición, se dispusieron tiras de papel toalla desde la parte superior, hasta el fondo. Los huevos fueron transferidos, a diario, a un vaso limpio, removiéndolos de la tela o del papel toalla, con una solución al 0,26% de hipoclorito de sodio (Akhurst *et al.* 2003).

Las dietas empleadas en este estudio fueron: 1) ICRISAT Diet 3; 2) Greene *et al.* (1976) modificada por Parra (2001) (García *et al.* 2006); 3) Shorey & Hale (1965), modificada por Bowling (1967) y preparada según Villacorta & Cobo (1978) (Tabla 1).

El Cry1Ab empleado en los bioensayos fue multiplicado, a partir de la cepa ECE54, suministrada por el *Bacillus Genetic*

Tabla 1. Ingredientes utilizados en la preparación de las dietas meridicas (Greene et al. modificada, Shorey & Hale modificada e ICRISAT Diet 3.

Ingredientes para preparar 500mL	Shorey & Hale (1965) (modificada)	Greene <i>et al.</i> (1976) (modificada)	ICRISAT Dieta No. 3
Agua	325mL	302mL	312mL
Harina de frijol blanco		29,2g	
Harina de frijol calima	100g		
Harina de garbanzo			75g
Germen de trigo		23,5g	
Harina de soja		11,75	
Levadura de cerveza		14,75	
Metilparaben	1g		
Ácido ascórbico	1,5g	1,4	1,17g
Ácido sórbico	0,5g	0,7g	0,75g
Tableta multivitamínica Centrum®		1tableta	1 tableta
Tetraciclina		0,025g	0,04g
Formaldehído	1mL	1,4mL	

Stock Center. La cepa está compuesta por la proteína Cry1Ab clonada dentro de células de *Escherichia coli* cepa *E. coli* JM103, con el vector de expresión pKK223-3 (Ge *et al.* 1989).

Para la multiplicación de la cepa, se siguió la metodología de Akhurst *et al.* (2003), con algunas modificaciones, para aumentar la concentración de la toxina, descritas a continuación. La cepa de *E. coli*, que expresa el gene del Cry1Ab, fue cultivado en 10mL de caldo Luria-Bertani con 100µg/mL de ampicilina, por 24 horas, a 37°C; posteriormente, se aumentó la producción, llevando esta mezcla a un litro del Luria-Bertani con 100µg/mL de ampicilina, por tres días, a 37°C, en agitación permanente; luego de completado este tiempo, la muestra fue centrifugada a 4000rpm, por 20 minutos, a temperatura ambiente. El supernadante fue decantado y el pellet resuspendido en agua destilada. La suspensión fue sonicada para dispersar completamente los cristales, en dos tratamientos de 5min, con un periodo intermedio de 5min, a 4°C.

El Cry1Ac, se obtuvo del insecticida MVP II® (Cry1Ac encapsulado producido por *Pseudomonas* sp., proporcionado por Dow CropSciences). Para establecer la concentración de las proteínas, se utilizó el método de Bradford, con ayuda de un espectrofotómetro Spectronic 601 digital, a una longitud de onda de 565nm (Scopes, 1987). Antes de incorporar las respectivas proteínas en las dietas, se corroboró la presencia de las toxinas con el Kit para toxinas Cr1Ac y Cry1Ab QualiPlate de Envirologix™ (Envirologix, 2007).

La susceptibilidad de las larvas neonatas, se evaluó incorporando diferentes concentraciones del Cry1Ac y Cry1Ab a las dietas merídicas, seis dosis de Cry1Ac entre 0,01 y 100µg/mL de dieta para *H. virescens* y *H. zea*. Las dosis, se establecieron de acuerdo a las CL₅₀ de 3,52-3,81µg/mL, para *H. virescens* y de 3,42-6,12 µg/mL, para *H. zea*, encontradas por Zenner de Polanía *et al.* (2008; 2010). En el caso de *S. frugiperda* (cogollero del maíz), se aplicaron siete dosis de Cry1Ac, que variaron entre 0,01 y 1000µg/mL de dieta, escogidas de acuerdo a los reportes de los autores mencionados, de una CL₅₀ máxima de 1178µg/mL. Se emplearon ocho dosis de Cr1Ab entre 0 y 15µg/mL, para evaluar la respuesta de *S. frugiperda* a esta toxina, que incluye, la CL₅₀ (5,64-8,35µg/mL), hallada por Zenner de Polanía *et al.* (2009). En todos los bioensayos, se emplearon 30 larvas de forma individual por dosis. La mortalidad, se estimó siete días después y los datos se sometieron a análisis Probit (SAS Institute Inc.), para determinar las concentraciones letales. Con valores obtenidos desde el análisis Probit, se realizó un análisis de varianza, con el fin de determinar si se presentaban diferencias entre las concentraciones letales obtenidas en cada una de las dietas. Cuando se revelaron diferencias, las medias fueron separadas por el procedimiento de Duncan (Blanco *et al.* 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se puede observar cómo la colonia de *S. frugiperda*, criada por cinco generaciones bajo

Tabla 2. Valores de CL₅₀ de *Spodoptera frugiperda* expuesto por siete días a ensayos con las toxinas Cry1Ac o Cry1Ab, incorporadas en tres dietas merídicas.

Dieta	Toxina	n	CL ₅₀ (µg/mL)		Pendiente	R ²
			Dosis	IC95%		
<i>Spodoptera frugiperda</i> de maíz transgénico, El Espinal. Quinta generación en laboratorio						
ICRISAT	Cry1Ac	180	1696,9424 a*	42359,7069 - 679800,166	1,0908	0,74
Shorey & Hale		180	356,3823 b	285,4821 - 444,8908	0,9805	0,74
Greene		180	381,8255 b	109,4190 - 1332,4073	0,9750	0,78
<i>Spodoptera frugiperda</i> algodónero transgénico, El Espinal. Primera generación en laboratorio						
ICRISAT	Cry 1Ab	240	7,5297 a	3,0316 - 18,7016	1,1290	0,75
<i>Spodoptera frugiperda</i> maíz Convencional, El Espinal. Primera generación.						
ICRISAT	Cry 1Ab	240	29,3484 b	11,3740 - 75,7282	0,8824	0,7

* Concentraciones letales medias seguidas por letras diferentes significan diferencias entre los tratamientos (Duncan p≤0,05).

condiciones de laboratorio, mantiene una relativamente baja susceptibilidad a la toxina Cry1Ac en las dietas Greene y Shorey & Hale, mientras que en la dieta ICRISAT, se denota una menor susceptibilidad, que fue, incluso, menor a la encontrada en el 2005 y 2006, en poblaciones procedentes de los Departamentos de Tolima y de Cundinamarca (Zenner de Polanía *et al.* 2008), utilizando esta misma dieta.

Sin importar las variaciones en la realización de los bioensayos, el cogollero ha mostrado una baja sensibilidad a la toxina Cry1Ac del *Bt.*, ya sea bajo condiciones de laboratorio como de campo (Blanco *et al.* 2010), lo que sugiere que esta especie es resistente a la toxina Cry1Ac. Esta resistencia, se pudo haber desarrollado por la exposición del cogollero de forma natural al *B. thuringiensis*, generando variaciones, incluso en su genética (Monnerat *et al.* 2006). Una muestra de la variabilidad genética, se ha observado en otras especies al encontrarse receptores alterados en el intestino medio (Storer *et al.* 2010), como los reportados por Jurat-Fuentes & Adang (2004), indicando una correlación de la alteración de la glycolisación en el sitio de la inserción de las proteínas y la resistencia de una colonia de *H. virescens* a la toxina Cry1Ac.

En la misma tabla 2, se puede observar la respuesta al Cry1Ab de las poblaciones de *S. frugiperda* procedentes de maíz convencional y de algodón transgénico. Los resultados

obtenidos complementan el estudio de susceptibilidad de esta especie, procedente del Tolima, a la toxina Cry1Ab, desde el 2006, encontrándose que la población proveniente del algodón transgénico mantiene su susceptibilidad a la toxina, estando muy cercano a los valores de la línea base de $5,64\mu\text{g}/\text{mL}$. En contraste, se puede observar cómo la población procedente de maíz convencional presenta una menor susceptibilidad y se observa un incremento con relación a la línea base, ya mencionada (Zenner de Polanía *et al.* 2009), sugiriendo que se debe mantener el monitoreo de esta especie y, en lo posible, emplear en el monitoreo poblaciones procedentes de diferentes cultivos y posiciones geográficas.

Los resultados hallados para Cry1Ac y Cry1Ab corroboran la incidencia de las poblaciones de *Spodoptera* spp. en los cultivos transgénicos, sobre todo en aquellos órganos donde la concentración de la toxina es menor (Santos *et al.* 2009; Zenner de Polanía *et al.* 2008). A pesar de este hecho es necesario buscar una medida para prolongar la vida útil de los cultivares *Bt.*, debido a que éstos han cumplido con algunos de sus objetivos, como la disminución de las pérdidas y de la disminución del número de aplicaciones de insecticidas, incluso, en cultivos con presencia de poblaciones de *Spodoptera frugiperda*. Aunque en Colombia no se tienen estimativos de las poblaciones de *S. frugiperda* es posible que estas hayan disminuido, desde la introducción de los

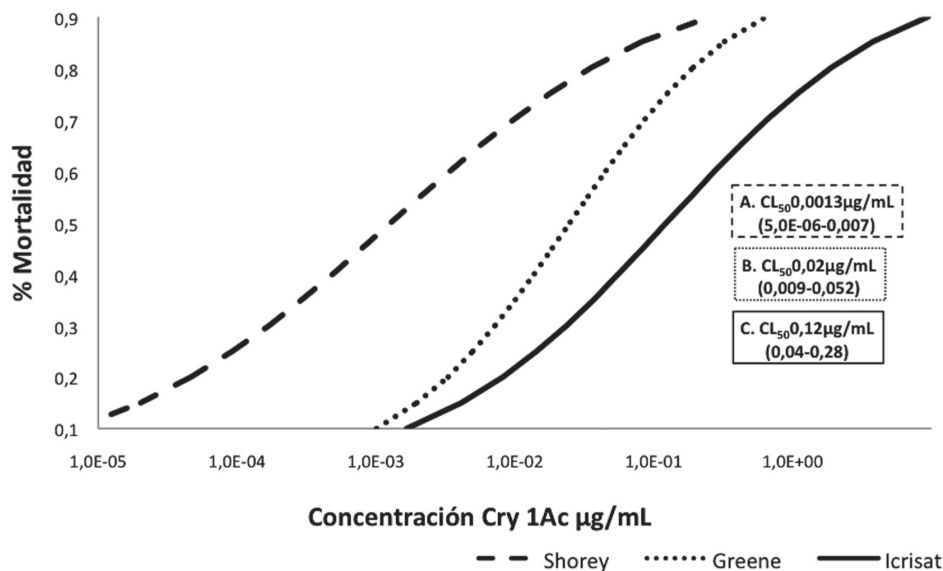


Figura 1. Curva Probit y CL_{50} para *Heliothis virescens* primera generación, obtenido al incorporar la toxina Cry1Ac en tres dietas meridicas. Concentraciones letales medias antecedidas por letras diferentes significan diferencias entre los tratamientos (Duncan $p \leq 0,05$). Entre paréntesis, el intervalo de confianza.

cultivares *Bt*, no por causar la mortalidad de su estado inmaduro sino por afectar su desarrollo.

En el caso de *H. virescens*, el gene Cry1Ac, incorporado en el algodónero, continua ofreciendo un control efectivo de esta plaga en Colombia e, incluso, se puede evidenciar en la figura 1, cómo la dosis necesaria para controlar la mitad de la población es menor a la registrada en 2005 y 2006 por Zenner de Polanía *et al.* (2008). A pesar de que la procedencia de la población evaluada es similar a la empleada en 2005 y 2006, no se pudo inferir sobre una dilución en la resistencia, debido a que los individuos fueron recolectados sobre la arvense pega-pega y no sobre algodónero transgénico o convencional.

A pesar de los resultados encontrados es vital no bajar la guardia y continuar con el monitoreo de la susceptibilidad de esta plaga a la toxinas Cry del *Bt*. Para realizar esta labor, se sugiere emplear poblaciones de los lotes refugios, de los lotes con algodónero transgénico y del hospedero alterno *Desmodium* sp. La importancia del monitoreo radica en la fluctuación poblacional que esta especie ha mostrado, a través del tiempo, presentándose en bajas poblaciones, luego de emplear una nueva herramienta de control y presentarse una explosión poblacional, después de un tiempo, generando, de esta manera, grandes pérdidas económicas, como fue el caso de la adopción de los piretroides (Zenner de Polanía *et al.* 2008).

Al igual que Blanco *et al.* (2009), se encontraron diferencias significativas entre las dietas empleadas, observándose una menor susceptibilidad cuando la toxina fue incorporada en la dieta ICRISAT; no obstante, estos autores anotan que la respuesta puede ser directamente proporcional a la cantidad consumida, pero, en este estudio, no se halló la misma respuesta, debido a que precisamente la dieta ICRISAT es una de las más consumidas por esta especie.

La respuesta de *H. zea* (el gusano de la mazorca), durante dos generaciones a la toxina Cry1Ac, en tres dietas merídicas, se consigna en la figura 2. Los resultados presentan una diferencia significativa en la primera generación entre las dietas empleadas. Las diferencias obtenidas entre las dietas, no indican una tendencia, lo que dificulta el descarte o la adopción de una dieta; sin embargo, a pesar de ir en contra de lo esperado, se muestra una disminución en la susceptibilidad en la segunda generación, criada bajo condiciones de laboratorio, que puede estar relacionada con la adaptación y la nutrición del insecto a las dietas merídicas. Esto, se podría interpretar que la dieta, al suministrarle los mejores nutrientes al insecto, ayuda a que éste tenga un mejor desarrollo y sea menos susceptible a la toxina.

Las CL₅₀ encontradas en ambas generaciones de *H. zea*

presentaron una mayor susceptibilidad a la reportada por Zenner de Polanía *et al.* (2010), que varió entre 3,45 y 6,12 µg/mL, permitiendo inferir, que se ha presentado un leve aumento de la susceptibilidad de esta especie al Cry1Ac.

Al igual que en las demás especies, la menor susceptibilidad de *H. zea* se presentó en la dieta ICRISAT, lo que corroboraría el hecho que, además de la cantidad de proteína y dieta consumida, la calidad putativa nutricional de la dieta afecta, de forma inversa, la susceptibilidad del insecto, es decir, a una mayor calidad de alimento la susceptibilidad del insecto a la toxina será menor, aunque es importante tener en cuenta cómo algunos ingredientes de las dietas pueden estar alterando la expresión de algunas enzimas digestivas (Blanco *et al.* 2010). Partiendo de esta premisa podríamos concluir que la dieta ideal para poder evaluar la susceptibilidad de la especie a las diferentes toxinas Cry, es aquella en la que el consumo y la presencia de nutrientes sean similares a la planta hospedera y, de la misma forma, que ninguno de los ingredientes altere la activación de la protoxina y la unión de la proteína insecticida con los receptores.

Las susceptibilidades halladas para *S. frugiperda* al Cry1Ab indican que los cultivos transgénicos, empleados actualmente, no le causan una mortalidad significativa, sobre todo en algunos órganos del maíz, donde la concentración es menor a 8 µg/mL (Abel & Adamczyk, 2004; Mejía & Zenner de Polanía (datos sin publicar). Este hecho, se ha corroborado en campo, donde las larvas del cogollero se encuentran alimentándose, especialmente, en estas estructuras. En apariencia, los transgénicos están cumpliendo con parte de su propósito al disminuir el número de aplicaciones de insecticidas, al reducir costos y al reducir el daño; esto, ya que las concentraciones del Cry presentes en los tejidos del huésped afectan el desarrollo del insecto, provocando que se forme un menor número de generaciones por ciclo del cultivo y, en el caso del maíz, que el porcentaje de daño provocado en la mazorca sea menor, tal como lo describe Buntin *et al.* (2004).

Los datos obtenidos en este estudio permiten percatar cómo las dietas presentan una incidencia en la obtención de los resultados en las tres especies de insectos evaluadas, que no está determinado solamente por la cantidad de alimento consumido, sino por la calidad de éste y los efectos de algunos ingredientes en la activación de las protoxinas del *Bt*. También fue posible determinar cómo la procedencia del insecto afecta su susceptibilidad, lo cual, se podría atribuir a alteraciones genéticas por la exposición del insecto a diferentes entornos.

Además, se concluye que la susceptibilidad de *H. zea* y *S. frugiperda* no ha presentado una variación de la CL₅₀ con respecto a la línea base, mientras que la susceptibilidad

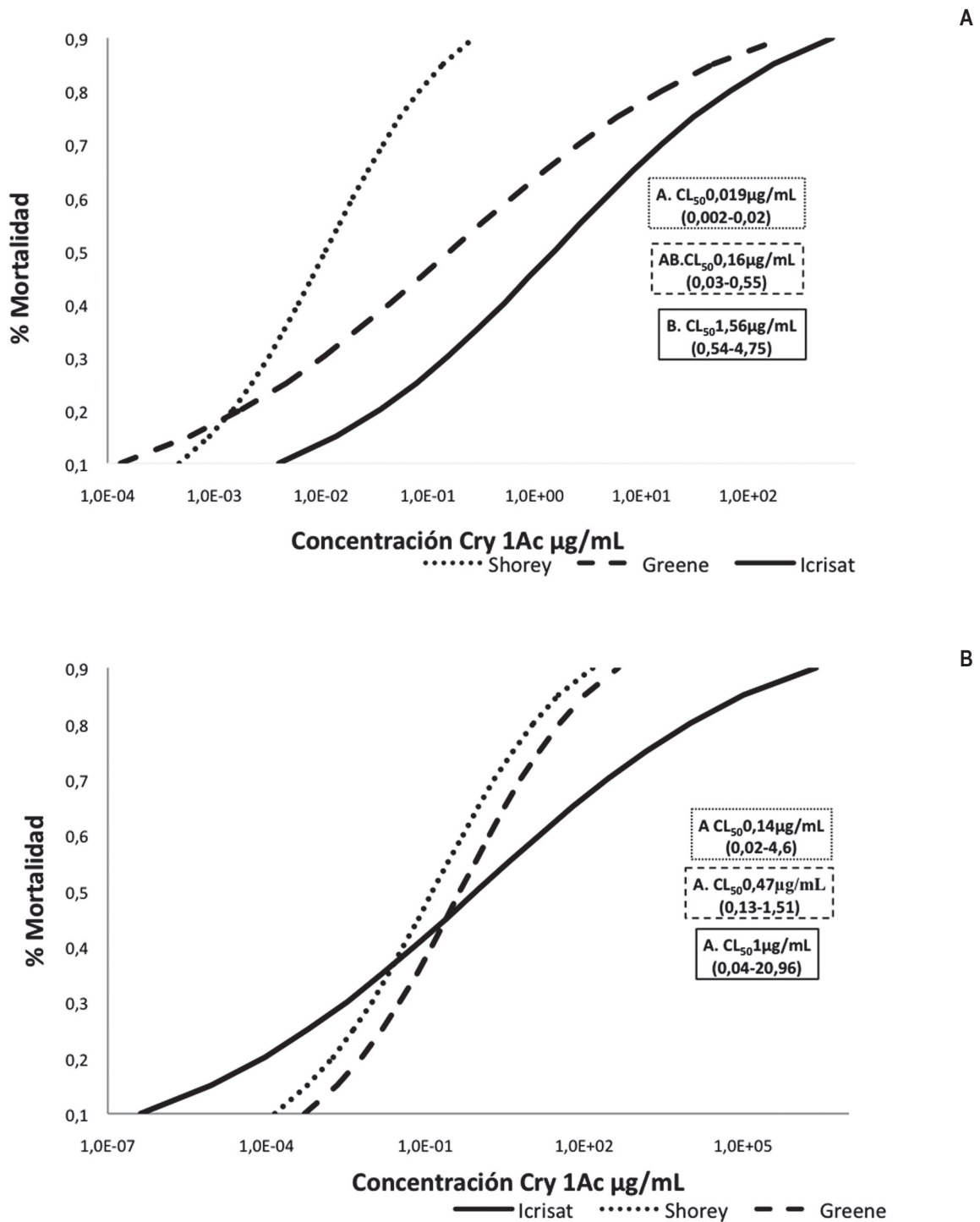


Figura 2. A. Curva Probit y CL₅₀ para *Helicoverpa zea* primera generación, obtenido al incorporar la toxina Cry1Ac, en tres dietas merídicas. B. Curva Probit y CL₅₀ para *Helicoverpa zea*, segunda generación, obtenido al incorporar la toxina Cry1Ac en tres dietas merídicas. Concentraciones letales medias antecedidas por letras diferentes significan diferencias entre los tratamientos (Duncan p<0,05). Entre paréntesis, el intervalo de confianza.

de *H. virescens* no puede ser comparada, debido a que la procedencia de la población evaluada es diferente a la población, con la cual, se generó la línea base.

Finalmente, se considera que para fines del monitoreo de la susceptibilidad a los Crys de las especies colombianas de noctuidos evaluadas, se debe aplicar la metodología establecida que emplea la dieta ICRISAT. Igualmente, al determinar las líneas base para otros Crys, incorporados al algodón o al maíz, se debe respetar la metodología ya comprobada como eficiente.

Agradecimientos: Al grupo de investigación "Fitosanidad", de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a COLCIENCIAS, por la cofinanciación 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

- ABEL, C.A.; ADAMCZYK, Jr., J.J. 2004. Relative concentration of Cr1A in Maize leaves and cotton bolls with diverse chlorophyll content and corresponding larval development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on maize whorl leaf profiles. *J. Econ. Entomol.* 97(5):1737-1744.
- AGRO-BIO. 2009. Estadísticas de cultivos GM 2009. Disponible desde Internet en http://www.agrobio.org/index.php?option=com_content&task=view&id=7350&Itemid=15 (con acceso el 6/01/11).
- AKHURST, R.J.; JAMES, W.; BIRD, L.J.; BEARD, C. 2003. Resistance to the Cry1Ac δ -endotoxin of *Bacillus thuringiensis* in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 96(4):1290-1299.
- ALI, M.I.; LUTRELL, R.G.; YOUNG, III, S.Y. 2006. Susceptibilities of *Helicoverpa zea* and *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) populations to Cry1Ac insecticidal protein. *J. Econ. Entomol.* 99(1):164-175.
- ARÉVALO-MALDONADO, H.A.; ZENNER DE POLANÍA, I. 2009. Evaluación de dietas merídicas para la cría en laboratorio de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. U.D.C.A Actual. & Divul. Cient.* 12(1):79-90. Disponible desde Internet en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v12n1/v12n1a09.pdf> (con acceso el 10/11/10).
- ARÉVALO-MALDONADO, H.A.; ZENNER DE POLANÍA, I. 2010. Evaluation of meridic diets suitable for efficient rearing of *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. U.D.C.A Actual. & Divul. Cient.* 13(2):163-173.
- BLANCO, C.A.; GOULD, F.; VEGA-AQUINO, P.; JURAT-FUENTES, J.L.; PERERA, O.P.; ABEL, C.A. 2009. Response of *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) strains to *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac incorporated into different insect artificial diets. *J. Econ. Entomol.* 102(4):1599-1606.
- BLANCO, C.A.; PORTILLA, M.; JURAT-FUENTES, J.L.; SÁNCHEZ, J.F.; VITERI, D.; VEGA-AQUINO, P.; TERÁN-VARGAS, A.P.; AZUARA-DOMÍNGUEZ, A.; LOPEZ JR., J.D.; ARIAS, R.; ZHU, Y.; LUGO-BARRERA, D.; JACKSON, R. 2010. Susceptibility of isofamilies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1Ac and Cry1Fa proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Southwestern Entomologist.* 35(3):409-415.
- BOWLING, C.C. 1967. Rearing of two lepidopterous pests of rice on a common artificial diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 60(6):1215-1216.
- BUNTIN, D.G.; ALL, J.N.; LEE, D.R.; WILSON, D.M. 2004. Plant-incorporated *Bacillus thuringiensis* resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in corn. *J. Econ. Entomol.* 97(5):1603-1611.
- CAPPELLOZZA, L.; CAPPELLOZZA, S.; SAVIANE, A. 2005. Artificial diet rearing system for the silkworm *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae): effect of vitamin C deprivation on larval growth and cocoon production. *Appl. Entomol. Zool.* 40:405-412.
- ELVIRA, S.; GORRÍA, N.; MUÑOZ, D.; WILLIAMS, T.; CABALLERO, P. 2010. A simplified low-cost diet for rearing *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on *S. exigua* nucleopolyhedrovirus production. *J. Econ. Entomol.* 103(1):17-24.
- ENVIROLOGIX. 2007. Qualiplate™ kit for Cry 1Ab/Cry1Ac. Disponible desde Internet en: <http://www.envirologix.com/library/ap003crbsinsert.pdf> (con acceso el 15/11/10).

14. GARCÍA, M.S.; BUSATO, G.R.; GIOLO, F.P.; MANZONI, C.; BERNARDI, O.C.; ZART, M.; NUNES, A.M. 2006. Tabela de vida de fertilidade de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais. Rev. Bras. Agrociencia (Pelotas). 12(1):51-55. Disponible desde Internet en <http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v12n1/artigo09.pdf> (con acceso el 07/09/07).
15. GE, A.Z.; SHIVAROVA, I.; DEAN, H.D. 1989. Location of the *Bombyx mori* specificity domain on a *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin protein. Proc. Nat. Acad. Sci. 83(11):4037-4041.
16. GREENBERG, S.M.; ADAMCZYK, J.J. 2010. Effectiveness of transgenic Bt cottons against Noctuidae in the Lower Grande Valley of Texas. Southwestern Entomologist. 35(4):539-549.
17. GREENE, G.L.; LEPLA, N.C.; DICKERSON, W.A. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. J. Econ. Entom. Lanham. 69(4):488-497.
18. JURAT-FUENTES, J.; ADANG, M.J. 2004. Characterization of a Cry1Ac-receptor alkaline phosphatase in susceptible and resistant *Heliothis virescens* larvae. Europe Journal of Biochemistry. 217(15):3127-3135. Disponible desde Internet en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1432-1033.2004.04238.x/pdf> (con acceso 1/04/10).
19. MORIMOTO, M.; MATSUDA, K.; OHTA, Y. 2004. Evaluation of calcium-alginate gel as an artificial diet medium for bioassays on common cutworms. J. Agric. Food Chem. 52:4737-4739.
20. MEJÍA C., R.A.; ZENNER DE POLANÍA, I. 2011. Expresión de la toxina Cry1ab en maíz transgénico Yielgard® en los Llanos Orientales de Colombia (en evaluación).
21. MOLINA-OCHOA, J; HUTCHISONS, W.D.; BLANCO A., C. 2010. Estado actual de *Helicoverpa zea* y *Heliothis virescens* dentro de un panorama cambiante en el sur de los Estados Unidos de Norte América y México. Southwestern Entomologist. 35(3):347-354.
22. MONNERAT, R.; MARTINS, E.; QUEIROZ, P.; ORDÚZ, S.; JARAMILLO, G.; BENINTENDE, G.; COZZI, J.; REAL, M.D.; MARTINEZ-RAMIREZ, A.; RAUSELL, C.; CERÓN, J.; IBARRA, J.E.; RINCON-CASTRO, M.C.; ESPINOZA, A.M.; MEZA-BASSO, L.; CABRERA, L.; SÁNCHEZ, J.; SOBERON, M.; BRAVO, A. 2006. Genetic variability of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Latin America is associated with variations in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* Cry toxins. Appl. Environ. Microbiol. 72: 7029-7035. Disponible desde Internet en: <http://aem.asm.org/cgi/reprint/72/11/7029> (con acceso el 14/01/11).
23. SANTOS-AMAYA, O.; DELGADO-RESTREPO, O.; ARGÜELLES, J.; AGUILERA-GARRAMUÑO, E. 2009. Evaluación del comportamiento del complejo *Spodoptera* con la introducción de algodón transgénico al Tolima, Colombia. Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria 10(1):24-32. Disponible desde Internet en <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Revista/3.EvaluacindelcomportamientodelcomplejoSpodoptera.pdf> (con acceso el 6/01/11).
24. SCOPES, R.K. 1987. Protein purification principles and practice, 2nd ed. Polyp.Springer. New York. p.280-282.
25. SHOREY, H.H.; HALE, R.L. 1965. Mass-Rearing of the larvae of nine Noctuid species on simple artificial medium. J. Econ. Entomol. 58(3):522-524.
26. STORER, N.P.; BABCOCK, J.M.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G.D.; BING, J.W.; HUCKABA, R.M. 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. J. Econ. Entomol. 103(4): 1031-1038.
27. VILLACORTA, A.; COBO DE MARTÍNEZ, L.S. 1978. Efecto del modo de preparación de la dieta sobre el crecimiento y desarrollo de *Spodoptera frugiperda*. ICA (Colombia). p.96-103.
28. ZENNER DE POLANÍA, I.; ÁLVAREZ-RODRÍGUEZ, J.A.; ARÉVALO-MALDONADO, H.A.; MEJÍA-CRUZ, R.; BAYONA-ROJAS, M. 2008. Susceptibilidad de cuatro noctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. Rev. Colom. Entomol. 34(1):41-50. Disponible desde Internet en <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v34n1/v34n1a05.pdf> (con acceso el 6/01/11).
29. ZENNER DE POLANÍA, I.; ARÉVALO-MALDONADO, H.A.; MEJÍA-CRUZ, R.; DÍAZ-SÁNCHEZ, J. 2009. *Spodoptera frugiperda*: respuesta de distintas poblaciones a la toxina Cry1Ab. Rev. Colom. Entomol. 31(1):34-41. Disponible desde Internet

en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882009000100007&lng=en&nrm=iso (con acceso el 13/10/09).

30. ZENNER DE POLANÍA, I.; ÁLVAREZ R., J.A.; ARÉVALO M., H.A. 2010. Respuestas de *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) a la toxina Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis*. *Southwestern Entomologist*. 35(1):85-98.

Recibido: Enero 21 de 2011

Aceptado: Abril 13 de 2011

DESARROLLO DE MODELOS DE BIOMASA AÉREA EN SOMBRÍOS DE CAFETO (*Coffea arabica* L.) MEDIANTE DATOS SIMULADOS

DEVELOPING ABOVE-GROUND BIOMASS MODELS FOR COFFEE (*Coffea arabica* L.) SHADE TREES VIA SIMULATED DATA

Javier Darío Aristizábal¹

¹Ingeniero Forestal. Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integrado de Recursos Naturales. Fundación Natura. Carrera 116B No. 77-67 Int. 7 Apto. 402. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. jaristizabal@natura.org.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 49 - 56, 2011

RESUMEN

Los modelos alométricos han sido una valiosa herramienta para predecir el crecimiento de la biomasa de diversas especies de árboles; sin embargo, dichos modelos han sido construidos para muy pocas especies. El desarrollo de ecuaciones alométricas para otras especies forestales trae consigo ciertas complejidades, desde el punto de vista logístico, operativo y de costos. La presente investigación propone el desarrollo de un modelo genérico, a partir de datos simulados, generados de ecuaciones alométricas construidas con datos reales de campo, el cual, puede ser aplicado para pronosticar el crecimiento de la biomasa de aquellas especies forestales que, tradicionalmente, son utilizadas como sombríos de café u otro tipo de cultivo. De igual forma, se elaboró un modelo alométrico para el café, siguiendo el mismo procedimiento. Para el caso de los árboles, la ecuación genérica fue construida con base en la información volumétrica de catorce especies de distintas edades. Los resultados de los modelos, tanto de árboles como de cafetos, muestran un comportamiento conservador y coherente en comparación con los datos reales de campo, lo que hace factible su aplicabilidad, para predecir la biomasa de los componentes.

Palabras clave: Modelo, alométrico, biomasa, árboles de sombra, agroforestal.

SUMMARY

Allometric models have been a valuable tool for predicting biomass growth of several tree species, however, such models

have only been constructed for a few of them. Developing allometric models for other tree species implies certain complexities from the logistic, operational and cost based point of view. This research proposes the development of a generic allometric model through simulated data generated from allometric equations constructed from real field data that could be used for forecasting biomass growth of tree species usually planted as shade for coffee or other crops. Likewise, an allometric model for coffee bushes, following same procedure was made. In case of shade trees, the generic allometric equation was based on volumetric data of fourteen tree species. Results from models for both shade trees and coffee bushes show a conservative, coherent performance in comparison with real field data which allows its application in order to predict the components of biomass.

Key words: Model, allometric, biomass, shade trees, agroforestry.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década, se han emprendido diferentes iniciativas en el sector AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use), para contrarrestar los efectos del calentamiento global, provocado por el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. En este sentido, las actividades agroforestales desempeñan un papel relevante, dado que se estima que el carbono almacenado por este uso de la tierra corresponde a aproximadamente el 12% del carbono terrestre mundial (Smith *et al.* 1993 y Dixon 1995, citados por Albrecht & Kandji, 2003).

En el trópico, el potencial de fijación de carbono por los sistemas agroforestales, se estima entre 12 a 228 Mg ha⁻¹, dependiendo de la estructura del sistema y el medio en el que se establecen (Albrecht & Kandji, 2003). La distribución del carbono varía de acuerdo al depósito, pero la evidencia demuestra que el suelo contiene más del 60% respecto al total del carbono almacenado, seguido de la biomasa aérea, con el 30% y la necromasa con aproximadamente el 10% (Birdsey, 1992).

La inclusión de proyectos agroforestales, como mecanismo de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), plantea ciertos retos metodológicos, que han sido abordados convenientemente por los diferentes cuerpos científicos internacionales, quienes han dado oportuna solución a los obstáculos presentados; no obstante, aún subsisten dificultades técnicas que impiden la implementación generalizada de proyectos de compensación de emisiones por parte de las comunidades rurales, quienes se podrían beneficiar aún más por la venta del carbono almacenado en sus fincas.

Entre dichas limitantes técnicas, se encuentra la insuficiencia de información relacionada con la producción de biomasa de las especies forestales, que son utilizadas localmente en los sistemas agroforestales, aspecto que cobra mayor relevancia en ciertas prácticas agrícolas, que por sus características deben contar con una importante cantidad de árboles, como parte del sistema. Este parece ser el caso de las fincas cafeteras o cacaoteras, que funcionan bajo esquemas de certificación, como la norma de la Red de Agricultura Sostenible, puesto que deben cumplir ciertos criterios en cuanto a la cantidad y el número mínimo de especies que deben ser plantados entre el cultivo principal (Rainforest Alliance, 2009).

Para predecir el incremento de la biomasa de un árbol, se utilizan métodos indirectos de estimación, como el uso de modelos alométricos o la aplicación de factores de expansión de biomasa (FEB) sobre existencias de volumen maderable.

El primer caso, se fundamenta en la alometría, que es definida como “las relaciones entre las dimensiones de los organismos y los cambios en las proporciones relativas de estas dimensiones con los cambios en el tamaño absoluto” (Goldman *et al.* 1990). En virtud de lo anterior y en el caso particular de un individuo arbóreo, un modelo alométrico es una ecuación matemática que relaciona la biomasa con variables del árbol, fácilmente medibles en pie, tales como el diámetro normal, altura de la copa libre, altura a la primera ramificación, altura total de la planta, ya sea en combinación simple o múltiple de estos atributos (Vallejo *et al.* 2008).

Teniendo en cuenta la alta heterogeneidad en cuanto a la composición del sombrero para cafetales o cacaoales es

poco probable hallar ecuaciones alométricas específicas para todas las especies involucradas, salvo para aquellas especies que han sido extensamente documentadas, tal como *Cordia alliodora* (Ruíz y Pavón) Oken o *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook (Ortiz *et al.* 2008; Segura *et al.* 2006; Oelbermann *et al.* 2004).

Ortiz *et al.* (2008) consideraron el uso de dos ecuaciones alométricas para *C. alliodora*, en dos sitios de Panamá, en donde la biomasa era predicha en función de la edad. Segura *et al.* (2006) desarrollaron modelos alométricos para *C. alliodora*, *Inga punctata* Willd., *Inga tonduzzi* Donn. Sm. y *Juglans olanchana* Standl. & L. O. Williams, en la provincia de Matagalpa, Nicaragua.

También, se han implementado modelos de alométricos de biomasa para *Coffea arabica* L., en Nicaragua (Segura *et al.* 2006; Suárez *et al.* 2002) e Indonesia (van Noordwijk *et al.* 2002).

El presente artículo plantea una solución alternativa a la elaboración de modelos alométricos de biomasa, basados en muestreos destructivos, al optar por construir una ecuación alométrica genérica, desarrollada a partir de datos simulados, originados a partir de modelos construidos con datos reales de campo. Para tal fin, fueron evaluados los sombríos utilizados en nueve fincas cafeteras, certificadas bajo el sello Rainforest Alliance y con base en la información dendrométrica obtenida, se diseñó una ecuación genérica que pudiese ser aplicada a cualquier especie del sombrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de fincas de acuerdo a la edad y establecimiento de parcelas: Para contar con árboles de diferentes clases diamétricas, se definieron los siguientes cinco rangos de edades: menor de cinco años, entre cinco y diez años, entre diez y 15, entre 15 y 20 y mayores de 20 años. Por cada rango, se escogieron dos fincas, seleccionadas de un núcleo de fincas cafeteras certificadas, del municipio de San Vicente de Chucurí (Departamento de Santander, Colombia).

En cada finca, se estableció una parcela temporal de 0,1ha (10 x 100m) al interior del cafetal, en donde se midieron todos los árboles. De igual forma, cada parcela fue subdivida en 40 cuadrantes de 25m² y, aleatoriamente, fueron escogidos dos de ellos para medir los arbustos de café.

Parámetros de medición: Para los árboles, se registraron las principales variables dendrométricas, que se consideran indispensables para efectuar cálculos de volumen, como el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total, la altura fustal y el diámetro superior aparente. En este último caso, Pearson *et al.* (2005) sugieren el uso del relascopio, para determinar diámetros a diferentes alturas del fuste; sin embargo, una técnica más simple consiste en el uso del

método de la regla transparente, según, el cual, se observa el diámetro aparente del fuste a una altura determinada, a través de una regla transparente, la que se debe encontrar a una distancia fija de los ojos del observador (entre 10 a 20 centímetros). Se debe registrar la lectura del diámetro aparente y la distancia desde el punto de observación hasta el diámetro aparente. El diámetro real aproximado es el producto entre la lectura observada, a través de la regla y, el cociente, entre la distancia calculada entre el punto de observación hasta el árbol y la distancia entre el ojo y la regla. Todas las variables obligan utilizar las mismas unidades métricas.

En aquellos árboles cuya altura total no superaba los 1,3 metros, se registraba el diámetro apical. Para el caso de los arbustos de café, se midió la altura total del tallo, el diámetro basal y el diámetro apical.

Las alturas de los árboles fueron estimadas utilizando un clinómetro (Suunto PM-5) y los cafetos fueron medidos con un flexómetro (Lufkin, ref.: L516CME). Para registrar los diámetros, se empleó cinta métrica, en el caso de los árboles y calibrador (vernier) (Mitutoyo, ref.: 530).

Cubicación de árboles y cafetos: Para la determinación de los volúmenes individuales, tanto de los árboles como de los arbustos de café, se aplicó la ecuación volumétrica para conos truncados, sugerida por Pearson *et al.* (2007):

$$V = \pi(R^2 + r^2 + Rr) * h/3; \text{ donde,}$$

V= volumen del fuste (m³)
 R = radio mayor (m)
 r = radio menor (m)
 h = altura del fuste hasta el diámetro superior aparente (m)

En el caso de los árboles, el radio mayor concernía al DAP y, el menor, al diámetro superior aparente. Para los cafetos,

el radio mayor correspondía al diámetro basal y el menor al diámetro apical.

Estimación de la biomasa aérea: Para calcular la biomasa aérea del sistema agroforestal de café con sombra diversificado fue necesario considerar un procedimiento que se resume en los siguientes pasos:

1. Conversión de volúmenes a biomasa seca: el volumen obtenido fue convertido a biomasa seca al multiplicarlo por la correspondiente densidad básica de la especie en cuestión. Dichas densidades aplican a las reportadas por Acero (1985). Para el caso del café, se utilizó el dato de densidad indicado por Romijn & Wilderink (1987).
2. Determinación de factores de expansión de biomasa (FEB): se efectuó por inferencia lógica basada en ecuaciones alométricas elaboradas por otras investigaciones, a través de mediciones directas en campo. Tanto para los árboles de sombra como para los cafetos, se emplearon cuatro ecuaciones alométricas, reportadas por Segura & Andrade (2008), Segura *et al.* (2006), Suárez *et al.* (2002) y van Noordwijk *et al.* (2002). Con cada uno de ellos, se calculó la biomasa total, de acuerdo a la variable independiente utilizada (diámetro o altura), cuyos resultados fueron sumados y promediados para obtener un valor simulado de biomasa total (Cuadro 1). Este resultado fue dividido por el valor real de biomasa seca del fuste (tallo, en el caso de los cafetos), obtenido en la presente investigación y, finalmente, se obtuvo un FEB individual. El resultado fue correlacionado con la variable altura total (h), para los cafetos y DAP, para los árboles.

Para calcular el FEB de los árboles, se evaluó un total de 186 individuos, distribuidos entre las siguientes especies: *Albizia carbonaria* Britton (cinco individuos),

Cuadro 1. Modelos alométricos utilizados para estimar los datos simulados.

MODELO		FUENTE
CAFETO	$B = 10^{-1,0 + (2 * \log(d15)) + (0,54 * \log(h))}$	[1] Segura <i>et al.</i> (2006)
	$B = 10^{-1,2 + (2,1 * \log(d15))}$	[2] Segura <i>et al.</i> (2006)
	$B = 0,2811 * (dap)^{2,06357}$	[3] van Noordwijk <i>et al.</i> (2002)
	$\ln(B) = -2,39287 + (0,95285 * \ln(d15)) + (1,2693 * \ln(h))$	[4] Suárez <i>et al.</i> (2002)
ÁRBOLES	$B = 10^{-1,54 + (2,05 * \log(dcm)) + (1,18 * \log(h))}$	[1] Segura & Andrade (2008)
	$B = 10^{-1,11 + (2,64 * \log(dap))}$	[2] Segura & Andrade (2008)
	$B = 10^{-1,0 + (2,3 * \log(dap))}$	[3] Segura <i>et al.</i> (2006)
	$B = 10^{-0,9578 + (2,3408 * \log(dap))}$	[4] Suárez <i>et al.</i> (2002)

Notas: B = biomasa total (kg); log = logaritmo base 10; h = altura total (m); d15 = diámetro del tronco a 15 cm de altura (cm); dap = diámetro a la altura del pecho (cm); ln = logaritmo natural; dcm = diámetro cuadrático medio a una altura de 30 cm (cm).

Cecropia sp. (un individuo), *Cedrela odorata* L. (ocho individuos), *Citrus sinensis* Osbeck (cuatro individuos), *C. alliodora* (49 individuos), *Erythrina edulis* Triana ex Micheli (cuatro individuos), *Erythrina fusca* Lour. (diez individuos), *E. poeppigiana* (19 individuos), *Inga codonantha* Pittier (56 individuos), *Myrsine ferruginea* (Ruiz & Pav.) Spreng (once individuos), *Persea americana* Mill. (un individuo), *Tabebuia rosea* (Bertol.) A.DC. (cuatro individuos), *Trichantera gigantea* (Bonpl.) (siete individuos) y *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. (siete individuos).

Los resultados individuales de FEB fueron analizados estadísticamente, utilizando el programa STATGRAPHICS Plus 5, para determinar qué comportamiento presentaban con respecto al DAP y la edad, y de qué forma podían ser aplicados para obtener la biomasa total por individuo.

3. Elaboración de modelo alométricos: para el diseño de modelos de regresión se generaron pseudodatos de biomasa seca total por individuo, aplicando los valores FEB sobre los datos de biomasa del fuste (o tallo), calculados previamente. Estos resultados fueron transformados para cumplir con los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas. Cada pseudodato fue correla-

cionado con su correspondiente variable predictora (diámetro o altura), para generar una ecuación de biomasa. Este paso, se aplicó tanto para los árboles de sombrero como para los arbustos de cafeto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor de expansión de biomasa para cafeto: El análisis de regresión arrojó como resultado, que el modelo de mejor ajuste era de tipo recíproco con respecto a X (variable independiente), el cual, presentó un coeficiente de determinación ajustado alto ($R^2_{ajust.} = 0,96$) y un error estándar de estimación bajo ($RCME = 0,27$). Los pronósticos del modelo son congruentes con lo expuesto por la literatura, en el sentido que, bajo condiciones de sombra, el FEB disminuye a medida que la variable independiente aumenta (IPCC, 2003; IPCC, 2006; Pearson *et al.* 2007; Vallejo *et al.* 2008). Con base en lo anterior, se pudo establecer un FEB variable para el cafeto con respecto a la altura de cada individuo. De acuerdo a la información derivada del modelo obtenido (Cuadro 2), se infiere que el FEB es drásticamente mayor cuando la altura del arbusto de cafeto era de 0,1 metros y cayó vertiginosamente hasta cuando alcanzó el

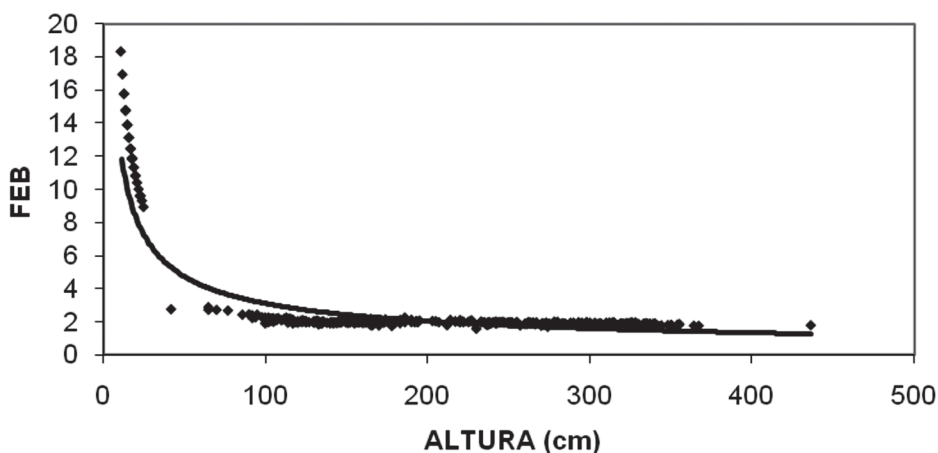


Figura 1. Relación alométrica entre el FEB y la altura total del cafeto (*Coffea arabica* L.).

Cuadro 2. Modelos alométrico para estimar FEB y biomasa en cafeto (*Coffea arabica* L.).

PARÁMETRO	MODELO	$R^2_{AJUST.}$	RCME
FEB	$FEB_i = 0,981672 + (189,052/h)$	0,96	0,27
BIOMASA TOTAL	$\ln(B_i) = 1,69001 * \ln(h) - 8,78722$	0,85	0,41
FEB _i = factor de expansión de biomasa individual; h = altura total (m); ln = logaritmo base e; B _i = Biomasa total (kg)			

metro de altura. A partir de este punto, el FEB se estabilizó y se disminuyó gradualmente, cuando el café presentó entre uno y tres metros de altura (Figura 1).

Modelo alométrico para café a partir de datos simulados: Para estimar la biomasa total, se aplicó el valor de FEB resultante de la correspondiente ecuación sobre el valor de biomasa fustal individual. Con este valor, se construyó el modelo de crecimiento de biomasa total en función de la altura. Como resultado, se obtuvo que el modelo de mejor ajuste fue de tipo potencial con transformación lineal, logrando un coeficiente de determinación ajustado, que explica el 85% de la variable respuesta ($R^2_{ajust.} = 0,85$) y un error estándar de estimación (RCME) de 0,41.

Con base en lo anterior, se puede inferir que la biomasa total de un arbusto de café puede fluctuar desde 0,36kg para un individuo de un metro de altura hasta de 3,81kg, para un individuo de cuatro metros. Estos resultados son muy similares a los que se pueden obtener con las ecuaciones de Segura *et al.* (2006), cuyos valores fluctuarían entre 0,16 y 0,18kg, para un café de un metro y 3,84 y 3,12kg, para un individuo de cuatro metros de altura. También son muy cercanos a los que se podrían obtener con la ecuación

propuesta por Suárez *et al.* (2002) (0,17 y 3kg, para individuos de uno y cuatro metros, respectivamente); sin embargo, la principal diferencia se observa en el extremo inferior del rango, en donde la biomasa en cafetos de un metro, obtenida a partir de la ecuación propuesta, duplica el dato arrojado por las ecuaciones de los autores mencionados.

Factor de expansión de biomasa para árboles de sombra: El FEB fue calculado individualmente como el cociente entre el dato promedio de biomasa total arrojado por las cuatro ecuaciones utilizadas, sobre el valor de biomasa fustal real, calculado como el producto entre el volumen fustal y la densidad básica de la especie correspondiente. Se trató de establecer si existía correlación entre el FEB y el DAP, pero el nivel de ajuste de los diferentes modelos probados fue muy bajo. En virtud de lo anterior, se analizó estadísticamente el comportamiento del FEB con respecto a la edad. El análisis de varianza (ANOVA) demostró que no existían diferencias significativas entre la media aritmética entre grupos de edades, lo cual, fue corroborado aplicando las correspondientes pruebas de homogeneidad de varianzas.

Considerando que no existen diferencias significativas entre los valores de FEB promedio por edad, se considera que

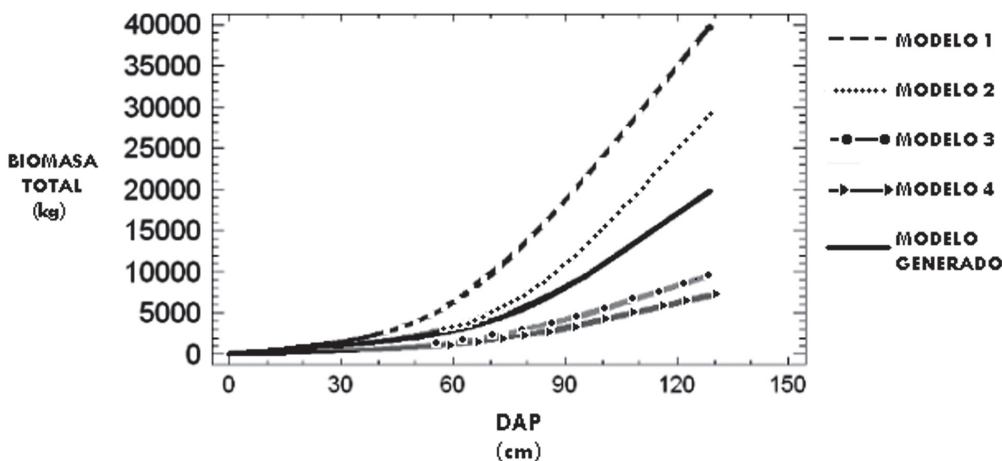


Figura 2. Comportamiento entre las curvas de crecimiento de biomasa para árboles de los modelos reales de campo y del modelo generado por datos simulados.

Cuadro 3. Modelo alométrico genérico para estimar biomasa en los árboles de sombra.

PARÁMETRO	MODELO	$R^2_{ajust.}$	RCME
BIOMASA TOTAL	$\ln(B_t) = 2,44476 * \ln(dap) - 1,98675$	0,87	0,74
Bt =Biomasa total (kg); dap = diámetro a la altura del pecho (cm); ln = logaritmo base e			

el valor de FEB para los árboles que componen el sombrío de cafeto, corresponde al promedio general de la muestra que, para este caso, fue de 1,93. Este valor coincide con lo expuesto por Andrade & Ibrahim (2003), quienes sostienen que en sistemas agroforestales es posible encontrar valores promedios de FEB entre 1,9 a 2,4, lo que contribuye a sustentar la hipótesis con respecto a que el patrón de producción de biomasa en sistemas arbóreos, que se desarrollan a “cielo abierto”, es mayor en comparación con aquellos individuos que crecen bajo condiciones de sombra.

Modelo alométrico genérico para los árboles de sombrío:

El análisis de regresión de los datos transformados generó una ecuación (Cuadro 3) que presentó un coeficiente de determinación ajustado, que explica el 87% de la variabilidad de la biomasa aérea ($R^2_{\text{ajust.}} = 0,87$) y un error estándar de estimación (RCME) de 0,74, que define la bondad de ajuste del modelo; no obstante, fue necesario definir rangos de certeza, debido a que los datos fueron construidos por simulación y no reflejan necesariamente el comportamiento real de la variable que es analizada. Considerando la cantidad de datos con los que se construyó el modelo, se definieron niveles de pronóstico, de acuerdo a los rangos de diámetro.

Con base en el modelo, se puede establecer que un árbol con DAP promedio de 40cm puede presentar una cantidad de biomasa seca, de aproximadamente 1,13t, resultado que guarda semejanza al emplear el mismo diámetro con el segundo modelo propuesto por Segura & Andrade (2008); aunque también hay que advertir que dicho resultado es mucho mayor que el arrojado por los modelos tres y cuatro para este mismo valor diamétrico, lo cual, resulta perfectamente justificable, si se tiene en cuenta que más del 50% de los árboles de la muestra presentaron valores de biomasa fustal, que superaron el valor de biomasa total pronosticado por dichas ecuaciones, para un diámetro determinado (Figura 2).

Cuantificación de la biomasa total en fincas cafeteras bajo esquemas de certificación: La biomasa aérea total del sistema agroforestal comprende la suma de la biomasa total del cultivo de cafeto y la biomasa de los árboles de sombrío. Debido a la complejidad de los arreglos agroforestales, en términos de especies, estructura y edad, es difícil establecer con certeza la producción potencial de biomasa seca, la que dependerá, básicamente, de la etapa de desarrollo en que se halle cada uno de sus componentes.

Usualmente, en el caso de los árboles maderables, su periodo de vida dentro del sistema agroforestal, se puede extender hasta 20 años antes de ser aprovechados. En el caso del cafeto, se observa que el periodo de vida de un cafetal es de aproximadamente cinco años, antes de que se efectúe la renovación del mismo.

Considerando lo anterior, la biomasa aérea del sistema agroforestal puede fluctuar entre un dato mínimo y uno máximo por hectárea. El valor mínimo contempla que, tanto el cafetal como el sombrío, se siembran al mismo tiempo y, por ende, al cabo del primer año, la cantidad de biomasa aérea será del orden de $2t \cdot ha^{-1}$. De otro lado, el valor máximo se presentará si, tanto el cafetal como el sombrío, coinciden en su edad límite (20 años para los árboles y cinco años para los arbustos de cafeto), lo cual, resultaría en una producción de biomasa de $231t \cdot ha^{-1}$. Estos valores difieren con los encontrados en otras investigaciones. Suárez *et al.* (2002) indican que la producción de biomasa en un cafetal joven con sombrío diversificado, menor de cinco metros de altura, puede alcanzar la cifra de $1,1t \cdot ha^{-1}$, mientras que un cafetal productivo con sombrío de más de diez metros, cuantificaría una cantidad de biomasa aérea, del orden de $35,4t \cdot ha^{-1}$. En Sumatra, van Noordwijk *et al.* (2002) reportan existencias promedio de biomasa aérea, del orden de $48 t \cdot ha^{-1}$ a $69t \cdot ha^{-1}$, para cafetales bajo sombrío, con edades que oscilan entre 2 a 40 años. Concha *et al.* (2007) señalan que un sistema agroforestal de cacao bajo sombrío, en edades entre cinco a doce años, presentaban existencias de biomasa, que fluctuaban entre 12 a $35,5t \cdot ha^{-1}$, respectivamente.

Es probable que estas diferencias, respecto a los datos presentados en esta investigación, sean el resultado de las variaciones en las prácticas de manejo agronómico, en términos de densidades de siembra, intensidad y composición del sombrío y la edad de los componentes, que conforman el sistema agroforestal.

Se concluye, que la elaboración de modelos alométricos genéricos de biomasa a partir de datos simulados es una alternativa fiable para determinar el crecimiento individual, tanto de árboles que sirven de sombrío como para el cultivo principal (cafeto o cacao), dado que al ponderar los valores de modelos desarrollados con datos obtenidos directamente en campo, se analizan las diferentes tendencias de crecimiento y se adopta un modelo que concilie las características de desarrollo de las especies, como expresión del entorno, en el que se establecen con la probabilidad de generar la cantidad de fitomasa que más se ajuste a la realidad. De otro lado, la construcción de modelos alométricos de biomasa basados en datos simulados, ofrece una alternativa costo-efectiva a los muestreos destructivos cuando esta última no es posible llevarse a cabo, principalmente, en aquellos escenarios en donde el componente arbóreo es conformado por múltiples especies con falencias en información asociada a tasas de producción de biomasa y es imposible desarrollar modelos específicos.

No obstante, el desarrollo de estos modelos está supeditado a la ejecución previa del correspondiente inventario en campo, para determinar datos de volumen individuales. Finalmente, es necesario contar con información de densidad básica

de las especies involucradas y un factor de expansión de biomasa (FEB) apropiado. En este último caso, se propone emplear la ecuación de FEB desarrollada para el café cuando se trate de este cultivo, en cambio para cacao será necesario desarrollar una ecuación propia. Para el caso de los árboles, se considera apropiado aplicar un FEB fijo de 1,9.

Agradecimientos: El autor agradece la colaboración dispensada por los caficultores del municipio de San Vicente de Chucurí (Santander), quienes hicieron posible que la presente investigación se llevara a cabo. **Conflicto de intereses:** La presente obra es propiedad intelectual exclusiva de quien funge como autor y quien declara la inexistencia de conflicto de intereses con terceros que pueda poner en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por COLCIENCIAS y la Fundación Natura.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, L. 1985. Árboles de la zona cafetera colombiana. Ediciones Fondo Cultural Cafetero (Bogotá). 286p.
- ALBRECHT, A.; KANDJI, S. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, ecosystems and environment* [en línea]. 99: 15 – 27. Disponible desde internet en: http://faculty.unlv.edu/abellas2/Restoration_course/Albrecht%202003%20C%20storage%20in%20tropical%20agroforestry%20systems%20Ag%20Eco%20Env.pdf (con acceso el 20/08/2010).
- ANDRADE, H.; IBRAHIM, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* (Costa Rica). 10(39,40):109-116.
- BIRDSEY, R. 1992. Carbon storage and accumulation in United States forest ecosystems. *USDA Forest service – Northeastern forest experiment station* (USA). 51p.
- CONCHA, J.; ALEGRE, J.; POCOMUCHA, V. 2007. Determinación de la reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L, en el Departamento de San Martín, Perú. *Ecología aplicada* (Lima). 6(1-2):75-82.
- GOLDMAN, C.; SNELL, R.; THOMASON, J.; BROWN D. 1990. Principles of allometry [en línea]. Association for Biology Laboratory Education. Toronto (Canadá). ABLEWEB. 1990. Disponible desde internet en: <http://www.ableweb.org/volumes/vol-11/4-goldman.pdf> (con acceso el 13/08/2010).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacional de gases de efecto invernadero [En línea]. IPCC (Geneve). Versión en español. 4(4):93p. Disponible desde internet en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (con acceso el 12/02/2010).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2003. Orientación del IPCC sobre las buenas practicas para UTCUTS [En línea]. IPCC (Geneve). Versión en español. 3:325p. Disponible desde internet en: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.html> (con acceso el 12/02/2010).
- OELBERMANN, M.; VORONEY, R.; GORDON, A. 2004. Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and Southern Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Amsterdam). 104(3):359-377.
- ORTIZ, A.; RIASCOS, L.; SOMARRIBA, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas* (Costa Rica). (46):26-29.
- PEARSON, T.; BROWN, S.; BIRDSEY, R. 2007. Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. *USDA Forest service* (Newton Square - USA). 42p.
- PEARSON, T.; WALKER, S.; BROWN, S. 2005. Sourcebook for land use, land – use change and forestry projects. *BioCarbon Fund – Winrock International* (Washington D.C). 57p.
- RAINFOREST ALLIANCE. 2009. Norma para agricultura sostenible. *Red de agricultura sostenible - Rainforest Alliance* (San José, Costa Rica). 42p.
- ROMINJ, M.; WILDERINK, E. 1987. Fuelwood yield from coffee prunings in the Turrialba valley. En: Somarriba, E. ed. *Investigación agroforestal del proyecto UNU/CATIE 1979 – 1987*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), (Turrialba, Costa Rica): p.53-71.
- SEGURA, M.; ANDRADE, H. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas* (Costa Rica). (46):89-96.

16. SEGURA, M.; KANNINEN, M.; SUAREZ, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry systems* (Netherlands). 68(2):143-150.
17. SUÁREZ, D.; STONIAN, D.; SEGURA, M.; HAGGAR, J.; LOCATELLI, B.; GÓMEZ, M. 2002. Cuantificación y valoración económica del servicio ambiental almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de café en Yassica sur, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) (Turrialba, Costa Rica). 8p. Disponible en: <http://www.geolatina.net/cuencasnicaragua/sites/default/files/file/Cap%204/Cuantificacion%20y%20valoracion%20C%20almacenado%20en%20SAF.pdf> (con acceso el 23/08/2010).
18. VALLEJO, A.; HERNÁNDEZ, P.; De JONG, B.; MARTÍNEZ, C.; RODRÍGUEZ, P. 2008. Preguntas frecuentes sobre la estimación de carbono para proyectos forestales MDL. Salinas, Z.; Hernández, P. eds. *Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía*. CATIE – CIFOR (Turrialba, Costa Rica). p.43-66.
19. Van NOORDWIJK, M.; RAHAYU, S.; HAIRIAH, K.; WULAN, Y.; FARIDA, A.; VERBIST, B. 2002. Carbon stock assesment for a forest to coffee conversion landscape in Sumber – Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land change analysis. *Science in China (series C)* (Beijing, China). 45(s1):75-86.

Recibido: Abril 9 de 2010

Aceptado: Marzo 14 de 2011

SUPLEMENTACIÓN DE TERNERAS LACTANTES DOBLE PROPÓSITO EN LA ÉPOCA SECA EN EL VALLE MEDIO DEL SINÚ, COLOMBIA

SUPPLEMENTATION OF LACTATING CALVES DUAL PURPOSE IN THE DRY SEASON IN THE MIDDLE SINU VALLEY, COLOMBIA

Carlos Oviedo¹, Ángela Pastrana², Libardo Maza³, Roger Salgado⁴, Oscar Vergara⁵

¹ M.V.Z, Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Montería, Colombia, carlosoviedop@gmail.com
² M.V.Z, Profesional particular, Montería, Colombia, angelapastrana@hotmail.com ³ M.Sc. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Montería, Colombia, libardomaza@gmail.com ⁴ M.Sc. Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Montería, Colombia, rodasaot@yahoo.es ⁵ Dr.Sc, Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Montería, Colombia, overgara@sinu.unicordoba.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 57 - 62, 2011

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la ganancia de peso vivo y la relación beneficio - costo de terneras lactantes manejadas bajo el sistema doble propósito, suplementadas con semilla de algodón y melaza, durante la época seca en la finca Picacho, municipio de Montería, departamento de Córdoba, Colombia. Se utilizaron 26 terneras mestizas, divididas aleatoriamente en un grupo testigo (13 animales), que recibía el manejo tradicional de la finca y un grupo experimental (13 animales), que tomaban un suplemento alimenticio, a base de semilla de algodón y de melaza. Los animales, después de un periodo de adaptación de dos semanas, fueron pesados cada 14 días, durante 84 días. Para el análisis estadístico, se aplicó la prueba t de Student y análisis de varianza de medidas repetidas en el tiempo. La relación beneficio - costo, se obtuvo a través de la técnica del presupuesto parcial. El promedio de la ganancia diaria de peso difirió ($P \leq 0.05$) entre el grupo experimental (484g) y el testigo (346g). Los ingresos netos generados por el tratamiento experimental fueron de 80.462 pesos y para el testigo, 58.154. El incremento en el ingreso neto fue de 22.308 pesos, con una tasa de retorno marginal de 1,73 y un beneficio económico del grupo experimental sobre el testigo de 9.346 por animal. Se concluyó que el suplemento disminuyó el efecto negativo de la época seca sobre la ganancia de peso, además, de ser una alternativa económicamente viable.

Palabras clave: Ganancia de peso, melaza, semilla de algodón, suplemento.

SUMMARY

The aim of this research was to evaluate weight gain and the relation benefit - cost of lactating calves, managed under the dual purpose system, supplemented with cottonseed and molasses during the dry season in the Picacho farm in the Municipality of Montería, Department of Córdoba, Colombia. 26 lactating crossbred calves were used, randomly divided in a control group of 13 animals that received the traditional farm management and an experimental group of 13 animals that received also the traditional farm management and supplement food based on cottonseed and molasses. After an adaptation of two weeks the calves were weighed every 14 days during 84 days. Student t test and analysis of repeated measures was used for the statistical analysis. The relation benefit - cost was obtained through the technique of partial budget. The average daily gain differed ($P \leq 0.05$) between the experimental group (484g) and the control (346g). Net incomes generated for the experimental treatment were 80462 pesos and for the control were 58154 pesos. The increase in net income was 22308 pesos, with a marginal return rate of 1,73 and an economic benefit of the experimental group on the control group of 9346 pesos per animal. In conclusion the supplement reduced the negative

effect of the dry season on body weight gain and represents also an economically viable alternative.

Key words: Cottonseed, molasses, supplement, weight gain.

INTRODUCCIÓN

En la Región Caribe colombiana, se presenta un déficit de alimento para el ganado durante la época seca, debido a que la oferta de pastos o de forrajes es baja, tanto en calidad como en cantidad. Esto impide a los animales cubrir sus requerimientos nutricionales de mantenimiento trayendo, como consecuencia, pérdidas de peso, bajas en la reproducción y en la producción de leche, hasta en un 50% y la muerte en algunos casos, generando grandes pérdidas económicas a los productores (Reza *et al.* 2003; Tatis, 2005).

Esta situación preocupa y motiva a buscar alternativas, suministrando complementos alimenticios, como subproductos agrícolas o alimentos balanceados, para disminuir los estragos que pueda dejar en la producción.

A través del tiempo ha existido mucho interés en la búsqueda de soluciones para mejorar la alimentación en la vacada adulta, ya que, comúnmente, solo se le estima el índice productivo representado en la leche que puedan producir, dejando a un lado la cría, a la cual, se le da malos manejos alimenticios. Esto se refleja en una ganancia de peso disminuida y un bajo peso al destete, que oscila entre 90 a 130kg de peso vivo, a los nueve meses de edad (Reza *et al.* 2003). Estos resultados, se pueden cambiar implementando alternativas de alimentación, como es la suplementación a los terneros, con la finalidad de incrementar su desarrollo en las producciones de doble propósito, predominantes en la región (Viloria, 2004).

Las investigaciones sobre suplementación han demostrado que en el período de desarrollo y de recimiento de los animales es necesario suministrar una alimentación adecuada para lograr el perfeccionamiento completo de sus sistemas orgánicos y una producción óptima cuando sean adultos.

La semilla de algodón y la melaza son subproductos agroindustriales con alta disponibilidad en la Costa Norte colombiana. La semilla de algodón representa una importante fuente de alimento para el ganado, por su alto contenido proteico (alrededor del 24%), de fibra (cerca del 21% de fibra cruda, con un 20% de fibra detergente ácida y un 40% de fibra detergente neutra) y de concentración energética en forma de grasa (alrededor del 16% de extracto etéreo), además de proporcionar minerales, como fósforo, magnesio y calcio (Brasi & Drouillard 2002; Corpoica, 2005). Por otra parte, la melaza es el principal subproducto de la

industria de la caña de azúcar y contiene entre el 25 y el 40% de sacarosa y entre el 12 a 25% de azúcares reductores, para un 50 a 60% de azúcares totales. Su contenido en proteína es bajo y variable, aproximadamente, del 3% (Agudelo, 2001; Church *et al.* 2002).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento productivo y la viabilidad económica de la suplementación de terneras lactantes con una mezcla de semilla de algodón más melaza, durante la época seca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación, se desarrolló en la finca Picacho en la vereda Sevilla, del municipio de Montería, departamento de Córdoba, Colombia. Este municipio, se encuentra ubicado a 8°45´ de latitud Norte y 75° 53´ de longitud Oeste; posee una temperatura promedio anual de 28°C, humedad relativa del 85%, precipitación promedio anual de 1600mm, que se presenta, principalmente, de mayo a noviembre y una altura sobre el nivel del mar de 18m.

En la finca, el manejo tradicional a los animales consistió en iniciar el ordeño a las 3:30 a.m. y terminarlo a las 7:00 a.m., tiempo en el que el ternero permaneció con su madre, después de ser ordeñada, para consumir la leche residual. Al finalizar el ordeño, los terneros y las vacas eran llevados a pastorear en potreros separados, exceptuando los neonatos, que acompañaban a sus madres; alrededor de las 2:00 p.m., todos los terneros eran encerrados en los corrales por el resto del día. Las pasturas de los potreros eran alrededor de un 70% de pasto Angleton (*Dychanthium aristatum*) y un 30% de pasto Braquipara (*Brachiaria arrecta*). Al iniciar el periodo experimental, el pasto Angleton tenía un 28% de materia seca, 7% de proteína bruta, 65% de FDN y 50 % de FDA y el Braquipara, un 22% de materia seca, 6,5 % de proteína bruta, 61% de FDN y 46% de FDA.

Para el estudio, se utilizaron 26 terneras mestizas, de diferentes proporciones de Cebú, Holstein, Pardo Suizo y Simental, en un sistema de doble propósito, con edades entre 4 a 5 meses y pesos promedios de 75,5 ± 2,1 kg, a las cuales, se les daba un manejo tradicional.

Diseño experimental: Para este estudio, se utilizó un diseño completamente aleatorizado, en el que los animales se dividieron al azar en dos grupos: uno testigo (GT; 13 animales), que permanecía en pastoreo, sin recibir suplementación y otro experimental (GE; 13 animales) que, después del pastoreo tomaban 500g de una mezcla de 300g de semilla de algodón y 200g de melaza. La semilla de algodón, se suministró entera y no fue sometida a ningún

tratamiento adicional. Tanto la melaza como la semilla de algodón, tuvieron alta disponibilidad en los mercados locales, consiguiéndose éstas en bodegas agrícolas y almacenes agropecuarios locales, a pesar de la gran demanda que tenían durante el periodo seco.

Al inicio, los animales tuvieron un período de adaptación de 14 días, a partir del cual, se realizaron los pesajes cada 14 días, utilizando una báscula ganadera mecánica de un kg de precisión, hasta finalizar el periodo experimental (84 días). El periodo experimental estuvo comprendido entre inicios de febrero e inicios de mayo.

Análisis estadístico: Para evaluar si existía diferencia estadística ($P \leq 0,05$) para la ganancia diaria de peso entre los tratamientos durante el periodo experimental, se aplicó la prueba t de Student. Además, se efectuó un análisis de varianza de medidas repetidas en el tiempo, usando el programa estadístico SAS (2007).

Análisis económico: Para el análisis económico, se usó la técnica del presupuesto parcial propuesta por Murcia (1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los animales, se adaptaron fácilmente al consumo del suplemento, ya que al tercer día de iniciado el periodo de adaptación el grupo experimental ingería la totalidad de la mezcla suministrada.

La ganancia diaria de peso fue de 484g para el tratamiento experimental y 346g para el tratamiento testigo, logrando el primero, 138g/día de ganancia adicional de peso sobre el grupo testigo ($P \leq 0,05$). Esta respuesta, se atribuye a que la suplementación fibroso-proteica y energética, además de contribuir a cubrir sus requerimientos, indujo un mayor desarrollo ruminal y un mejor establecimiento de su microflora, acciones que facilitaron una digestión superior de los alimentos fibrosos (Anderson *et al.* 1987; Garzón 2007). En igual sentido, es de esperar que haya existido una síntesis más activa de vitamina B y de proteína, a partir de compuestos nitrogenados (Canelones & Castejon, 2006), aspecto importante a tener en cuenta en sistemas de producción ganadera con posibilidades de utilizar los alimentos disponibles en la región.

Ganancias diarias de peso en terneros suplementados inferiores a la de este estudio han sido halladas por diferentes autores. Sandoval *et al.* (1993), en Venezuela, encontraron una ganancia diaria de peso de 391g en terneros doble propósito en pastoreo, suplementados con 500 g/animal/día de alimento balanceado comercial (18% de proteína cruda y 10% de fibra); Alfani *et al.* (1996), en terneros mestizos lecheros destetados a las diez semanas

en pastoreo y suplementados con alimento balanceado comercial (18% de proteína cruda) y heno a voluntad, en Maracaibo-Venezuela (411g) y Sidibé-Anago *et al.* (2008), en terneros doble propósito Cebú, alimentados con heno, con torta de algodón y con melaza a voluntad, en Burkina Faso, África (149g). Igual situación fue reportada en terneros doble propósito Mpwapwa (416g), suplementados con alimento balanceado comercial a voluntad, en Tanzania (Mejía *et al.* 1998) y en terneros criollos Limoneros (378g) en pastoreo y suplementados con 300 g/animal/día de un alimento balanceado de 18% de proteína cruda más 2L de leche, en el estado del Zulia-Venezuela (Bravo & Bracho, 2000).

Ganancias diarias de peso superiores han sido reportadas en terneros doble propósito, suplementados con 500g/animal/día, de un alimento balanceado comercial, 559g, ó 400 g/animal/día de semilla de algodón, 583g (Martínez *et al.* 2001; Reza *et al.* 2003). Así mismo, en Sahiwal-Pakistan reportaron ganancias de 730g en terneros Sahiwal x Holstein, suplementados con torta de algodón a voluntad (Jabbar *et al.* 2006).

Un valor similar para la ganancia de peso diaria de animales suplementados fue hallado en un estudio en el Estado de Portuguesa-Venezuela, en animales mestizos doble propósito, utilizando, como suplemento, harina de maíz a voluntad (480g) (Canelones & Castejon, 2006) y por González-Stagnaro *et al.* (2006), en terneras de sistemas de producción doble propósito, suplementas con alimento balanceado comercial (462g), en el Estado de Zulia-Venezuela.

Morón-Fuenmayor *et al.* (1997) y Das *et al.* (1999) reportaron una ganancia de peso diaria similar a la de los animales sin suplementación de este estudio, en terneros mestizos Holstein no suplementados (349g), en Zulia-Venezuela y en terneros doble propósito sin suplemento, con amamantamiento restringido (335g), bajo condiciones del trópico semiárido de Tanzania; sin embargo, Roldán *et al.* (2000) hallaron una ganancia superior (637g) en terneros Normando, sin suplementación en Tuluá, Colombia.

Los animales suplementados con alimentos balanceados comerciales, se esperaría presenten mayores ganancias de peso, porque las materias primas tienen mejores digestibilidades que los subproductos agroindustriales, pero las ganancias de peso diaria, dependen del sistema de alimentación utilizado y de la calidad de los suplementos empleados. Igualmente, la ganancia de peso en terneros va a depender del dimorfismo sexual (Cañas *et al.* 2008).

Al realizar el análisis de varianza de medidas repetidas en el tiempo para el peso de los animales, se registró que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P \leq 0,0001$). En la interacción tratamiento por tiempo también se encontraron diferencias altamente significativas

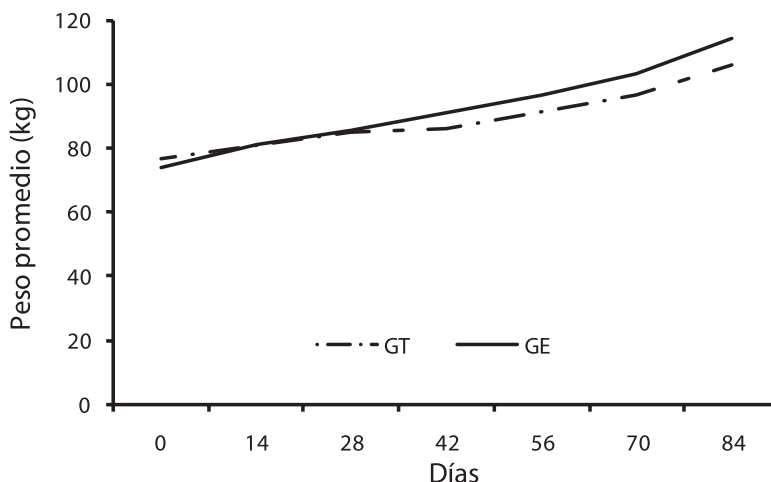


Figura 1. Promedio de los pesos de las terneras para los dos tratamientos en los diferentes pesajes del período experimental

Tabla 1. Promedios de los pesajes (kg) para el grupo testigo y experimental durante el periodo experimental.

Día de pesaje	0	14	28	42	56	70	84
Testigo	76,9 ^a	81,5 ^a	85,1 ^a	86,5 ^a	91,9 ^a	96,5 ^a	106,0 ^a
Experimental	74,0 ^a	81,2 ^a	85,6 ^a	91,1 ^b	97,0 ^b	103,2 ^b	114,2 ^b

Medias en una misma columna con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$).

($P \leq 0,0001$), como se puede notar en la tabla 1; sin embargo, el GE y el GT fueron estadísticamente iguales ($P > 0,05$), en los tres primeros pesajes, 0, 14 y 28 días y difirieron ($P \leq 0,05$), en los cuatro últimos pesajes, 42, 56, 70 y 84 días (Figura 1). Estos resultados se atribuyen, a que estos pesajes coincidieron con la época más crítica del período seco, donde existía una menor disponibilidad y calidad de las pasturas, por lo que el efecto positivo de la suplementación, en el grupo experimental, fue más evidente. Además, cabe resaltar que a partir del cuarto pesaje (42 días), el peso promedio del GT fue igual ($P > 0,05$) al peso promedio anterior (28 días) del GE, lo que confirma la superioridad de los animales suplementados respecto a los no suplementados.

En la tabla 2, se observa el resultado del análisis económico, donde se demuestra que la suplementación resulta rentable durante la época seca. La tasa de retorno marginal fue de 1,73, es decir, que por cada peso colombiano invertido en la suplementación, se recupera en la inversión 73 centavos colombianos, con un beneficio económico de 9.346 pesos colombianos por animal; no obstante, es necesario tener en cuenta que el beneficio económico obtenido al emplear la suplementación con semilla de algodón y con melaza, se puede ver afectado por la tendencia actual que tiene la melaza a

incrementar su precio, debido a su utilización para la producción de biocombustibles y a las fluctuaciones en los precios de las exportaciones de carne vacuna. Hasta el presente, lo único estable en cuanto a precios, es la semilla de algodón, por ser un subproducto de las agroindustrias de la región.

Sandoval *et al.* (1993) y Reza *et al.* (2003) hallaron una mejor tasa de retorno marginal, a la alcanzada en este estudio, en terneros suplementados con alimento balanceado comercial (2,26) y con semilla de algodón (2,35), en sistemas doble propósito. Por su parte, Martínez *et al.* (2001) encontraron una relación beneficio-costos menor 0,59, en terneros suplementados con alimento balanceado comercial.

De estos resultados, se puede inferir que el impacto económico de la suplementación, depende del tipo de suplemento suministrado, con ventajas para los productos regionales o subproductos agroindustriales, por ser los de mayor beneficio económico para los productores, sin desconocer, que es necesario tener en cuenta el efecto de aceptabilidad que se puedan presentar por parte de los animales, donde factores, como el tipo racial utilizado y el manejo dado a los terneros, pueden también incidir (Claypool *et al.* 1985; Sandoval *et al.* 1993; Martínez *et al.* 2001). Existen autores que afirman que el suministro de alimento balanceado comercial en cantidad

Tabla 2. Análisis económico mediante la técnica del presupuesto parcial por animal.

Ítems	Testigo	Experimental
Costo Variable Adicionales (\$)	58154	12962
Ingreso Neto (\$)		80462
Incremento en el ingreso neto (\$)		22308
Tasa de Retorno Marginal		1,73
Beneficio Económico (\$)		9346

Se consideró que el costo de 1kg de peso vivo de ternera destete era de \$2.000 y de \$330 el costo de 0,5kg del suplemento.

y en calidad adecuada permite eliminar la alimentación láctea en becerros y disminuir los costos de la crianza de estos animales (Bravo & Bracho, 2000).

Otro de los beneficios de la suplementación es que se disminuye la probabilidad de estrés al destete y permite reducir la presencia de enfermedades en el predestete (Kunkle *et al.* 2007).

De esta investigación, se concluye que la alimentación con suplementos proteicos y energéticos de buena calidad y en cantidades económicamente viables permite favorecer el crecimiento de las terneras y, por lo tanto, lograr una menor edad al primer parto, mejorando la eficiencia del sistema de producción ganadero.

Agradecimientos: Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al propietario de la Finca Picacho, en la ciudad de Montería, Colombia, por su valiosa colaboración para el desarrollo de esta investigación. **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 pongan en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este proyecto fue financiado por los autores y el propietario de la Finca Picacho, señor Edgardo Espitia.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, G. 2001. Fundamentos de Nutrición Animal Aplicada. Editorial UDEA (Medellín, Colombia). 360p.
- ALFANI, A.; VENTURA, M.; ESPARZA, D.; DEAN, D.; VILLAR, A. 1996. Evaluación de diferentes sistemas de alimentación en becerros mestizos lecheros. Revista Facultad de Agronomía. LUZ. 13:115-134.
- ANDERSON, K.L.; NAGARAJA, T.G.; MORILL, J.L.; AVERY, T.B.; GALITSER, S.J.; BOYER, S.E. 1987. Ruminal microbial development in conventional or early weaned calves. Journal of Animal Science. 64:1215-1226.
- BRASI, D.; DROUILLARD, J. 2002. Compositions and feeding value of cottonseed feed products for beef cattle. Kansas State University. 21p. Disponible desde Internet en: <http://www.cottonseed.com/publications/Cottonseed%20Feed%20Products%20for%20Beef%20Cattle%20-%20KSU.pdf> (con acceso el 27/09/10).
- BRAVO, J.; BRACHO, I. 2000. Respuesta de becerros criollo limonero sometidos a diferentes niveles de suplementación. Revista Facultad de Agronomía. LUZ. 17:282-287.
- CANELONES, C.; CASTEJON, M. 2006. Harinas de planta entera de frijol (*Vigna unguiculata*) y de mazorca de maíz (*Zea mays*) como suplemento para becerros antes del destete. Zootecnia Tropical. 24:361-378.
- CAÑAS, J.; RAMÍREZ, J.; ARBOLEDA, O.; OCHOA, J.; VERGARA, O.; CERÓN-MUÑOZ, M. 2008. Estimación de parámetros genéticos para peso al destete en ganado Blanco Orejinegro (BON) en el noroccidente colombiano. Revista MVZ Córdoba. 13:1138-1145.
- CHURCH, D.G.; POND, W.G.; POND, K.R. 2002. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Limusa (México DF). 348p.
- CLAYPOOL, D.W.; HOFFMAN, C.H.; OLDFIELD, J.E.; ADAMS, H.P. 1985. Canola Meal, Cottonseed, and Soybean Meals as Protein Supplements for Calves. J. Dairy Science. 68:67-70.

10. CORPOICA. 2005. El Algodonero. Manejo integrado del cultivo en Colombia. 217p. Disponible desde Internet en: <http://www.corpoica.gov.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/1GENERAL.pdf> (con acceso el 27/09/10).
11. DAS, S.M.; WIKTORSSON, H.; FORSBERG, M. 1999. Effects of calf management and level of feed supplementation on milk yield and calf growth of Zebu and crossbreed cattle in the semi-arid tropics. *Livestock Production Science*. 59:67-75.
12. GARZÓN, B. 2007. Sustitutos lecheros en la alimentación de terneros. *Revista electrónica de Veterinaria*. VIII: 1695-7504. Disponible desde Internet en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/cria_artificial/84-sustitutos_leche.pdf (con acceso el 27/10/10).
13. GONZÁLEZ-STAGNARO, C.; RODRÍGUEZ-URBINA, M.; GOICOCHEA-LLAQUE, J.; MADRID-BURY, N.; GONZÁLEZ-VILLALOBOS, D. 2006. Crecimiento pre-destete en hembras bovinas doble propósito. *Revista Científica. LUZ*. 16:288-296.
14. JABBAR, M.A.; ANJUM, M.I.; REHMAN, S.; SHAHZAD, W. 2006. Comparative efficiency of sunflower meal and cottonseed cakes in the feed of crossbred calves for meat production. *Pakistan Vet. J*. 26:126-128.
15. KUNKLE, B.; HOGUE, P.; JENNINGS, E.; SUMNER, S. 2007. Protein supplement may improve gains of nursing calves. SS-ANS-11. University of Florida. Disponible desde Internet en: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AN/AN11400.pdf> (con acceso el 16/07/10).
16. MARTÍNEZ, M.; BRAVO, J.; BETANCOURT, M.; MORÁN, V. 2001. Efecto de la suplementación sobre el crecimiento de becerros mestizos en la época seca. *Zootecnia Tropical*. 19:31-42.
17. MEJÍA, C.; PRESTON, T.R.; FAJERSSON, P. 1998. Effects of restricted suckling versus artificial rearing on milk production, calf performance and reproductive efficiency of dual purpose Mpwapwa cattle in a semi-arid climate. *Livestock Research for Rural Development* 10(1). Disponible desde Internet en: <http://www.lrrd.org/lrrd10/1/meji101.htm> (con acceso el 29/06/10).
18. MORÓN-FUENMAYOR, O.; HUERTA-LEIDENZ, N.; ARAÚJO-FEBRES, O.; MILLI, S.; ORMO, R. 1997. Efecto de la dieta sobre el desempeño biológico y económico de terneros. *Revista Científica. LUZ*. 7:41-46.
19. MURCIA, H. 1985. Administración de empresas asociativas de producción agropecuaria. IICA. (Costa Rica). 242p.
20. REZA, S.; CUADRADO, H.; MARTÍNEZ, J.; ALVARADO, L.; ABUABARA, Y.; TORREGROSA, L. 2003. Análisis Técnico – Económico de un manejo de alimentación para bovinos lactantes en el sistema doble propósito en el Valle del Sinú. *Carta Fedegan* 78:82-90. Disponible desde Internet en http://portal.fedegan.org.co/pls/portal/docs/PAGE/FNG_PORTLETS/PUBLICACIONES/CARTAAFEDEGAN/EDICIONESANTERIORES/EDION78/FONDO%20NACIONAL%2078.PDF (con acceso el 12/06/10).
21. ROLDÁN, A.; PERDOMO, P.; SÁNCHEZ, H.; RAMÍREZ, M. 2000. Tecnificación del sistema de producción ganadera de doble propósito en el trópico alto andino Colombiano: amamantamiento restringido. *Livestock Research for Rural Development* 12(2). Disponible desde Internet en: <http://www.lrrd.org/lrrd12/2/rol122.htm> (con acceso el 12/06/10)
22. SANDOVAL, E.; VALLE, A.; FLORES, R.; MEDINA, R. 1993. Crecimiento ponderal en becerros de doble propósito sometidos a un sistema integral de crianza. *Zootecnia Tropical*. 11:13-26.
23. SAS. 2007. SAS OnlineDoc 9.1.3. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.
24. SIDIBÉ-ANAGO, A.; OUEDRAOGO, G.; LEDIN, I. 2008. Effect of suckling period on calf growth and milk yield of Zebu cows. *Tropical Animal Health and Production*. 40:491-499.
25. TATIS, R. 2005. Amigos: Llegó la sequía y Usted qué hizo? En: Tatis, R.; Botero, L. (eds.). Génesis y consolidación del sistema vacuno en doble propósito. *Produmedios* (Bogotá). p.114-115.
26. VILORIA, J. 2004. La economía ganadera en el departamento de Córdoba. Documentos de trabajo sobre economía regional. Disponible desde Internet en <http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/pdf/DTSER-43.pdf> (con acceso el 12/06/10).

Recibido: Julio 17 de 2010

Aceptado: Abril 8 de 2011

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA EN COLOMBIA, 2000-2009

BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS OF PUBLISHED ARTICLES IN VETERINARY MEDICINE AND ZOOTECNIA IN COLOMBIA, 2000-2009

Marco González¹, Rodrigo Ríos², Salim Mattar³

¹ MVZ., M.Sc. Universidad de Córdoba, Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. marcog@escarsa.net.co ² Bacteriólogo. Universidad de Córdoba, Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. rodrigor333@yahoo.es ³ Ph.D. Universidad de Córdoba, Instituto de Investigaciones Biológicas del Trópico, Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Sede Berástegui, Km 26 Vía Ciénaga de Oro. Correo: mattar-salim@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 63 - 69, 2011

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar la producción bibliográfica en el área de la Medicina Veterinaria y Zootecnia en Colombia, durante el periodo 2000-2009. Se realizó una búsqueda bibliográfica en las revistas de categoría A1, A2, B y C de Publindex de Colciencias, seleccionando las siguientes: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Revista MVZ Córdoba, Revista online *Livestock Research for Rural Development*, Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, Revista Medicina Veterinaria Universidad de La Salle, Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Revista Medicina y Veterinaria CES y Revista Orinoquia. Se encontraron un total de 2.644 artículos publicados. En Colombia, la Zootecnia participa con un tercio de los trabajos publicados y la especie bovina es la más estudiada, seguida por acuicultura; dentro de las mascotas, la canina ocupó el primer lugar. Otra área destacada fue la zoonosis. En fauna silvestre, se halló un bajo porcentaje de manuscritos. Las Universidades con mayor número de artículos publicados fueron: Universidad de Antioquia, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Universidad de Córdoba y Universidad de los Llanos. Éste es el primer trabajo que analiza los artículos publicados en el área de la Medicina Veterinaria y Zootecnia en Colombia. El 75% de los manuscritos de esta área fueron realizados por entidades públicas.

Palabras clave: Bibliométrico, medicina veterinaria, publicaciones, Colombia.

SUMMARY

The aim of this study was to analyze the bibliographic production in the area of veterinary medicine and animal husbandry in Colombia during the period 2000-2009. A literature search was conducted in the journals categories A1, A2, B and C from Colciencias Publindex classification, the journals were: Colombian Journal of Animal Science, Journal MVZ Cordoba, Livestock Research Online Journal for Rural Development, Corpoica Journal-Agricultural Science and Technology, Journal U.D.C.A. Current & Scientific Disclosure, Journal of Veterinary Medicine University of La Salle, Journal of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Husbandry National University of Bogotá, Journal of Medicine and Veterinary CES, Orinoquia Journal. We found a total of 2,644 articles published. Animal husbandry in Colombia holds a third of the published literature, the bovine specie is the most studied, followed by aquaculture. In pets, canine species occupied the first place. Another area highlighted was the zoonosis. Wildlife was found in a small percentage of manuscripts. Universities with more articles published were: University of Antioquia, University of Applied Sciences UDCA, National University of Colombia, Bogotá, University of Cordoba and University of Los Llanos. This is the first study that analyzes the articles published in the area of veterinary medicine and animal husbandry in Colombia.

75% of the manuscripts of the veterinary medicine subject were carried out by public entities.

Key words: Bibliometric, veterinary medicine, publications, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental para las ciencias y los investigadores comunicar los resultados de sus investigaciones y las publicaciones científicas son el principal medio para su divulgación (Vessuri, 1995; Devís *et al.* 2003; Martín *et al.* 2000). Las revistas científicas constituyen, tradicionalmente, el fundamental medio de comunicación y de conservación de los avances de la ciencia, considerada en un sentido amplio: tanto las ciencias puras y naturales como las sociales y humanidades, a través de la organización y la publicación de artículos científicos, que comunican el resultado de las investigaciones (Patalano, 2005).

La aplicación del conocimiento es fundamental para el desarrollo económico, político, social y cultural de una Nación, por lo tanto, la producción y la distribución de publicaciones científicas constituye un imperativo de soberanía nacional (Cetto & Kai-Inge, 1995). Las revistas y sus artículos no sólo permiten exponer y dar a conocer la ciencia, sino que también evalúan de, cierta forma, la investigación, la comunidad científica y sus intereses. La cantidad y la calidad científica de las revistas nacionales refleja la madurez y la efectividad del sistema nacional de investigación y desarrollo, entre otras funciones. Son un elemento clave para la divulgación del nuevo conocimiento y, en alguna medida, reciben el reconocimiento internacional, incrementando la visibilidad de las actividades científicas de los investigadores de un país (Martín *et al.* 2000).

Los indicadores bibliométricos constituyen un método objetivo y eficaz para el análisis cuantitativo de los documentos de la actividad investigativa de las comunidades científicas de un determinado país, región o sector institucional, distinguiendo áreas y disciplinas del conocimiento (Fernández *et al.* 2002). Es así, como se puede evaluar, por ejemplo, el crecimiento de un campo de la ciencia, según el número de trabajos publicados en función del tiempo, o la productividad de los autores por laboratorio o centro de trabajo o para conocer la situación actual de un país, una temática o una serie de revistas en concreto (Sancho, 1991), lo que a su vez ofrece la oportunidad de realizar comparaciones entre regiones o países (Fernández *et al.* 2002; Carreño *et al.* 2009).

La literatura científica publicada en revistas del mismo tenor contiene, como apoyo sustancial de los manuscritos, las referencias bibliográficas que informan al lector sobre el

estado del arte de un tema en particular. Por lo tanto, las referencias o citas bibliográficas, se constituyen en una valiosa fuente de información, que permite una actualización sobre su utilización por parte de los investigadores (López & Terrada, 1992; González *et al.* 2008). La comunidad científica, en general, está de acuerdo en que la revisión de literatura es una acción ineludible para restablecer los conocimientos de determinada área de la ciencias o disciplina y, por tanto, hay que agotar este paso antes de iniciar algún estudio en particular (Polit & Hungler, 1991).

De acuerdo con Pérez *et al.* (2004), los estudios bibliométricos se pueden llevar a cabo, tanto del análisis de la producción bibliográfica general de una ciencia como de elementos de observación particulares, como lo son los libros, las revistas, las tesis, los artículos de revistas, los términos científicos, los autores, las disciplinas y las universidades, entre otros. En consecuencia, existe la bibliometría descriptiva, que se relaciona, fundamentalmente, con aspectos cuantitativos y la bibliometría evaluativa, que incluye la valoración de la actividad científica, mediante el análisis del contenido, que constituye un aporte relevante para crear los denominados "colegios invisibles", círculos o redes que contribuyen a potenciar un área de conocimiento.

En Colombia, el Sistema Nacional de Indexación de Publicaciones especializadas de Ciencia, Tecnología e Innovación, a través del Índice Bibliográfico Nacional Publindex, IBN Publindex, clasifica las revistas científicas, que cumplen con ciertos niveles de calidad, en cuatro categorías: A1, la más alta, A2, B y C (Colciencias, 2010).

La Medicina Veterinaria (Ley 44, 1920) y la Zootecnia son disciplinas con larga tradición en Colombia (Decreto 1122, 1988); sin embargo, hace falta realizar un balance sobre los artículos publicados en revistas nacionales indexadas, a fin de poder reflexionar sobre ello y analizar a qué líneas de trabajo se dedican los investigadores de estas enseñanzas en Colombia. Esta falta de información ha motivado realizar una primera aproximación a los artículos publicados en Colombia, en Medicina Veterinaria y en Zootecnia.

El objetivo de este estudio fue analizar bibliográficamente los artículos publicados en el área de la Medicina Veterinaria y Zootecnia en Colombia, durante el periodo 2000-2009, a partir de las revistas indexadas en Publindex-Colciencias (Colciencias, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio, búsqueda y análisis de la información. Se realizó un estudio descriptivo (Quevedo-Blasco *et al.*

2010), considerando, como unidades de análisis, los artículos publicados en las revistas clasificadas en categoría A1, A2, B y C, de acuerdo con Publindex, Colciencias, durante el periodo de 2000 a 2009 (Colciencias, 2010). Para el manejo, la introducción y el análisis de los datos, se utilizó el programa Excel™. El control de calidad de la información, se efectuó mediante una doble entrada de datos.

Las revistas consideradas en este estudio fueron: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Antioquia (ISSN: 0120-0690), Revista MVZ Córdoba de la Universidad de Córdoba (ISSN: 0122-0268), Revista online Livestock Research for Rural Development del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) Cali (ISSN: 0121-3784), Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica– (ISBN: 0122-8706), Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A (ISSN: 0123–4226), Revista Medicina Veterinaria Universidad de La Salle (ISSN: 0122-9354), Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional-Bogotá (ISSN: 0120-2952), Revista Medicina y Veterinaria CES de la Universidad CES (ISSN: 1900–9607) y Revista Orinoquia de la Universidad de los Llanos (ISSN: 0121–3709).

Para la búsqueda de la información de cada revista, se utilizaron, como fuentes los sitios Web y para los volúmenes que no se hallaron en éstos, se consultaron las revistas impresas, disponibles en la biblioteca de la Universidad de

Córdoba. Para el análisis, se incluyeron: artículos originales, ensayos clínicos, reporte de casos y revisiones de literatura, publicados desde enero de 2000 hasta diciembre de 2009. Los registros procedentes de los sitios Web de cada revista, se descargaron y se integraron a una base de datos y mediante una hoja de cálculo de Ms Excel®, se elaboraron tablas y figuras. Se analizó la información contenida en los títulos de los artículos publicados y se discriminaron por tipo de publicación, etiología, origen geográfico e institución, de acuerdo con metodologías similares, aplicadas por Alvis & De La Hoz (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los indicadores bibliométricos de producción son índices cuantitativos útiles para medir, entre otros, los niveles de producción científica de un país, de una institución, de un autor o de una revista y, en ellos, influyen varios factores. Estas medidas sirven para comparar las producciones científicas entre grupos similares, pero no para evaluar la calidad de la producción de un país, de una institución o de una publicación (Fernández *et al.* 2003). En el presente trabajo solo se realizó una descripción bibliográfica relacionada con la bibliometría descriptiva (Pérez *et al.* 2004), sin ahondar en la calidad de los artículos ni la aplicación de análisis bibliométrico.

Entre el periodo 2000-2009, se analizaron los sitios Web de cada revista y se contabilizaron un total de 2.644 artículos publicados, de los cuales, 1.389 (52,5%) fueron nacionales

Tabla 1. Clasificación y número de artículos publicados de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Colombia, 2000-2009.

Categoría	Revistas	Total artículos	Nacionales n (%)	Internacionales n (%)	Tipo de Artículos			
					Originales	Revisiones	Ensayos	Casos clínicos
A1	RCCP	320	289	31	220	10	48	42
	Rev. MVZ	211	191	20	162	27	9	13
A2	U.D.C.A	221	221	0	164	17	37	3
	Livestock	1.337	159	1.178	1337	0	0	0
B	Corpoica	140	136	4	129	6	5	0
	RMVS	119	114	5	100	1	12	6
	RFMVZ	120	113	7	82	18	13	7
C	CES	81	74	7	39	19	7	16
	ORINOQUIA	95	92	3	73	11	4	7
	TOTAL	2644 (100%)	1389 (52,5%)	1255 (47,5%)	2306 (87,2%)	109 (4,1%)	135 (5,1%)	94 (3,6%)

RCCP: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias; Rev.MVZ: Revista MVZ Córdoba; U.D.C.A: Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Actualización & Divulgación Científica; Livestock: Livestock Research for Rural Development; Corpoica: Revista Corpoica, Ciencia y Tecnología Agropecuaria RMVS: Revista de Medicina Veterinaria de la Universidad de la Salle; RFMVZ: Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia; CES: Revista Ces Medicina Veterinaria y Zootecnia; Orinoquia: Revista Orinoquia.

y 1.255 (47,5%), de origen extranjero. La clasificación de los artículos por tipo (original, revisión de literatura, ensayos y casos clínicos), así como el número de artículos publicados por cada revista, se observa en la tabla 1.

Para el análisis exclusivamente se tuvieron en cuenta los artículos nacionales, cuya distribución por áreas del conocimiento fue la siguiente: 467 (33,6%), artículos publicados en zootecnia; 237 (17,1%), salud animal; 228 (16,4%), enfermedades infecciosas; 150 (10,8%), agricultura; 84 (6%), ensayos veterinarios; 62 (4,5%), biotecnología; 45 (3,2%), entomología; 37 (2,7%), fauna silvestre; 25 (1,8%), fitopatología; 21 (1,5%), salud humana; 10 (0,7%), farmacología y 23 (1,7%), publicaciones en otras áreas no relacionadas con la Medicina Veterinaria (Figura 1).

De acuerdo con los resultados y considerando los manuscritos nacionales, se puede observar que las universidades y, en especial las públicas, son los principales centros de producción científica en el área de la Medicina Veterinaria y Zootecnia. De 735 artículos publicados, 503 (68,4%) correspondieron a universidades públicas (Tabla 2).

Por otra parte, de los 467 artículos publicados en el área de zootecnia, 250 (53,5%) fueron sobre producción bovina, seguida de 86 (18,4%), en producción piscícola; 31 (6,7%), en producción porcícola; 29 (6,2%), en producción avícola;

14 (3%), en producción cunícola y las 57 (12,2%), artículos restantes fueron en otros animales. Con relación a las 237 artículos en salud animal, éstos se distribuyeron así: 81 (34,2%), artículos en caninos; 53 (22,4%), en equinos; 36 (15,2%), en bovinos; 30 (12,6%), en peces; 13 (5,5%), en porcinos y 24 (10,1%), en otras especies.

Los 229 artículos en enfermedades infecciosas fueron: 99 (43,4%), en bacterias; 55 (24,1%), en parásitos; 54 (23,7%), en virus; 5 (2,2%), en hongos y 16 (6,6%), relacionadas con otras enfermedades infecciosas. Las especies animales sobre las cuales se publicó más: bovinos, con 286 (20,6%); peces, con 116 (8,3%); caninos, con 81 (5,8%); equinos, con 53 (3,8%) y porcinos, con 44 (3,2%) artículos.

Es importante destacar los artículos publicados en acuicultura, con 116 (8,3%) artículos, lo cual, probablemente, tenga relación, entre otros factores, con las características hidrográficas de Colombia, consolidándose este sector como segmento importante en la economía del país (Espinal *et al.* 2005).

Como se mencionó anteriormente, los artículos relacionados con producción animal y en especial los de la especie bovina (286 artículos) fueron los de mayor publicación. Esto puede tener alguna explicación, basados en el hecho que el sector ganadero ocupa un renglón muy importante en la economía del país, pues participa con cerca del 3,5% del producto

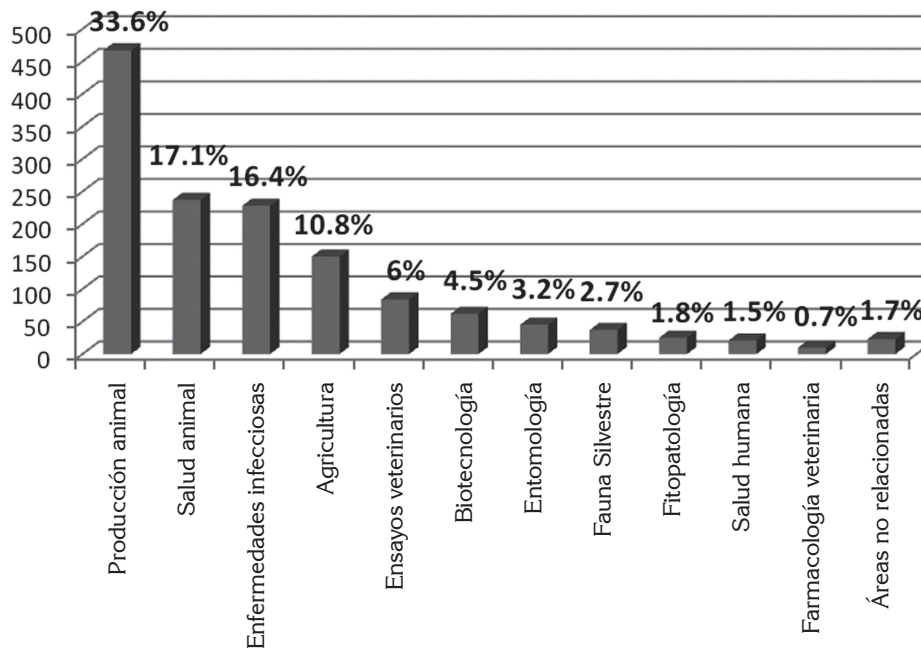


Figura 1. Distribución de los artículos publicados en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Colombia, 2000-2009.

Tabla 2. Instituciones y grupos de investigación con mayor número de artículos publicados nacionales en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Colombia, 2000-2009.

Instituciones	Artículos publicados	Grupos de investigación*
Universidad de Antioquia	178 (12,8%)	10
Universidad U.D.C.A	122 (8,8)	4
Universidad Nacional - Bogotá	117 (8,4%)	16
Universidad de Córdoba	89 (6,4%)	8
Universidad de los Llanos	79 (5,7%)	3
CORPOICA	47 (3,4%)	4
Universidad Nacional – Medellín	40 (2,9%)	6
Universidad de La Salle	33 (2,4%)	1
Universidad CES	30 (2,1%)	2
TOTALES	735	54

* Basados en el número de grupos, según Colciencias (Colciencias, 2009). Incluye todos los grupos de las Universidades e instituciones.

interno bruto (PIB) nacional; 26%, del PIB agropecuario y 56%, del PIB pecuario (Murgueitio *et al.* 2008); a pesar que esta actividad, ha conllevado a una sobreutilización de tierras en actividades pecuarias, a costa de la subutilización del suelo con vocación agrícola y forestal. El total de la tierra con vocación agrícola es de 21,5 millones de hectáreas, de las cuales, se están explotando solo 3,7 millones, mientras que la tierra con vocación ganadera es de 14,2 millones, pero dicha actividad ocupa 38,7 millones de hectáreas (Pesquera & Rodríguez, 2009).

De otro lado, el estudio de las zoonosis es importante por el riesgo que éstas representan para la salud humana, así como por las pérdidas económicas que ocasionan en la industria animal. Adicionalmente, estas enfermedades infecciosas implican restricciones en el comercio internacional de animales, sus productos y subproductos y, por último, se relacionan con políticas globales del sector e implican acuerdos comerciales y sanitarios, en el orden internacional (Cintra *et al.* 2006; FAO, 2006).

En el campo de la fauna silvestre, se encontraron 37 artículos equivalentes al 2,7%, porcentaje, relativamente bajo, para un país como Colombia, que es uno de los cinco países más ricos del mundo en biodiversidad, con 0,8% de la superficie mundial. Colombia alberga el 15% de todas las especies terrestres conocidas y posee 18 regiones ecológicas, con 65 tipos de ecosistemas (Mittermeier *et al.* 1997).

De otro lado, las instituciones o Universidades con mayor número de artículos publicados fueron: Universidad de Antioquia, con 178 (12,8%); Universidad de Ciencias

Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, 122 (8,8%); Universidad Nacional de Colombia – Bogotá, 117 (8,4%); Universidad de Córdoba 89 (6,4%); Universidad de los Llanos, 79 (5,7%); CORPOICA, 47 (3,4%); Universidad Nacional - Medellín, 40 (2,9); Universidad de La Salle, 33 (2,4%) y Universidad CES, 30 (2,1%). Estos nueve centros de investigación sumaron un total de 735 manuscritos, equivalentes al 52,9% (Tabla 2). Con relación al número de grupos de investigación reconocidos por Colciencias, en el GrupLAC (Colciencias, 2009), las instituciones que cuentan con más grupos de investigación en el área de la Medicina Veterinaria y Zootecnia son la universidad Nacional de Colombia-Bogotá y la universidad de Antioquia (Tabla 2).

En lo que respecta con la distribución geográfica, se apreció que los artículos se originaron, principalmente, en Cundinamarca, 467 (33,6%); Antioquia, 326 (23,5%); Costa Caribe, 121 (8,7%); Llanos Orientales, 86 (6,2%); eje cafetero 22, (1,6%); Boyacá, 21 (1,5%); Valle del Cauca, 16 (1,1%); otras regiones, 32 (2,3%); artículos publicados por particulares, 23 (1,7%); 153 (11%), en convenio con instituciones extranjeras y 122 (8,8%) fueron entre instituciones de diferentes regiones del país.

En lo que tiene que ver con la distribución regional de los artículos publicados, éstos se concentraron en la región andina o centro del país, con 815 (58,7%) artículos, seguidos por la costa Caribe, con 121 (8,7%) y los Llanos Orientales, con 86 (6,2%). Una de las posibles razones que podría explicar el mayor número artículos publicados originarios del centro del país con relación a las demás regiones, sea debido al número de programas de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ya que Colombia reporta 32 programas, de los

cuales, 19 (60%) corresponden a universidades públicas y 13 (40%), a instituciones privadas. De éstas, 16 (50%), se localizan en el centro del país, con el mayor número de grupos de investigación, concentrado en las Universidades de Antioquia y Nacional de Colombia-Bogotá (Gómez, 2009).

Un resultado interesante de este trabajo es que las entidades públicas soportan el 75% (550/735; tabla 2) de la investigación del área de la Medicina Veterinaria en Colombia, lo que sugiere que el Estado debe continuar con el apoyo a la investigación y el desarrollo de las instituciones públicas.

En este estudio no se tuvieron en cuenta los artículos de autores nacionales publicados en revistas de circulación internacional. Además, la búsqueda en una sola fuente, en este caso Publindex, pudo sesgar los resultados, por lo tanto, los grupos de investigación que publican en revistas extranjeras no se ven reflejados en este trabajo. Respecto a los artículos de origen extranjero es pertinente resaltar que, de los 1.255 artículos internacionales, 1.178 (93,9%), se encontraron en la revista online "Livestock Research for Rural Development", que es el órgano de difusión del Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). La otra revista online del sector es la CES de Medicina Veterinaria.

En conclusión, este es el primer trabajo que analiza los artículos publicados en Medicina Veterinaria y Zootecnia en Colombia, siendo la ganadería el área de mayor interés, seguido de la acuicultura. Es claro también que existe un desequilibrio regional en los indicadores bibliométricos en Colombia.

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 el Instituto de investigaciones Biológicas del Trópico", adscrito a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de Córdoba, Montería, Colombia".

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVIS, N.; DE LA HOZ, F. 2006. Producción Científica en Ciencias de la Salud en Colombia, 1993-2003. *Rev. Salud Pública*. 8(1):25-37.
2. CARREÑO, L.; POUTOU PIÑALES, R.; MATTAR, S.; GONZÁLEZ, M. 2009. Indicadores bibliométricos de actividad de la revista MVZ Córdoba. *Rev MVZ Cordoba*. 14(1):1531-1543.
3. CETTO, A.; KAI-INGE, H. 1995. Publicaciones científicas en América Latina, USA: Fondo de Cultura Económica, 305p.
4. CINTRA, M.; PÉREZ GARCÍA, L.; SUÁREZ HERNÁNDEZ, Y.; SOCA PÉREZ, M.; MARTÍNEZ MARTÍNEZ, A. 2006. La zoonosis como Ciencia y su Impacto Social. *REDVET Revista electrónica de veterinaria*. 7(9):1-19.
5. COLCIENCIAS. 2008. Índice Bibliográfico Nacional Publindex - IBN Publindex. II Actualización. Colombia: Sistema Nacional de Indexación y Homologación de Revistas Especializadas de CT+I. URL Disponible desde Internet en: http://201.234.78.173:8084/publindex/docs/indexacion/Revistas_Indexadas_II_Actualizacion_Publindex_2008.pdf.
6. COLCIENCIAS. 2009. Listado de grupos de investigación reconocidos por Colciencias "GrupLAC". Colombia: URL Disponible desde Internet en: http://201.234.78.173:8083/ciencia_war/busqueda-GruposPorInstitucion.do.
7. COLCIENCIAS. 2010. Índice Bibliográfico Nacional Publindex - IBN. I Actualización 2010. Colombia: Sistema Nacional de Indexación y Homologación de Revistas Especializadas de CT+I. URL Disponible desde Internet en: <http://201.234.78.173:8084/publindex/EnlbnPublindex/resultados.do>.
8. Decreto 1122. 1988. Por el cual se reglamenta la Ley 73 de 1985, sobre el ejercicio de las profesiones de "Medicina Veterinaria", "Medicina Veterinaria y Zootecnia" y "Zootecnia". Colombia: Presidencia de la Republica. URL Disponible desde Internet en: http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles_104054_archivo_pdf.pdf.
9. DEVÍS, J.; ANTOLÍN, J.; VILLALÓN, H.; MORENO, D.; VALENCIANO, V. 2003. Las revistas científico-técnicas españolas de las ciencias de la actividad física y el deporte: inventario de la calidad de contenido y difusión. *Rev Esp. Doc. Cient.* 26(2):177-190.
10. ESPINAL, G.C.; MARTÍNEZ COVALEDA, H.J.; GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, F.A. 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia.
11. FAO. 2006. Food safety risk analysis. A guide for national food safety authorities. World Health Organization; Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Food Nutr Pap.* 87:ix-xii, 1-102.

12. FERNÁNDEZ BAENA, M.; GARCÍA PÉREZ, A.M. 2003. Estudio bibliométrico de los artículos publicados en la Revista Española de Anestesiología y Reanimación en el período 1996-2001. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 50:4-12.
13. FERNÁNDEZ, M.; BORDONS, M.; GÓMEZ, I. 2002. Producción en ciencia frente a tecnología de la Comunidad de Madrid. *Cuadernos del CENDES.* 19(51):109-128.
14. GÓMEZ G, L. 2009. El contexto cambiante de la medicina veterinaria y zootecnia en Colombia durante el último medio siglo. *Revista Colombiana.* 1:26-39.
15. GONZÁLEZ, M.; MÁTTAR, S. 2008. Otro reto para la revista MVZ Córdoba: lo importante no es llegar, es mantenerse. *Rev MVZ Córdoba.* 13(3):1433-1434.
16. LEY 44 de 1920. (Octubre 28). Sobre la enseñanza de Veterinaria. Bogotá, Colombia: Congreso de Colombia. URL Disponible desde Internet en: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-102485_archivo_pdf.pdf.
17. LÓPEZ PIÑERO, J.; TERRADA, M.L. 1992. Los indicadores bibliométrico y la evaluación de la actividad médico-científica. Usos y abusos de la bibliometría. *Med Clin (Barc).* 98:64-68.
18. PÉREZ SERRANO, G.; ANTA CABREROS, C.; MIGUEL BADESA, S.; GARCÍA LLAMAS, J.L.; PÉREZ DE GÚZMÁN, M.V.; PÉREZ SERRANO, M. 2004. Análisis bibliométrico en educación. Incidencia en la calidad universitaria. Proyecto subvencionado por la Subdirección General de Estudios y Análisis; España. Referencia: EA2003-0007. URL Disponible desde Internet en: http://univ.micinn.fecyt.es/univ/html/informes/estudios_analisis/resultados_2003/EA2003-0007/EA2003-0007.pdf.
19. MARTÍN, S.M.; REY, R.J.; PLAZA, G.L. 2000. Assessment of Spanish scientific journals on Geology. Evaluación de las revistas científicas españolas de Geología. *Interciencia.* 25(8):372-378.
20. MITTERMEIER, R.A.; ROBLES-GIL, P.; MITTERMEIER, C.G. 1997. Megadiversidad; los países biológicamente más ricos del mundo. México, D.F.: Cementos Mexicanos.
21. MURQUEITIO, E.; CUARTAS, C.; NARANJO, J. 2008. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Cali, Colombia: Fundación CIPAV.
22. PATALANO, M. 2005. Las publicaciones del campo científico: las revistas académicas de América Latina, 2005. En: *Anales de Documentación.* Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia (Spain). p.217-235. (Published) [Journal Article (Print/Paginated)].
23. PESQUERA, A.; RODRÍGUEZ, A. 2009. Impactos del actual TLC entre Estados Unidos y Colombia para los pequeños productores rurales. *Deslinde.* 44:1-17.
24. POLIT, D.F.; HUNGLER, B.P. 1991. Investigación científica en ciencias de la salud. México: Interamericana.
25. QUEVEDO-BLASCO, R.; DÍAZ-PIEDRA, C.; GUGLIELMI, O. 2010. Análisis comparativo de las publicaciones sobre drogodependencias en las revistas de psicología clínica y psiquiatría iberoamericanas indexadas en el Journal Citation Reports. *Salud Ment [online].* 33(2):133-143.
26. SANCHO, R. 1991. Indicadores bibliométricos utilizados en la evaluación de la ciencia y la tecnología. *Rev Esp Doc Cient.* 13(3-4):842-865.
27. VESSURI, H. 1995. Estrategia de valoración de las revistas científicas latinoamericanas México: Publicaciones científicas en América Latina. Fondo de Cultura Económica, p.200-210.

Recibido: Septiembre 19 de 2010

Aceptado: Abril 27 de 2011

LA HETEROGENEIDAD DEL PAISAJE DEL BORDE NORTE DE BOGOTÁ (COLOMBIA) AFECTA LA ACTIVIDAD DE LOS MURCIÉLAGOS INSECTÍVOROS

LANDSCAPE HETEROGENEITY OF BOGOTÁ'S NORTHERN BORDER (COLOMBIA) AFFECTS INSECTIVOROUS BATS' ACTIVITY

Francisco Sánchez¹

¹ Ph.D. en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá D.C., Colombia. frsanchez@udca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 71 - 80, 2011

RESUMEN

El borde norte de la Bogotá, Colombia, es un mosaico de ecosistemas transformados (urbanizaciones, cultivos, pastizales) y ecosistemas naturales (bosques andinos, humedales). En la actualidad, no se conoce cómo dicha heterogeneidad espacial afecta la ecología de las especies silvestres que sobreviven en la ciudad. Se propuso, que la heterogeneidad del paisaje del norte de Bogotá afecta el patrón temporal de actividad de los murciélagos insectívoros y su uso de hábitat. Se esperaba encontrar diferentes patrones de actividad temporal y de uso en sitios con diferentes grados de alteración humana. Se hicieron inspecciones acústicas en sitios con remanentes naturales, sitios con iluminación artificial y cercana a vías para automóviles. Los murciélagos insectívoros se registraron, tanto en áreas con remanentes naturales como intervenidas a lo largo del norte de Bogotá. La actividad de los murciélagos insectívoros cerca a vías importantes aumentó al avanzar la noche, mientras que en sitios sin vías principales fue en las primeras horas de la noche. Esto sugiere, que los murciélagos evitan zonas con alto flujo vehicular y estas vías reducen la disponibilidad de hábitats para los murciélagos insectívoros, al menos, en las primeras horas de la noche. Los sitios con iluminación artificial concentraron mayor actividad de forrajeo que sitios sin ella. La iluminación artificial parece beneficiar a algunos murciélagos, que encuentran allí parches, donde se acumulan sus presas potenciales y, es posible, que dicha iluminación se pueda usar en áreas agrícolas de la ciudad, para el control de poblaciones plaga, con la ayuda de los murciélagos.

Palabras clave: Andes, Chiroptera, ecolocalización, ecología urbana, seguimiento acústico.

SUMMARY

The northern border of Bogotá, Colombia, is a mosaic of transformed ecosystems (urbanizations, crops, pastures) and natural ecosystems (Andean forests, wetlands). Currently it is not known how such landscape heterogeneity affects the ecology of wild species that survive in the city. It was hypothesized that landscape heterogeneity affects insectivorous bats' activity and habitat use. It was expected to find different temporal activity patterns and use of sites with different degrees of human intervention. To test these predictions, acoustic monitoring was used at natural ecosystems, sites with artificial illumination and near highways. Insectivorous bats were found both in natural and transformed ecosystems throughout Bogotá's northern border. Insectivorous bats' activity near highways increased toward midnight, whereas in areas with no major streets activity was higher few hours after sunset. This suggests that bats avoid areas with high vehicular flow and they reduce habitat availability for bats, at least during the first hours of the night. Sites with artificial illumination had higher foraging activity than places without it. Thus, the presence of artificial illumination seems to benefit some bats that encounter patches where potential prey accumulate, and it is possible that such illumination may be used in agricultural areas of the city to control pests with the bats' help.

Key words: Andes, Chiroptera, echolocation, urban ecology, acoustic monitoring.

INTRODUCCIÓN

Bogotá tiene más de siete millones de habitantes, es una de las ciudades más grandes de Latinoamérica y el crecimiento de su población humana ha causado la reducción en el área de sus ecosistemas naturales (Mendoza & Etter, 2002). Por ejemplo, el paisaje del borde norte de Bogotá, se caracteriza por ser un mosaico de ecosistemas transformados y naturales y entre los transformados, se cuentan áreas urbanizadas y áreas dedicadas a la agricultura y/o la ganadería (Ramírez *et al.* 2008). Aunque gran parte de los hábitats naturales han desaparecido de la ciudad, en el borde norte de Bogotá aun se conservan remanentes importantes de ambientes de montaña, como los Cerros Orientales y el Cerro de la Conejera y algunos humedales, como Juan Amarillo, La Conejera y el complejo Torca-Guaymaral; existe un remanente de bosque de planicie fluvial en la Hacienda Las Mercedes (Ramírez *et al.* 2008; Secretaría Distrital de Ambiente, 2007). Dichos ecosistemas son reservorios de recursos naturales y biodiversidad, reconocidos como estratégicos para Bogotá y sus habitantes, en el plan de ordenamiento de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, Decreto 619 de 2000). A pesar de su importancia, es poco lo que se conoce sobre la ecología e historia natural de las especies silvestres que aún sobreviven en los ecosistemas naturales mencionados o en Bogotá, en general, con excepción, tal vez, de las aves (ABO, 2000). Dicha falta de información crea serias dificultades a la hora de proponer planes de manejo o de conservación de las especies silvestres de cualquier área (Pullin, 2002).

Por ejemplo, no se conoce cómo el mosaico de ecosistemas del norte de Bogotá afecta la ecología de los animales silvestres que allí se viven. Un caso particular son los murciélagos, que por sus hábitos nocturnos y por su baja abundancia en comparación con zonas cálidas, pasan desapercibidos para muchos de los habitantes de Bogotá (autor, datos sin publicar); sin embargo, para Bogotá, hay reportadas once especies: cuatro de la familia Vespertilionidae (*Eptesicus fuscus*, *Myotis nigriscans*, *Lasiurus cinereus*, *Histiotus montanus*), tres de la familia Molossidae (*Eumops glaucinus*, *Nyctinomops aurispinosus*, *Tadarida brasiliensis*) y cuatro de la familia Phyllostomidae; *Anoura geoffroyi*, *Carollia perspicillata*, *Sturnira ludovici*, *S. bogotensis* (Pacheco & Patterson, 1992; Tamsitt & Valdivieso, 1963; Tamsitt *et al.* 1964). Las especies de las familias Vespertilionidae y Molossidae son estrictamente insectívoras y todas cazan sus presas al vuelo (insectívoros aéreos), con excepción de *H. montanus*, que las atrapa iniciando el vuelo desde perchas y capturándolas sobre superficies (animalívoro del follaje

(Norberg & Rayner, 1987). Por su parte, las especies de la familia Phyllostomidae, registradas para Bogotá, pueden consumir frutas, néctar y polen y complementan su dieta con insectos (Gardner, 1977).

El estudio de la ecología de los murciélagos puede traer múltiples beneficios para aquellos interesados en el manejo y la conservación de un área. Los murciélagos insectívoros pueden prestar servicios ambientales relacionados con su papel como depredadores de algunas especies, que pueden ser consideradas plagas agrícolas o transmisoras de enfermedades contagiosas (Cleveland *et al.* 2006; Tuttle & Moreno, 2007), mientras que los herbívoros pueden ser dispersores de semillas y/o polinizadores (Fleming, 1993). Adicionalmente, los murciélagos han sido usados como indicadores de la calidad de los hábitats. La composición y la abundancia de los murciélagos se han relacionado con diferentes tipos de disturbio humano, como por ejemplo, la intensificación de la degradación de hábitats naturales (Fenton *et al.* 1992; Medellín *et al.* 2000) o el uso de diferentes tipos de agricultura (Jennings & Pocock, 2009). De igual manera, se ha encontrado que el comportamiento de los murciélagos también puede ser afectado por la actividad antrópica y el desarrollo urbano.

En ambientes fragmentados de México, los murciélagos insectívoros tienen mayores niveles de actividad en los asentamientos humanos, fragmentos de selva y cercas vivas que en zonas con pastizales (Estrada *et al.* 2004). Por otra parte, el efecto del desarrollo urbano en áreas cercanas a remanentes de bosques sobre los murciélagos insectívoros parece depender de la especie (Jung & Kalko, 2010). Así, algunos murciélagos, parecen tolerar las urbanizaciones y aprovechan la presencia de luces artificiales, que atraen insectos, como sitios de forrajeo, aunque la rentabilidad parece ser mejor alrededor de las lámparas de luz blanca, que alrededor de las de luz amarilla-naranja (Jung & Kalko, 2010; Rydell, 2006); sin embargo, los murciélagos también pueden ser perjudicados por las áreas urbanizadas, que vienen asociadas con la construcción de vías y éstas pueden ser agentes de mortalidad para los murciélagos insectívoros que sufren el riesgo de estrellarse con los vehículos (Lodé, 2000; Russell *et al.* 2009). Por lo tanto, el desarrollo urbanístico puede, potencialmente, tener efectos positivos y negativos sobre las poblaciones de murciélagos insectívoros.

Con base en lo anterior, se propone que la heterogeneidad del paisaje del borde norte de Bogotá afecta el patrón temporal de actividad de los murciélagos insectívoros y su uso de hábitat. Esto es porque existen sitios cerca de vías que podrían ser percibidos por los murciélagos, como áreas con alto de riesgo de depredación o muerte (Adams *et al.* 2006; Zurcher *et al.* 2010) y, probablemente, sean más

usados al reducirse el flujo vehicular. Además, los sitios con iluminación artificial pueden beneficiar el forrajeo de los murciélagos insectívoros, por lo que se espera que sean más usados en actividades de alimentación que sitios sin iluminación artificial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo: Para evaluar las predicciones, se muestrearon cinco sitios con diferentes grados de alteración antrópica.

- Campus norte de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A) (2.554 m.s.n.m.). Los muestreos, se realizaron en septiembre-noviembre de 2008, por diez noches, una vez a la semana, cerca a un edificio con lámparas de luz blanca, i.e., de vapor de mercurio. El campus está entre la zona de expansión urbana y rural de Bogotá y cuenta con campos de fútbol y algunas edificaciones. Alrededor del campus, se viene formando, desde hace aproximadamente dos años, una cerca viva, alrededor de 2 m de ancho, con varias especies de plantas nativas. El campus está cerca del Humedal Torca-Guaymaral, ~1-1,5 km.
- Separador de la Autopista Norte, entre calles 220 y 226 (2.560 m.s.n.m.). Los muestreos fueron en febrero de 2010, una o dos veces a la semana hasta completar cinco noches, simultáneamente, en un área con un remanente de humedal y un bosque de árboles plantados (programa Hojas Verdes). El separador está entre vías de tres carriles en sentido sur-norte y tres en sentido norte-sur, con lámparas de luz naranja (i.e., de vapor de sodio), a lo largo de ambos lados de la vía. La zona plantada tiene árboles de 5-12m, mientras que la zona de humedal tiene vegetación hidrofítica típica, e.g., Cyperaceae y Juncaceae (Osbahr & Hernández Schmidt, 2006). En la zona de humedal existe una franja divisoria en sentido norte-sur de *Penisetum clandestinum*, pasto dominante del estrato herbáceo en la zona.
- Base del Cerro de Torca (~Carrera 7° con calle 235 (~2.650 m.s.n.m). Se realizaron tres muestreos, una vez a la semana, en marzo de 2010, simultáneamente, cerca a una lámpara de luz naranja sobre la carrera séptima y cerca al borde de un bosque andino secundario. Junto al bosque andino, se presentan plantaciones de árboles exóticos y áreas de potreros, con algunas casas. La disposición de la Carrera 7ª, una vía con un carril sur-norte y uno norte-sur, genera una discontinuidad marcada entre la vegetación al oriente y occidente de esta vía. A lo largo de la vía hay lámparas de luz naranja.

- Hacienda Las Mercedes-Humedal La Conejera (~2.600 m.s.n.m). Los muestreos fueron en marzo-abril de 2010, una vez a la semana hasta completar cinco noches, en un remanente de bosque bajo, secundario de planicie flaviolacustre y cerca a una casa, con un humedal artificial y una lámpara de luz blanca; ambos sitios están rodeados de pastizales, zonas de cultivo y plantaciones de árboles exóticos. El bosque de planicie flaviolacustre está dominado por árboles de 8-15m; el estrato herbáceo tiene una buena representación de *P. clandestinum*, mientras que el estrato arbustivo tiene sectores abundantes en enredaderas. También se muestreó en el límite de Las Mercedes con el Humedal La Conejera, una vez a la semana, hasta completar cinco noches, simultáneamente, en un borde humedal-pastizal y a la orilla del humedal. En el área de límite entre Las Mercedes y el Humedal concurren jarillones, que evitan la inundación de las tierras de la Hacienda y sobre éstos, árboles plantados y dispersos. En el Humedal se presenta vegetación hidrofítica típica, e.g., Cyperaceae y Juncaceae.
- Floresta de la Sabana-Cerros Orientales (oriente de la Carrera 7ª, límite con el municipio de La Calera (~2.800 m.s.n.m.). Los muestreos fueron en mayo-junio de 2010, una vez a la semana, hasta completar tres noches, simultáneamente, en el borde de un bosque altoandino y cerca a una lámpara de luz naranja sobre una carretera. El bosque altoandino es parte de la Reserva Forestal de los Cerros Orientales (CAR, 2006). En el bosque subsisten árboles de 10-20m, con un dosel discontinuo y con alta acumulación de materia orgánica sobre el suelo. Las epífitas vasculares y no vasculares son abundantes, al igual que los líquenes. Al borde de los caminos, se puede observar retamo espinoso *Ulex europaeus*, en algunos sectores. Dividiendo el bosque, se encuentran vías de dos carriles, de <6m de ancho y con lámparas de luz naranja a su largo.

Estudio de los murciélagos: Se hicieron puntos de observación de 10 minutos (Avila-Flores & Fenton, 2005), en los que se usó un detector de murciélagos Batbox duet (Batbox Ltd., West Sussex, England), para registrar las llamadas ultrasónicas. En la U.D.C.A, se hicieron estaciones de cinco minutos. Los puntos de observación fueron cada hora, desde las 18h30min hasta las 24h30min, con excepción de la U.D.C.A, donde iniciaron a las 19h30min. En horas con alta precipitación, se detuvo el muestreo.

Los murciélagos insectívoros recurren a llamadas de alta frecuencia para ubicarse en el espacio y para localizar y capturar a sus presas (Fenton, 1974). La ecolocalización en los murciélagos insectívoros, se puede dividir en tres fases (Altringham, 2001): la primera es la de búsqueda, en la que el murciélago rastrea a presas o se desplaza; en esta fase, la tasa de emisión de llamadas (pulsos) y las frecuencias

empleadas, generalmente, varían poco; la segunda es la fase de enfoque, que inicia después de detectar una presa; la tasa de repetición de los pulsos aumenta y la duración de cada pulso e interpulso, decrece en esta fase y, en la terminal, las variables mencionadas llegan a valores extremos, antes de tratar de capturar la presa.

Con el detector de murciélagos, se pueden distinguir fases de búsqueda de las terminales por el cambio en la tasa de emisión de pulsos; así, se reconocen comportamientos asociados al desplazamiento o búsqueda de alimento (fases de búsqueda) y comportamientos asociados a intentos de captura o de forrajeo (fases terminales). Por ello, en cada estación de observación, se registró el número de fases de búsqueda y de fases terminales. Durante cada estación, se varió la frecuencia reconocida por el detector, 17-120kHz, mientras el micrófono de detector, se apuntaba hacia el cielo y perpendicular al suelo.

Análisis estadísticos: Para analizar los patrones temporales de actividad, se aplicaron análisis de varianza independientes por sitio. En cada análisis, la variable dependiente era el número de fases de búsqueda o de fases terminales, por cinco o diez minutos. Cuando los supuestos de normalidad y/o homogeneidad de varianza no se cumplieron, se elaboraron transformaciones logarítmicas de las variables dependientes (Zar, 1999). Se incluyó la hora, como factor fijo y el punto de observación, como aleatorio, dado que se tomaban varias medidas en cada punto, mientras que la noche de muestreo entró como una variable bloque. Se incluyó la iluminación de la luna por noche (Time and Date AS, en línea), como co-variable, pero en ninguno de los análisis, se evidenció un efecto significativo y, en aquellos casos en que su remoción no afectaba, considerablemente, los cuadrados medios de las otras variables independientes, este efecto fue removido del modelo. Con la misma lógica, la interacción entre hora y lugar fue incluida o no en el modelo estadístico.

Para complementar los análisis, se examinó la variación espacial del forrajeo de los murciélagos, con una prueba de Kruskal-Wallis (Zar, 1999), con el número de fases terminales/10min, a la hora de mayor actividad, como variable dependiente y, el punto de observación, como independiente. Seguido al análisis, se aplicaron pruebas a posteriori no paramétricas. La hora con mayor actividad, se definió con los análisis explicados en la sección anterior. El nivel de significancia en todas las pruebas estadísticas fue 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Murciélagos insectívoros en el norte de Bogotá: Se registraron murciélagos insectívoros en todos los sitios; generalmente,

se escucharon a frecuencias inferiores a los 45kHz y tenían su frecuencia con mayor energía alrededor de los 20kHz; sólo en la Floresta de la Sabana, se escuchó un murciélago con la frecuencia de mayor energía, alrededor de 30 kHz y un ancho de banda mucho más amplio que los otros murciélagos. Los resultados sugieren que existe, al menos, una especie de murciélago ampliamente distribuido y dadas las especies reportadas para Bogotá (Tamsitt *et al.* 1964) y las características de las llamadas, es posible que la o las especies que ecolocalizan alrededor de los 20kHz sea(n) de la familia Molossidae, ya que, por lo general, las especies de esta familia usan llamadas de baja frecuencia (Fenton & Bell, 1981). Por su parte, la especie que ecolocaliza alrededor de los 30kHz y parece tener un mayor ancho de banda es probablemente de la familia Vespertilionidae. Es necesario capturar dichos murciélagos y grabar sus llamadas en vuelo para evaluar estas afirmaciones.

Actividad de los murciélagos: En el separador de la Autopista, el punto de observación (humedal o bosque plantado) no tuvo efecto sobre la actividad de búsqueda o de forrajeo ($F_{1,6}=2,84$, $p=0,14$ y $F_{1,6}=0,01$, $p=0,93$, respectivamente). La actividad de búsqueda y de forrajeo sí fue afectada por la hora ($F_{6,7}=7,18$, $p=0,01$ y $F_{6,7}=7,41$, $p<0,01$, respectivamente) y, en ambos casos, hubo una tendencia a aumentar la actividad, con el paso del tiempo (Figura 1A, B). En la Autopista, la noche tuvo un efecto significativo sobre la actividad de búsqueda y de forrajeo ($F_{4,47}=5,59$, $p<0,01$ y $F_{4,47}=4,42$, $p<0,01$, respectivamente); en Torca, la actividad de búsqueda fue afectada por la interacción entre hora y punto de observación ($F_{6,25}=3,81$, $p<0,01$), dado que no se detectaron cambios en la actividad al borde del bosque andino, mientras que cerca a la lámpara, la actividad fue significativamente mayor, a las 00h30min que en el resto de horas, cerca de la lámpara o en el bosque (Figura 1C). Los factores hora, punto de observación y noche no tuvieron efecto sobre la actividad de búsqueda (todos los $p>0,05$). Por su parte, la actividad de forrajeo sí fue afectada por la hora ($F_{6,31}=2,97$, $p=0,02$) y el punto de observación ($F_{1,31}=9,183$, $p=0,05$), mientras que la noche no tuvo efecto ($F_{2,31}=1,39$, $p=0,27$). En Torca, la actividad de forrajeo fue mayor al lado de la lámpara sobre la Carrera 7ª que al borde de bosque y significativamente mayor, a las 00h30min que a las 19h30min y 20h30min (Figura 1D). En Las Mercedes-Humedal La Conejera, la actividad de búsqueda fue afectada por la hora ($F_{6,107}=3,07$, $p<0,01$) y por el punto de observación ($F_{2,107}=6,35$, $p<0,01$), mientras que la noche no tuvo efecto ($F_{8,107}=1,28$, $p=0,61$). La actividad de búsqueda fue mayor a las 18h30min que a las 19h30min, 21h30min, 22h30min y 00h30min y fue mayor cerca a la lámpara de luz blanca que en el bosque, en el borde del humedal o a la orilla del humedal (Figura 2A). Por su parte, la actividad de forrajeo fue afectada por el punto de observación ($F_{2,108}=3,76$,

$p=0,03$) y no fue afectada significativamente por la hora o la noche ($F_{6, 108}=1,10$, $p=0,37$ y $F_{8, 108}=1,46$, $p=0,18$). La actividad de forrajeo fue significativamente mayor, cerca de la lámpara de luz blanca respecto a los otros lugares de Las Mercedes (Figura 2B). En La Floresta, la actividad de búsqueda fue afectada por la hora ($F_{6, 26}=4,13$, $p<0,01$) y el punto de observación ($F_{1, 26}=5,93$, $p=0,02$), mientras que la noche no tuvo efecto ($F_{2, 26}=1,06$, $p=0,36$). La actividad de búsqueda fue mayor a las 18h30min que a las 22h30min, 23h30min y 00h30min y fue mayor al borde del bosque andino que cerca a la lámpara de luz naranja (Figura 2C). La actividad de forrajeo fue afectada por la hora ($F_{6, 26}=2,61$, $p=0,04$), mientras que el punto de observación y la noche no tuvieron efecto ($F_{1, 26}=1,77$, $p=0,19$ y $F_{2, 26}=0,79$, $p=0,46$, respectivamente). En la Floresta, la actividad de forrajeo fue mayor a las 18h30min que a las 20h30min y 21h30min (Figura 2D). En la U.D.C.A, la actividad de forrajeo fue afectada por la noche ($F_{9, 50}=2,71$, $p=0,01$) y por la hora ($F_{5, 50}=5,15$, $p<0,01$) y fue mayor a las 19h30min que a las otras horas, con excepción de las 20h30min (Figuras 3A).

El análisis adicional para examinar la variación de la actividad de forrajeo entre los puntos de observación, a la hora de mayor actividad, muestra que ésta fue diferente entre los puntos ($H=29,7$, $p<0,01$) (Figura 3B). En la U.D.C.A hubo mayor actividad que en los otros puntos ($p<0,05$), excepto los sitios con lámparas en Las Mercedes y en Torca. Cerca a la lámpara en Torca, se registró significativamente mayor actividad que a la orilla del Humedal La Conejera y el sitio con la lámpara en La Floresta ($p<0,05$) y estuvo cerca de ser significativamente mayor que al borde del humedal, el bosque de La Floresta y el bosque en Torca ($0,05>p<0,09$). Cerca a la lámpara de Las Mercedes, la actividad estuvo cerca de ser significativamente mayor que a la orilla del Humedal, el bosque en Torca y el sitio con la lámpara en La Floresta ($0,06>p<1,0$). Estos resultados, junto con los presentados en la sección anterior, sugieren que los sitios con lámparas de luz son aprovechados, considerablemente, por los murciélagos, para obtener alimento, pero su uso depende de la presencia de vías, como en el caso del separador de la autopista y la Carrera 7ª y, posiblemente, de la altitud, como en el caso de La Floresta.

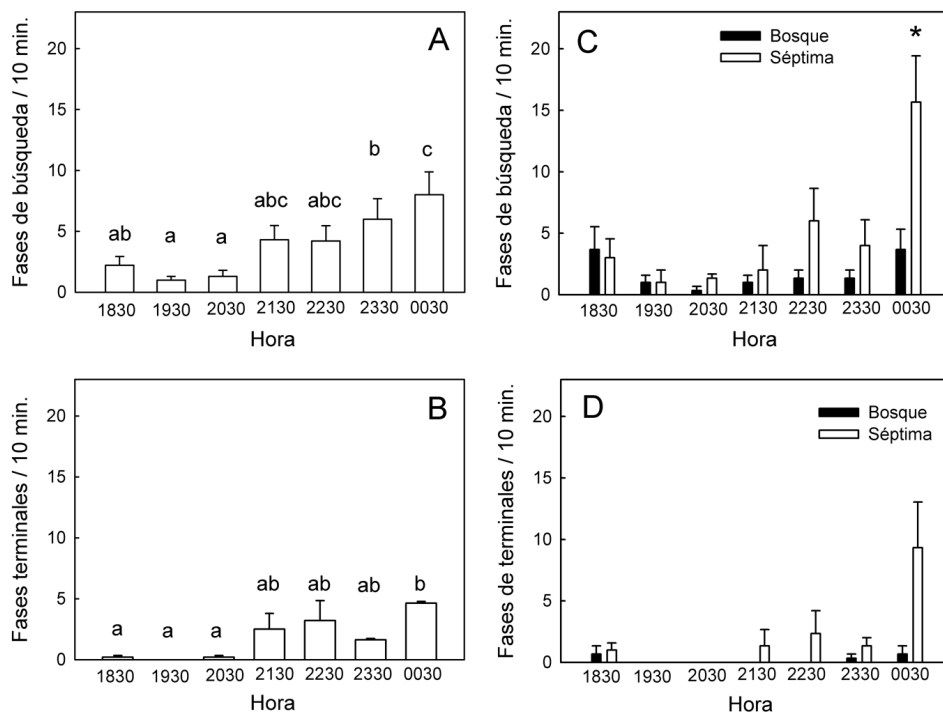


Figura 1. Actividad de los murciélagos insectívoros en el separador de la Autopista (A, B) y en Torca (C, D). La actividad expresada en número de fases de búsqueda (actividad de búsqueda) o fases terminales (actividad de forrajeo) en 10 min. Las barras representan promedios \pm error estándar y las barras en A y B, con letras diferentes, indican diferencias significativas (Prueba de Bonferroni, $p<0,05$). En la Autopista no hubo diferencias entre sitios, pero sí entre horas, con una tendencia a aumentar la actividad de búsqueda y forrajeo al progresar la noche (A, B). En Torca, la interacción entre sitio y hora fue significativa; la actividad de búsqueda fue mayor a las 00h30min en la carrera. 7ª que en el resto de las horas y sitios (C). La actividad de forrajeo fue mayor sobre la 7ª que en el borde de bosque y mayor a las 00h30min que a las 19h30min y 20h30min.

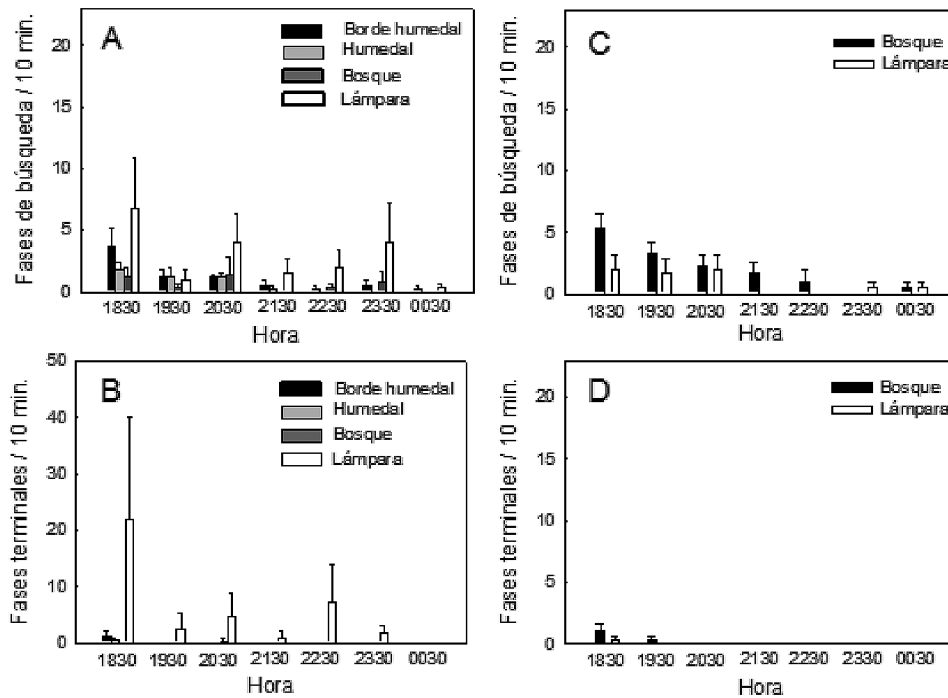


Figura 2. Actividad de los murciélagos insectívoros en La Hacienda Las Mercedes (A, B) y en la Floresta de La Sabana (C, D). La actividad expresada en número de fases de búsqueda (actividad de búsqueda) o fases terminales (actividad de forrajeo) en 10 min. Las barras representan promedios \pm error estándar. En Las Mercedes, la actividad de búsqueda y forrajeo fue mayor (Prueba de Bonferroni, $p < 0,05$), cerca de una casa, con una lámpara de luz blanca que en el borde humedal-pastizal, a la orilla del humedal o en un remanente de bosque secundario (A, B). En Las Mercedes, la actividad de búsqueda fue mayor a las 18h30min que a las 19h30min, 21h30min, 22h30min y 24h30min; la hora no afectó la actividad de forrajeo. En la Floresta hubo mayor actividad de búsqueda al borde de bosque que cerca a una lámpara de luz naranja; el sitio no afectó la actividad de forrajeo (C, D). En La Floresta, la actividad de búsqueda fue mayor a las 18h30min, que a las 22h30min, 23h30min y 24h30min, mientras que la actividad de forrajeo fue mayor a las 18h30min que a las 20h30min y 21h30min.

Aunque son necesarios estudios adicionales, dado que los muestreos fueron realizados en diferentes momentos, lo que podría implicar un posible efecto temporal y se emplearon relativamente pocos días por sitio, esta primera aproximación permite vislumbrar algunos posibles efectos de la heterogeneidad del paisaje bogotano, sobre la actividad de los murciélagos. Como se esperaba, los murciélagos tuvieron patrones temporales de actividad en el separador de la Autopista Norte y en la carrera 7ª, diferentes a los de los otros sitios. En la Autopista y la 7ª, la actividad de los murciélagos aumentó al avanzar la noche, i.e., cuando el flujo vehicular decrecía, mientras que en los otros sitios, la actividad fue mayor en las horas siguientes al atardecer. El patrón temporal encontrado en la Autopista y en la 7ª contrasta, considerablemente, con lo observado en murciélagos insectívoros, en lo usual. En estos murciélagos es común encontrar un pico de actividad en las primeras horas de la noche, i.e., como en los sitios sin vías de alto flujo vehicular. Esto es debido a que animales con altos requerimientos energéticos, asociados a su pequeño tamaño

y al vuelo, tienen una gran necesidad de alimentarse, luego de un día sin comida y porque a esas horas está la mayor actividad de insectos (Brown, 1968; Erkert, 1978; Kunz, 1973). Así, el patrón de actividad observado en la Autopista y en la carrera 7ª sugiere que los murciélagos perciben una amenaza en estos sitios y evitan las horas en las que habría un mayor riesgo de colisión con vehículos (Russell *et al.* 2009). En un estudio realizado en Norte América, Zurcher *et al.* (2010) percibieron que los murciélagos insectívoros muestran comportamientos evasivos hacia vías con alto tráfico vehicular estando o no en peligro inminente de colisión. Los mismos autores mencionan que, por lo anterior, las vías con alto tráfico vehicular se pueden convertir en barreras para los movimientos de los murciélagos. Así, es posible que en el norte de Bogotá, vías como la Autopista y la 7ª sean barreras para su movimiento, al menos, durante ciertas horas de la noche.

Los resultados también muestran que los murciélagos insectívoros pueden detectar diferencias entre lugares

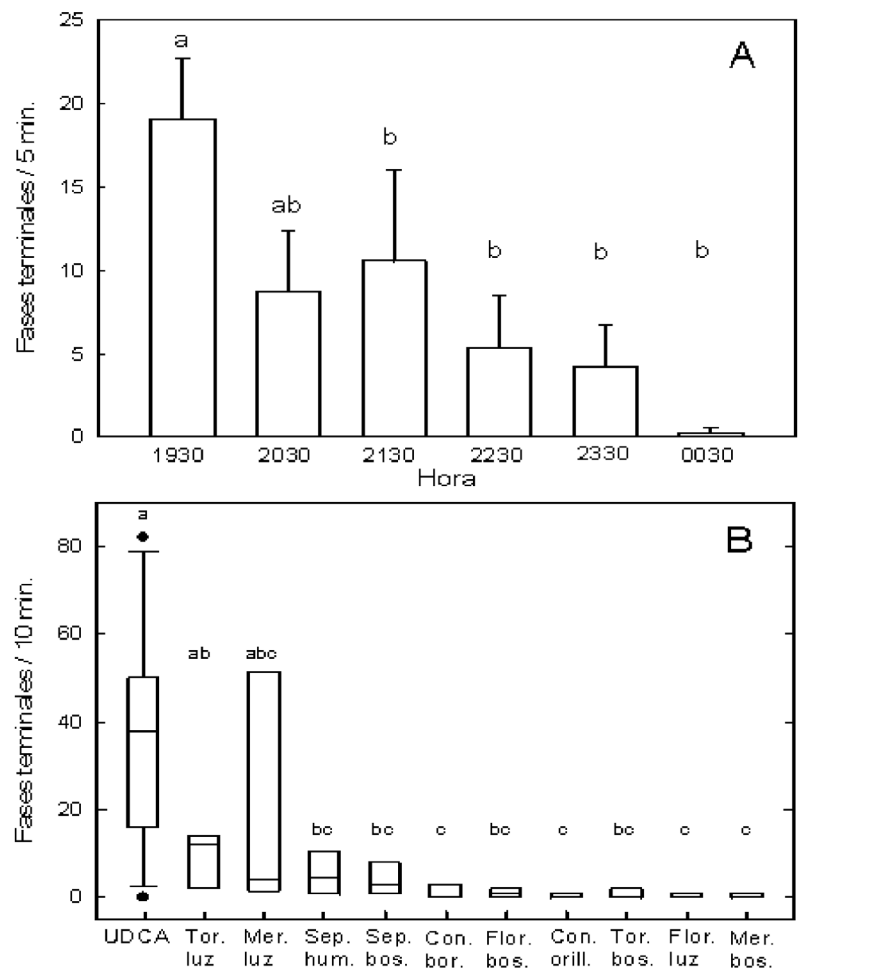


Figura 3. A. Actividad de forrajeo de los murciélagos insectívoros (fases de terminales/5 min), alrededor de un edificio con lámparas de luz blanca en la U.D.C.A. Las barras son promedios ± error estándar; barras con letras diferentes indican diferencias significativas (Prueba de Bonferroni, $p < 0,05$). La actividad tiende a disminuir con el tiempo. B. Actividad de forrajeo a la hora de mayor actividad en U.D.C.A, lámpara de luz en Torca (Carrera 7ª), Las Mercedes con lámpara de luz, humedal en el separador de la Autopista, bosque del separador, borde del humedal La Conejera, bosque en la Floresta, orilla humedal La Conejera, borde de bosque en Torca, lámpara de luz en la Floresta y bosque de Las Mercedes. La línea dentro de la caja es la mediana, sus extremos son los percentiles 25 y 75, la barra de error representa los percentiles 10 y 90 y los puntos son valores atípicos. Las letras diferentes sobre las cajas denotan diferencias significativas ($p < 0,05$).

relativamente cercanos, factiblemente, en respuesta a diferencias en la disponibilidad de alimento. En Torca y en La Floresta, se registraron divergencias en la actividad de los murciélagos entre puntos de observación, separados por menos de 60m. En Las Mercedes y en Torca, el movimiento de los murciélagos fue mayor, al menos a una hora de la noche, cerca a lugares con lámparas que en sitios sin ellas. Además, en estos áreas la actividad de forrajeo se concentró casi en su totalidad, alrededor de los puntos con lámparas. Adicionalmente, los lugares con lámparas: en Torca, en Las Mercedes y en la U.D.C.A lograron niveles de forrajeo mayores, a los registrados en los otros lugares. Así, los resultados también indican que los puntos de observación

con iluminación artificial son usados como parches de forrajeo por parte de los murciélagos, como ocurre en otras áreas urbanas y semiurbanas del neotrópico (Avila-Flores & Fenton, 2005; Jung & Kalko, 2010) y de la región holártica (López-García, 2006; Rydell, 2006).

Cómo ya se mencionó, las lámparas, en particular las de luz blanca, se convierten en parches alimentarios, valiosos para los murciélagos insectívoros, en ambientes urbanos o semiurbanos, dado que atraen y acumulan insectos a su alrededor y actúan mejor cuando están rodeadas de ambientes naturales o similares (Gaisler *et al.* 1998; Rydell, 2006). Así, las lámparas son aprovechadas en el norte de

Bogotá por los murciélagos, como parches de alimentarios y parecen ser apreciables en sitios con baja afluencia vehicular y cerca a zonas de humedal, como en Las Mercedes y en la U.D.C.A. Esto sugiere que la preservación de áreas con remanentes naturales cerca a lámparas es importante para los murciélagos, posiblemente porque estas áreas son la fuente de sus insectos presa (Fenton, 1997).

En conclusión, como en trabajos realizados en áreas urbanas del neotrópico (Avila-Flores & Fenton, 2005) y de la región holártica (Gaisler *et al.* 1998), los murciélagos del borde norte de Bogotá reaccionan a la heterogeneidad antrópica del paisaje. Dichas modificaciones parecen tener efectos en dos direcciones: 1) las vías con alto tráfico vehicular pueden ser agentes de mortalidad y, por ello, podría reducir las posibilidades para la movilización de los murciélagos, durante algunas horas de la noche y, 2) la disposición de lámparas, en particular cerca a áreas de humedal, parece beneficiar, al menos, a algunos murciélagos, que encuentran allí una acumulación de presas potenciales. Estudios adicionales deben examinar si estas observaciones se cumplen para todas las especies de murciélagos de Bogotá, o si las respuestas de comportamiento dependen de la especie que se examine, como ocurre en otras áreas urbanas y semiurbanas (Duchamp *et al.* 2004; Jung & Kalko, 2010).

Por último, los resultados de este trabajo sugieren que los murciélagos podrían ser aprovechados en las prácticas agrícolas de la región. Sitios con lámparas de luz blanca, además de concentrar insectos, pueden afectar la capacidad de algunas presas para reaccionar contra el ataque de los murciélagos. Algunas especies de polillas con "oídos", capaces de detectar llamadas de ultrasonido, tienen una menor probabilidad de evadir a los murciélagos cerca a una lámpara de luz blanca que lejos de ellas (Svensson & Rydell, 1998). Así, en un área con actividad agrícola, como el norte de Bogotá y donde los murciélagos parecen estar presentes en toda su extensión, la concurrencia de lámparas de luz blanca cerca a los cultivos podría ayudar a controlar las poblaciones de insectos nocturnos, como algunas polillas, que son consideradas plaga. La aplicación de este tipo de estrategia implicaría, potencialmente, una reducción en la necesidad de pesticidas, por lo tanto, un ahorro para los agricultores (Cleveland *et al.* 2006) y también menor contaminación de suelos y de aguas. Además, aportaría para reconocer los servicios ambientales que pueden ofrecer los murciélagos, lo que también puede ayudar a sensibilizar a los bogotanos sobre la importancia del capital natural que los rodea.

Agradecimientos: A los habitantes de los sitios, por su amabilidad y por permitir el acceso a los predios. A los integrantes del semillero de investigación Ecología

y Conservación Ambiental–U.D.C.A (Sergio Barrantes, Geraldine Bobadilla, Maribel Casallas, Juanita Niño, María Fernanda Patiño, Lina Suárez y Lorena Téllez) y a Norma Gómez, quienes colaboraron en la toma de los datos. Dinesh Rao hizo sugerencias al "Summary" y al título. Dos evaluadores anónimos hicieron comentarios que ayudaron a mejorar el documento. **Conflictos de intereses:** No existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio deriva de los proyectos "Murciélagos del corredor ecológico del borde norte de Bogotá" y "Estudio del borde norte de Bogotá como un sistema complejo" financiados por la U.D.C.A y en parte por la CAR, en trabajo coordinado por el Instituto de Estudios Urbanos, Universidad Nacional de Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, C.E.; LINDSEY, K.J.; ASH, S.J.. 2006. Urban wildlife management. CRC Press, Taylor & Francis Group (Boca Raton, FL). 311p.
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2000. Decreto 619 de 2000, Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital. Disponible desde Internet en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3769> (con acceso el 09/11/10).
- ALTRINGHAM, J.D. 2001. Bats: biology and behaviour. Oxford University Press (New York): p.262.
- ASOCIACIÓN BOGOTANA DE ORNITOLOGÍA ABO. 2000. Aves de la Sabana de Bogotá: guía de campo. Asociación Bogotana de Ornitología–Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR (Bogotá). 276p.
- AVILA-FLORES, R.; FENTON, M.B. 2005. Use of spatial features by foraging insectivorous bats in a large urban landscape. *J. Mammalogy*. 86:1193-1204.
- BROWN, J.H. 1968. Activity patterns of some Neotropical bats. *J. Mammalogy*. 49:754-757.
- CLEVELAND, C.J.; BETKE, M.; FEDERICO, P.; FRANK, J.D.; HALLARA, T.G.; HORN, J.; LÓPEZ Jr., J.D.; MCCracken, G.F.; MEDELLÍN, R.A.; MORENO-VALDEZ, A.; SANSONE, C.G.; WESTBROOK, J.K.; KUNZ, T.H. 2006. Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. *Front. Ecol. Environ.* 4:238-243.

8. CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. 2006. Los Cerros Orientales de Bogotá D.C.: patrimonio cultural y ambiental del Distrito Capital, la región y el país: plan de manejo ambiental, p.116. Alcaldía Mayor de Bogotá (Bogotá). 116p.
9. DUCHAMP, J.E.; SPARKS, D.W.; WHITAKER Jr., J.O. 2004. Foraging-habitat selection by bats at an urban-rural interface: comparison between a successful and less successful species. *Can. J. Zool.* 82:1157-1164.
10. ERKERT, H.G. 1978. Sunset-related timing of flight activity in Neotropical bats. *Oecologia.* 37:59-67.
11. ESTRADA, A.; JIMÉNEZ, C.; RIVERA, A.; FUENTES, E. 2004. General bat activity measured with an ultrasound detector in a fragmented tropical landscape in Los Tuxtlas, Mexico. *Animal Biodiversity and Conservation.* 27:1-9.
12. FENTON, M.B. 1974. Feeding ecology of insectivorous bats. *Bios.* 45:3-15.
13. FENTON, M.B. 1997. Science and the conservation of bats. *J. Mammalogy.* 78(1):1-14.
14. FENTON, M.B.; ACHARYA, L.; AUDET, D.; HICKEY, M.B.C.; MERRIMAN, C.; OBRIST, M.K.; SYME, D.M.; ADKINS, B. 1992. Phyllostomid bats (Chiroptera: Phyllostomidae) as indicators of habitat disruption in the Neotropics. *Biotropica.* 24:440-446.
15. FENTON, M.B.; BELL, G.P. 1981. Recognition of species of insectivorous bats by their echolocation calls. *J. Mammalogy.* 62:233-243.
16. FLEMING, T. 1993. Plant-visiting bats. *Am. Scient.* 81:460-467.
17. GAISLER, J.; ZUKAL, J.; REHAK, Z.; HOMOLKA, M. 1998. Habitat preference and flight activity of bats in a city. *J. Zool.* 244:439-445.
18. GARDNER, A.L. 1977. Feeding habits. En: Baker, R.J.; Jones, Jr. J.K.; C. Carter, D.C. (eds.). *Biology of bats of the New World family Phyllostomatidae.* Texas Tech University (Lubbock, Texas, USA): p.293-350.
19. JENNINGS, N.; POCOCK, M.J.O. 2009. Relationships between sensitivity to agricultural intensification and ecological traits of insectivorous mammals and arthropods. *Conserv. Biol.* 23:1195-1203.
20. JUNG, K.; KALKO, E.K.V. 2010. Where forest meets urbanization: foraging plasticity of aerial insectivorous bats in an anthropogenically altered environment. *J. Mammalogy.* 91:144-153.
21. KUNZ, T.H. 1973. Resource utilization: temporal and spatial components of bat activity in Central Iowa. *J. Mammalogy.* 54:14-32.
22. LODÉ, T. 2000. Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio.* 29:163-166.
23. LÓPEZ-GARCÍA, C. 2006. Efectos de la iluminación viaria en los murciélagos. *Boletín S.C.V.* 11:38-43.
24. MEDELLÍN, R.A.; EQUIHUA, M.; AMIN, M.A. 2000. Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. *Conserv. Biol.* 14:1666-1675.
25. MENDOSA, J.E.; ETTER, A. 2002. Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogotá highplain (Colombia). *Landscape Urban Plan.* 59:147-158.
26. NORBERG, U.M.; RAYNER, J.M.V. 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia: Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 316:335-427.
27. OSBAHR, K.; HERNÁNDEZ SCHMIDT, M. 2006. Caracterización florística de un fragmento del humedal Torca-Guaymaral (Bogotá, Cundinamarca). *Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient.* 9:117-128.
28. PACHECO, V.; PATTERSON, B.D. 1992. Systematics and biogeographic analyses of four species of *Sturnira* (Chiroptera, Phyllostomidae), with emphasis on Peruvian forms. En: Young, K.R.; Valencia, N. (eds.). *Biogeografía, ecología y conservación del bosque montano en el Perú.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Lima). p.57-81.
29. PULLIN, A.S. 2002. *Conservation Biology.* Cambridge University Press (Cambridge). p.345.
30. RAMÍREZ, D.P.; TRESPALACIOS, O.L.; RUIZ, F.L.; OTERO, J. 2008. Biodiversidad y conectividad ecológica en la zona urbano rural de la localidad de Suba. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Bogotá D.C.). 154p.

31. RUSSELL, A.L.; BUTCHKOSKI, C.M.; SAIDAK, L.; MCCRACKEN, G.F. 2009. Road-killed bats, highway design, and the commuting ecology of bats. *Endangered Species Res.* 8:49-60.
32. RYDELL, J. 2006. Bats and their insect prey at streetlights. En: Longcore, R.C. (ed). *Ecological consequences of artificial night lighting*. Island Press (Washington). p.43-60.
33. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. 2007. Atlas ambiental de Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (Bogotá D.C.). 272p.
34. SVENSSON, A.M.; RYDELL, J. 1998. Mercury vapour lamps interfere with the bat defence of tympanate moths (*Operophtera* spp.; Geometridae). *Anim. Behav.* 55:223-226.
35. TAMSITT, J.R.; VALDIVIESO, D. 1963. Records and observations on Colombian bats. *J. Mammalogy.* 44:168-180.
36. TAMSITT, J.R.; VALDIVIESO, D.; HERNÁNDEZ-CAMACHO, J.I. 1964. Bats of the Bogota savanna, Colombia, with notes on altitudinal distribution of Neotropical bats. *Rev. Biol. Trop.* 12:107-115.
37. TIME AND DATE AS. [En línea]. Sunrise and sunset in Bogota. Disponible desde Internet en <http://www.timeanddate.com/worldclock/astronomy.html?n=41> (con acceso 15/07/10).
38. TUTTLE, M.D.; MORENO, A. 2007. Murciélagos cavernícolas del norte de México: su importancia y problemas de conservación. *Bat Conservation International* (Austin, Texas). 49p.
39. ZAR, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*, 4th ed. Prentice Hall (Upper Saddle River, N. J.). 663p.
40. ZURCHER, A.; SPARKS, D.W.; BENNET, V.J. 2010. Why did the bat did not cross the road? *Acta Chiropterologica* 12:337-340.

Recibido: Octubre 15 de 2010

Aceptado: Enero 22 de 2011

ABUNDANCIA, USO DE HÁBITAT Y COMPORTAMIENTO DE LA TINGUA MOTEADA (*Gallinula melanops bogotensis* Chapman 1914) EN EL HUMEDAL GUAYMARAL, BOGOTÁ – COLOMBIA

ABUNDANCE, HABITAT USE AND BEHAVIOUR OF THE SPOT-FLANKED GALLINULE (*Gallinula melanops bogotensis* Chapman 1914) IN THE GUAYMARAL WETLAND, BOGOTÁ - COLOMBIA

Karin Osbaht¹, Norma Constanza Gómez²

¹ Líder Grupo de Investigación en Fauna Silvestre. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 55-37 Bogotá – D.C kosbaht@udca.edu.co ² Unidad de Investigación en Fauna Silvestre. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 55-37 Bogotá – D.C norvet1908@yahoo.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 81 - 91, 2011

RESUMEN

Los humedales urbanos de Bogotá aún conservan fauna endémica entre la cual se destaca la tingua moteada (*Gallinula melanops bogotensis*) por ser una subespecie propia del sistema de humedales de la cordillera Oriental en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. Los pocos humedales que todavía subsisten en el área de Bogotá y sus alrededores han sido considerados como los ecosistemas más amenazados de Colombia y como consecuencia las poblaciones de *G. m. bogotensis* han disminuido significativamente. El objetivo del presente trabajo fue el de establecer la abundancia de la especie a través de monitoreos continuos durante tres años consecutivos, indicando a su vez los requerimientos de hábitat para mantener la especie. Se realizaron conteos directos tres veces por mes en las horas de la mañana desde enero de 2008 y marzo de 2010 para un total de 69 días de muestreo. Para complementar el estudio, se hicieron observaciones puntuales durante cuatro días completos tomando datos de la actividad. Aún cuando el humedal ha sufrido un deterioro permanente subsiste una población con actividad reproductiva. La abundancia relativa de la población mostró variaciones a lo largo de los meses, sectores y categorías de edad muestreados. Las observaciones del comportamiento de *G. m. bogotensis* permitieron identificar a su vez un mayor uso, reflejado

en una mayor abundancia relativa, hacia los sectores que mantienen vegetación flotante, mientras que los juncales, la ronda y las asociaciones vegetales registraron menor abundancia en todos los sectores estudiados.

Palabras clave: Rallidae, preferencia, vegetación pleustofítica, poblaciones.

SUMMARY

The urban wetlands of Bogota have preserved endemic fauna among which stands out the spot-flanked Gallinule (*Gallinula melanops bogotensis*) as an endemism subspecies of the wetland system of the Eastern Cordillera in the departments of Cundinamarca and Boyacá. The few wetlands that still exist in the area of Bogota and its surroundings have been considered the most threatened ecosystems in Colombia and as a result the populations of *G. m. bogotensis* have dropped significantly. The aim of this study was to establish the abundance of the species through continuous monitoring for three consecutive years, indicating in turn the habitat requirements for maintaining the species. Direct counts were performed three times per month in the morning from January 2008 to March 2010 for a total of 69 days of sampling. To complement the study, specific observations were made during four full days taking activity data. Even if

the wetland has suffered permanent changes a population with reproductive activity remains. The relative abundance of the population showed changes over the months, sectors and age groups sampled. The observations of the behavior of *G. m. bogotensis* showed a higher habitat use, reflected in greater abundance, relative to sectors that keep floating vegetation, while at the reeds, the round and recorded plant associations the species was less abundant in all the sectors studied.

Key words: Rallidae, preference, pleustophytic vegetation, populations.

INTRODUCCIÓN

Los humedales de la sabana de Bogotá se caracterizan por la presencia de cuerpos de agua o zonas de inundación y las zonas de transición o ronda hidráulica, originando un ecosistema heterogéneo del cual se beneficia particularmente la avifauna. Estos ecosistemas ofrecen refugio, alimento, zonas de nidificación y ambientes importantes donde se concentran las aves residentes durante el período de muda de plumaje o las aves migratorias durante la migración anual (ABO, 2000; Becerra *et al.* 2004). Los humedales de planicie son considerados prioritarios para la conservación por ser parte del complejo que conforma el Área de Importancia para la Conservación de las Aves de la Sabana de Bogotá (AICA) (Scott & Carbonell, 1985; Franco & Bravo, 2005; DAMA, 2006). Sin embargo, la desecación y el relleno, la contaminación por desechos sólidos y la disminución de la calidad del agua por procesos de eutroficación, derivados de elevadas concentraciones de fósforo (Guarnizo & Calvachi, 2004), han deteriorado severamente este ecosistema. Los efectos antrópicos adicionalmente han modificado la fisonomía vegetal de los humedales repercutiendo en la pérdida de la cobertura vegetal original.

La elevada destrucción de los humedales ha disminuido considerablemente las poblaciones de la avifauna, afectando especialmente a la Tingua Moteada (*Gallinula melanops bogotensis*), subespecie que se distribuye en la cordillera Oriental de Colombia entre los 2500 y 3050m de elevación en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá (Stiles, 1998). Junto con el descenso de las poblaciones de *G. m. bogotensis* se ha documentado la fragmentación de las mismas, por lo cual la especie califica en peligro crítico de extinción en Colombia (Arzuza *et al.* 2008; Cifuentes & Castillo-Cortés, 2009). Se estima que su población total es menor a los 2500 individuos (Renjifo, 1998; Cadena, 2002), y es evidente que existe una pérdida de la variabilidad genética debida a una reducción demográfica extrema (Becerra &

Cely-Fajardo, 2007). En la Sabana de Bogotá la principal amenaza que enfrenta la especie es la desaparición de vegetación acuática y la desecación para el establecimiento de campos de cultivos y potreros (Hernández & Andrade, 2006). Un ejemplo claro de las potenciales consecuencias de los manejos inadecuados para la avifauna es el del humedal la Florida, en el cual, *G. m. bogotensis* fue erradicada a comienzos de la década pasada, tras el uso de herbicidas en un infortunado ensayo para eliminar el buchón de agua (*Eichornia crassipes*) (Cadena, 2002).

A pesar de de su condición de vulnerabilidad, el conocimiento de *G. m. bogotensis* es aún muy escaso. Aún cuando es reportada regularmente en los conteos anuales de aves, se desconocen aspectos tan importantes como la ecología de sus poblaciones, los requerimientos de hábitat y no existe un monitoreo cercano y detallado del comportamiento de esta especie (Becerra *et al.* 2005; Van der Hammen *et al.* 2008). Siendo una especie que depende totalmente de ambientes acuáticos y que no puede sobrevivir en otros ambientes y que el humedal de Guaymaral requiere de medidas de conservación urgentes, el conocimiento de los parámetros biológicos mencionados es fundamental para facilitar el desarrollo de un plan de manejo para la conservación de la especie. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue el de establecer la abundancia de la especie a través de monitoreos continuos durante tres años consecutivos, evaluando a su vez el comportamiento en relación al hábitat disponible en el humedal Guaymaral.

MATERIALES Y MÉTODOS

El humedal Guaymaral, con una extensión de 43ha, se encuentra ubicado al nororiente del casco urbano de Bogotá (Figura 1a), a 2550m de altitud presentando un clima frío distribuido en un piso bioclimático altitudinal subandino o andino bajo (Matallana *et al.* 2004). La pérdida de los principales afluentes tales como el canal Torca y la Quebrada El Guaco, han modificado el régimen hídrico del humedal, por lo cual el espejo de agua se presenta de manera más o menos permanente, dependiendo su extensión de los periodos de lluvia (Osbañ & Gómez, 2006). En el extremo occidental del humedal se forman estanques artificiales que en época invernal mantienen volúmenes importantes de agua (CIC, 2003). El humedal se encuentra rodeado de pastizales ubicados en zonas de relleno y destinados a la producción pecuaria, especialmente de ganado bovino y equino. El área de estudio presenta un mosaico de vegetación introducida no plantada y de crecimiento espontaneo, que ocupa tanto las zonas de ronda como los sectores inundables; áreas reforestadas con especies nativas e introducidas y áreas

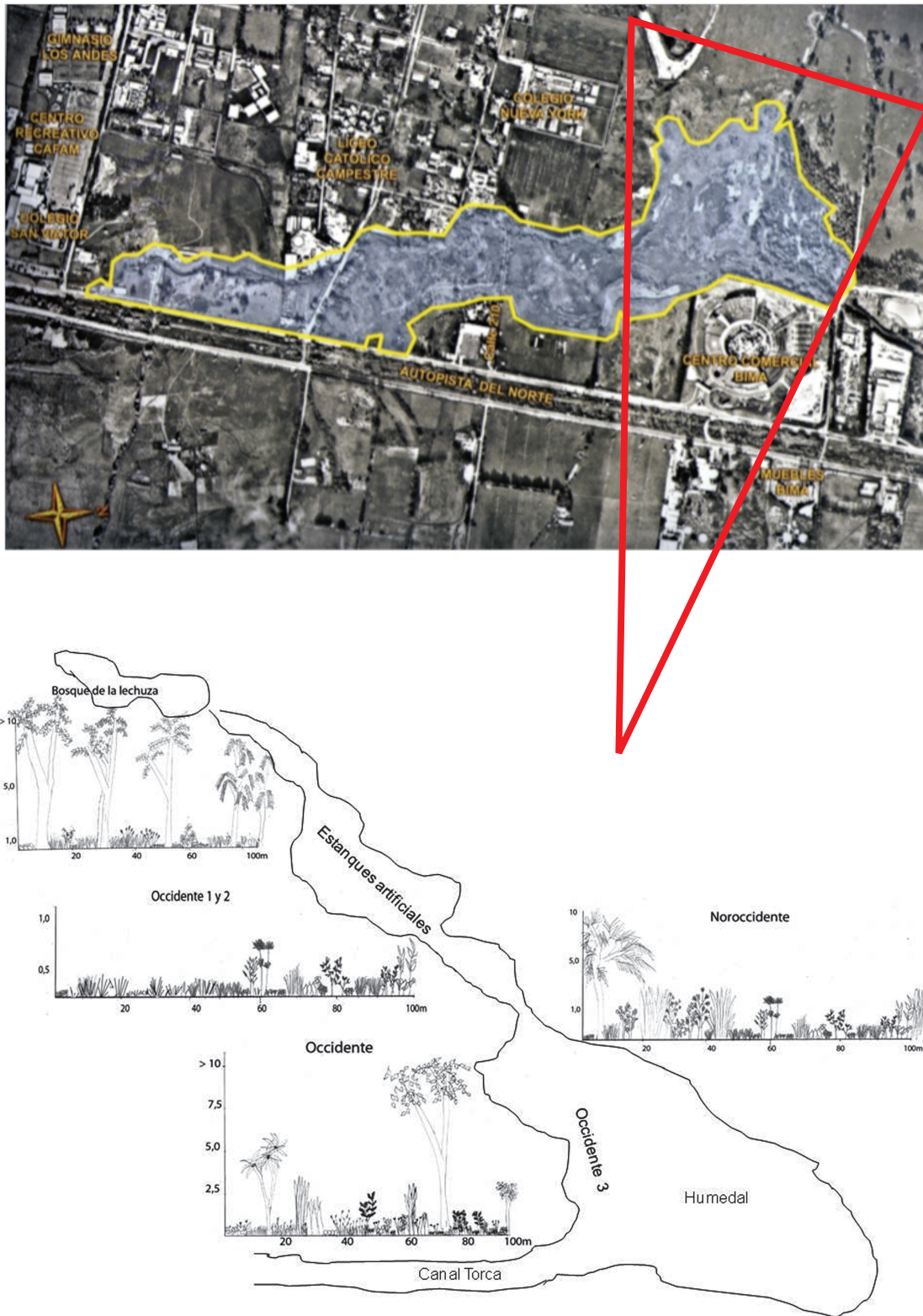


Figura 1. a. Ubicación geográfica del humedal Guaymaral, Bogotá. Fuente: Conservación Internacional – Colombia (2003); b. Esquema del área de estudio empleada entre 2008 y 2010 dentro del humedal, y descripción de la cobertura vegetal encontrada en cada uno de los sectores: sectores “Bosque de lechuzas”, “Noroccidente”, “Occidente”, “Occidente 1”, “Occidente 2” y “Occidente 3”.

de vegetación nativa tanto terrestre como acuática. La vegetación flotante dominante es *Eichornia crassipes*, planta introducida que llega a cubrir grandes áreas del humedal (Osbañ & Hernández-Schmidt, 2006).

Entre enero y mediados de julio de 2008 (36 días de muestreo) se dividió el área de estudio en tres sectores definidos en trabajos previos (Osbañ & Gómez, 2006) como “Bosque de la Lechuza” y sectores “Occidente” y “Noroccidente” (Figura 1b). Considerando que los procesos antrópicos que afectan el humedal modificaron el paisaje impidiendo el muestreo en el sector “Noroccidente”, se dividió, entre finales de julio de 2008 y marzo de 2010 (33 días de muestreo), el sector “Occidente” en sectores 1, 2 y 3, diferenciando así la zona del humedal de los estanques artificiales (Figura 1b). El sector “Bosque de la Lechuza” se mantuvo. Para cada sector se obtuvo un perfil de la vegetación marcando con un decámetro transectos longitudinales de 100 metros y midiendo con una cinta métrica la altura de las plantas registradas (Mostacedo & Fredericksen, 2000).

Debido a que *G. m. bogotensis* nada en aguas abiertas, pero también camina sobre la vegetación flotante y se refugia en los juncuales (ABO, 2000), se aplicó en cada sector el método de conteo por puntos (Bibby *et al.* 1998). En los puntos seleccionados al azar y con un intervalo de 250m entre cada punto de observación (Ralph *et al.* 1996), se registraron durante 10 minutos todos los individuos de la especie. Las observaciones se realizaron con binoculares (21x40) visitando el área de estudio semanalmente entre las 5:30 a 8:00 am, con una diferencia de seis días entre cada visita, para un total de 1656 horas de muestreo. El día escogido para los muestreos fue aleatorio. Cabe mencionar, que en algunas oportunidades el avistamiento de *G. m. bogotensis* disminuyó por la lluvia y la neblina o por la presencia de personas, perros o ganado bovino y equino cerca o dentro del espejo de agua. La abundancia relativa se calculó por sector como el número de individuos registrados respecto al esfuerzo de muestreo calculado como: horas totales x sectores totales/días totales. La prueba de normalidad arrojó la presencia de valores extremos por lo cual se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis (Zar, 1999) para establecer diferencias entre los sectores muestreados. Para establecer las categorías de edad se tuvo en cuenta la descripción dada para la especie en ABO (2000) y Hilty & Brown (1986).

Para obtener datos de la actividad asociada a las diferentes comunidades vegetales, definidas a partir de los perfiles construidos para cada sector en el área de estudio (Figura 1b), se aplicaron en julio de 2009 observaciones *Ad libitum* (Lehner, 1996). Estas observaciones se realizaron una vez por semana completando cuatro días de muestreo con intervalos de 15 minutos entre las 5:30am y las 5:00pm. Con

los comportamientos registrados se estableció el etograma de la especie (Hutt & Hutt, 1970). Con las observaciones comportamentales se calculó la frecuencia/hora definida como el número de veces que el ave exhibe determinado comportamiento. Las frecuencias obtenidas para cada categoría comportamental se relacionaron con el uso de la vegetación. Todos los análisis se realizaron utilizando Statgraphics Plus 5.1©.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante todo el estudio se obtuvo un total acumulado de 1603 registros de individuos de *G. m. bogotensis* en diferentes estados de desarrollo (polluelos 41, jóvenes 171 y adultos 1391 registros respectivamente). Estas cifras indican que, aún cuando el humedal ha sufrido un deterioro permanente, subsiste una población con actividad reproductiva. La abundancia relativa de la población mostró variaciones a lo largo de los meses muestreados (Figura 2). Durante el año 2008 se registró una variación bimodal, con picos de máxima abundancia en julio y diciembre; en 2009 se mantuvo la tendencia fluctuante y el máximo de abundancia también correspondió al mes de julio, aunque en los demás meses se observó un descenso notable que se mantuvo hasta los primeros meses del año 2010. En general, la abundancia relativa promedio ($AR = 7,73 \pm 6,1$ individuos/esfuerzo de muestreo) de *G. m. bogotensis* en el humedal Guaymaral es mayor a la reportada para el humedal Jaboque en la localidad de Engativá (Bogotá, D.C) donde, aunque es residente, es poco común ($AR = 1$) (Rueda-C. *et al.* 2005).

La abundancia relativa total registró fluctuaciones con respecto a los sectores muestreados, siendo mayor ($AR = 40,7$ y $37,0$ individuos/esfuerzo de muestreo respectivamente) en los sectores “Occidente 1 y 2” con cuerpos de agua bien definidos (Figura 3). Observaciones anteriores corroboran los resultados obtenidos, ya que mencionan que *G. m. bogotensis* es la más acuática de las especies de Rálidos de la Sabana, encontrándose casi siempre nadando, aunque también camina en la vegetación flotante y se refugia en los juncuales (Hilty & Brown, 1986; ABO, 2000; Restall *et al.* 2007; Osbañ & Wüst, 2009).

Estas fluctuaciones se observaron igualmente con respecto a la distribución de la abundancia relativa por categorías de edad por sector (Figura 3). Debido a su tamaño pequeño, la abundancia de polluelos puede estar subestimada por la presencia de juncuales especialmente en los sectores “Noroccidente” y “Occidente 3”. Igualmente, el avistamiento de polluelos se encuentra ligado a la actividad reproductiva de la especie, puesto que la anidación, con un período de incubación de 15 a 20 días (Lozano, 1992), al igual que los

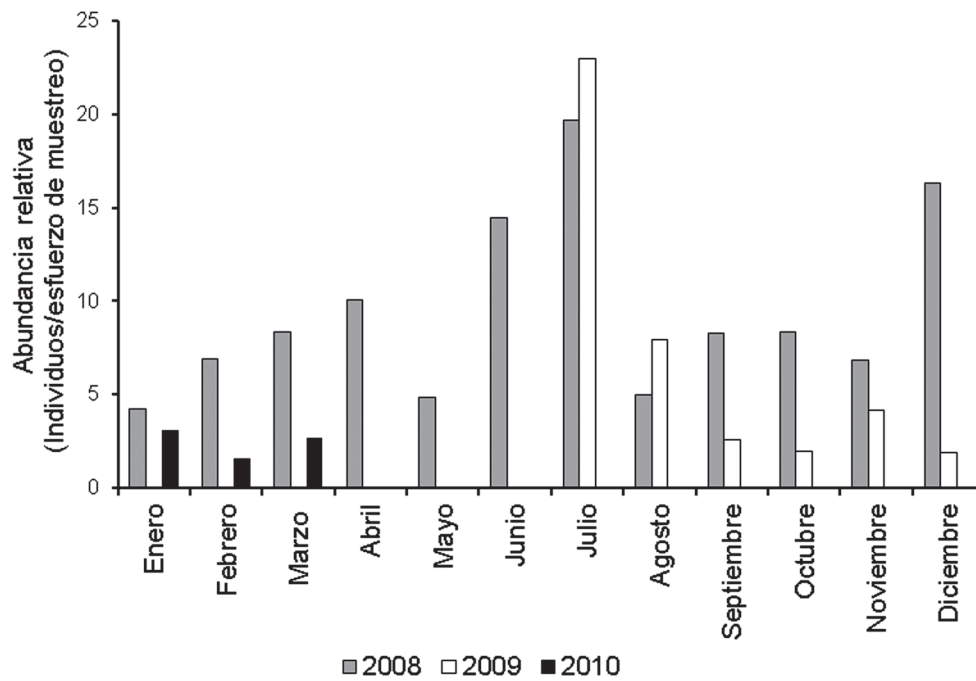


Figura 2. Fluctuación en la abundancia relativa de la población de G. m. bogotensis en el humedal Guaymaral a lo largo de los meses muestreados en cada año.

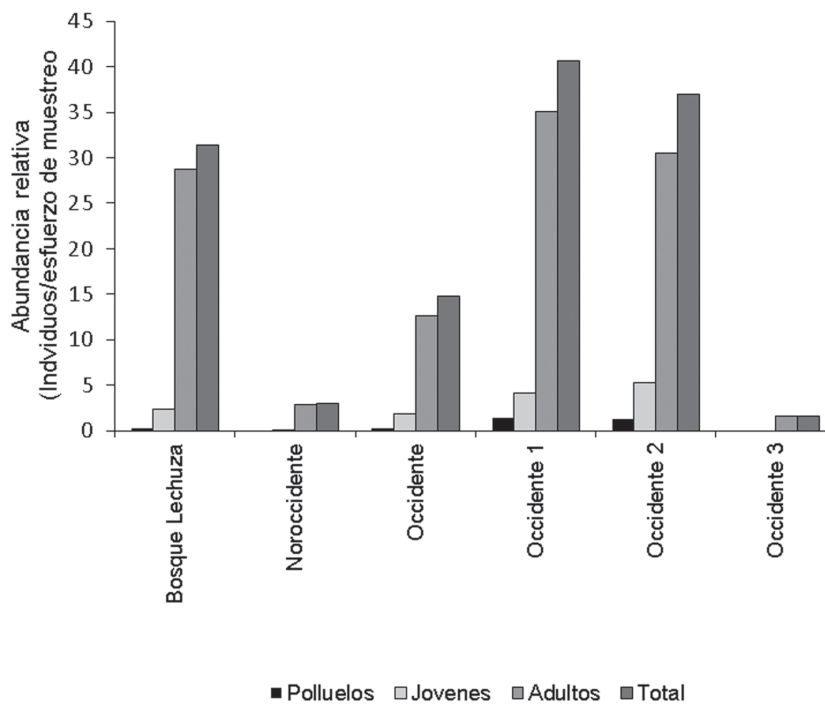


Figura 3. Variación en la abundancia relativa por categoría de edad de G. m. bogotensis en cada sector muestreado en el humedal Guaymaral durante el estudio. Esfuerzo de muestreo total de 12,48 horas*sector/día.

primeros días de cuidado de los polluelos, se desarrollan en zonas de elevada cobertura vegetal (Becerra *et al.* 2004a). En el humedal Guaymaral se observó el mayor número de polluelos (9 a 13 individuos) entre julio y octubre, mientras que en los meses de febrero, junio, noviembre y diciembre disminuyó el número (1 a 3 polluelos). Estos registros coinciden parcialmente con Becerra *et al.* (2004a) quienes reportaron anidaciones en la laguna de Fúquene (Cundinamarca), durante marzo y mayo y un segundo periodo entre octubre y diciembre. Borrero (1956), Varty *et al.* (1986), Cadena (2002) y Becerra *et al.* (2005) afirman que la reproducción se concentra entre los meses de marzo y junio con posturas ocasionales durante el mes de septiembre. Sin embargo, de acuerdo con Zuluaga-Bonilla (2007), la especie anidaría durante todo el año en presencia de ambientes artificiales, con algunas posturas extras casi de inmediato para reponer nidadas no exitosas, derivadas de las amenazas antrópicas cercanas. En el humedal Guaymaral

los individuos jóvenes fueron observados en mayor cantidad durante el segundo semestre donde se contaron entre 9 y 28 individuos; contrariamente, en los demás meses los valores obtenidos siempre fueron menores a los 10 individuos. En los meses de enero y abril no se encontraron individuos jóvenes en las diferentes zonas del humedal.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar las abundancias relativas de *G. m. bogotensis* en los diferentes sectores muestreados (Figuras 4a y b). Esta diferencia es atribuible a la presencia de comunidades vegetales que caracterizan a cada sector, por lo cual la variabilidad en la abundancia podría reflejar el uso del hábitat de manera dinámica de acuerdo a la disponibilidad de recursos (Kusch *et al.* 2008). Los sectores "Noroccidente", "Occidente" y "Occidente 3" se caracterizan por conservar juncuales (*Typha angustifolia*, *Schoenoplectus californicus*, *Cyperus rufus*, *Juncus effusus* y *Juncus sp.*) asociados con

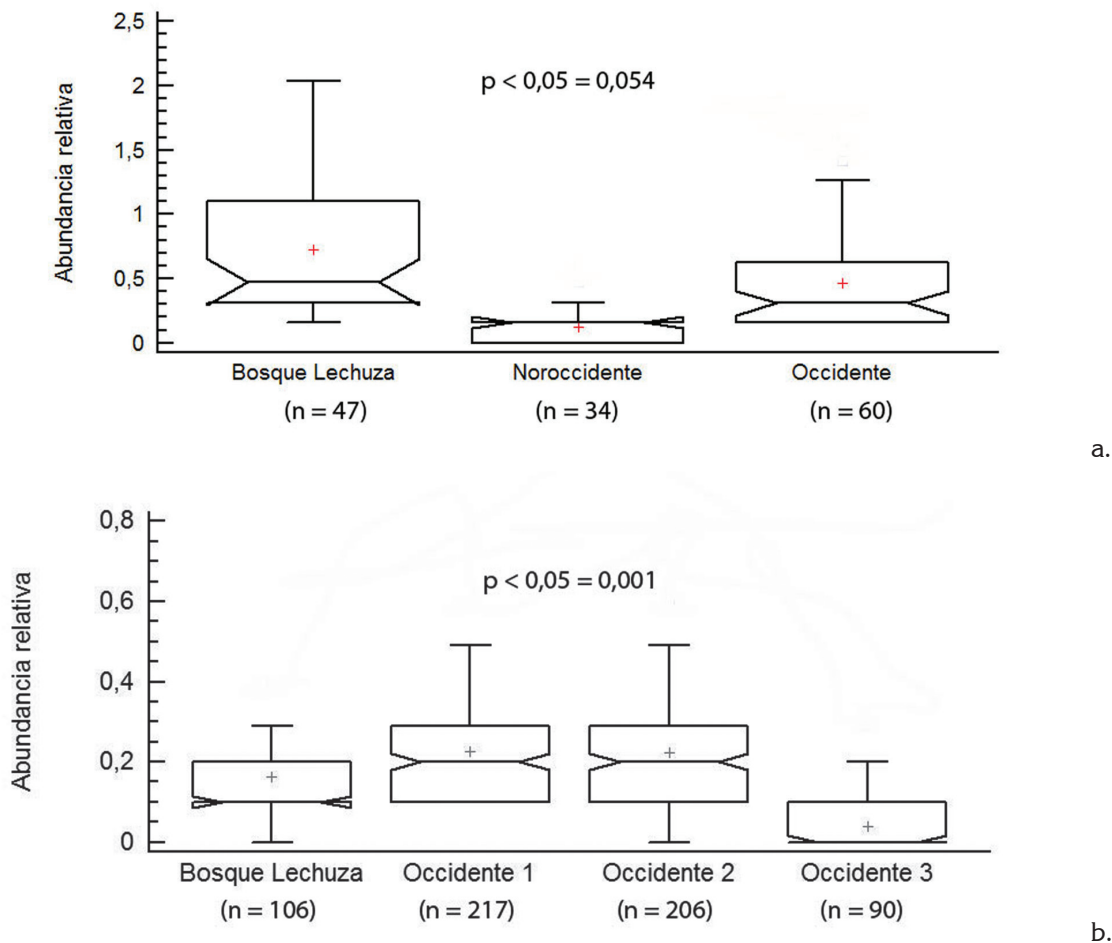


Figura 4. Variación en la abundancia relativa de *G. m. bogotensis* en el humedal Guaymaral (Prueba de Kruskal-Wallis nivel de confianza del 95%). **4a.** Sectores muestreados entre enero y mediados de julio de 2008. **4b.** Sectores muestreados entre finales de julio de 2008 y marzo de 2010.

Polygonum sp. y *Rumex* sp. y una ronda con vegetación herbácea (*Cirsium* sp., *Oxalis corniculata*, *Kikuyuochloa clandestina*, *Hydrocotyle bonplandii*, *Verbena litoralis*, *Holcus lanatus*, *Rumex* sp., *Trifolium repens*, *Senecio madagascarensis* y *Polygonum* sp.) (Figura 1b). En los sectores "Occidente 1 y 2", el cinturón de juncales está compuesto únicamente por *J. effusus* y *C. rufus*. En el bosque de la lechuga la cobertura de juncales es baja y el cuerpo de agua está rodeado por plantaciones mixtas de Cipreses (*Cupressus* sp.), Pinos (*Pinus* sp.), Eucaliptos (*Eucalyptus* sp.) y Sauces (*Salix humboldtiana*) (Figura 1b). Sin embargo, mantiene condiciones apropiadas para *G. m. bogotensis* asociadas principalmente a la presencia de vegetación acuática (*E. crassipes*, *H. ranunculoides*, *A. filiculoides*). A su vez, la presencia de vegetación flotante (*Eichornia crassipes* y *Limnobium laevigatum*, *Lemna gibba*, *Azolla filiculoides*) varía constantemente en los sectores "Occidente 1 y 2" de acuerdo a las variaciones en el nivel del agua por la estacionalidad de las lluvias. Esto favorece la formación de praderas emergentes de *Polygonum* sp., *Hydrocotyle* sp invadidas ocasionalmente con pasto kikuyo (*K. clandestina*). De tal manera que el humedal de Guaymaral le ofrece a *G. m. bogotensis* un mosaico de hábitats para realizar actividades de descanso, limpieza, movimiento, alimentación e interacción social. Los juncales a su vez conforman un hábitat apropiado que ofrece refugio y zonas de anidación para *G. m. bogotensis* (Botero-Delgado *et al.* 2006).

Estos resultados coinciden con las observaciones realizadas por De Las Casas *et al.* (2005) y Zuluaga-Bonilla (2007) en humedales artificiales tales como gravilleras, que se han convertido en áreas importantes que proveen hábitat disponible para *Rallus semiplumbeus*, *Gallinula melanops*, *Oxyura jamaicensis*, entre otras especies de aves acuáticas. Es decir, que aún cuando el área del humedal Guaymaral se ha visto reducido sustancialmente por los rellenos de terreno a su alrededor, la existencia de los estanques artificiales en los sectores "Occidente 1 y 2" ha favorecido la presencia de *G. m. bogotensis*. Sin embargo, la supervivencia de esta población radica, igualmente, en la cercanía del humedal propiamente dicho con un cinturón de juncales definido que favorece la anidación exitosa. Los lagos artificiales, aunque son una opción para el desarrollo de la población, presentan una limitante al estar ausente la cobertura vegetal apropiada alrededor de los lugares de anidación. Por tal razón la población de *G. m. bogotensis* está más expuesta a la depredación, en especial por ratas (*Rattus* sp), tal como ha sido documentado para *Gallinula chloropus* en ambientes artificiales (Forman & Brain, 2004).

El seguimiento de la población de *G. m. bogotensis* permitió establecer cinco categorías divididas en 27 unidades

comportamentales (Tabla 1). Principalmente, individuos de todas las edades se observaron forrajeando en los sectores "Bosque de la lechuga", "Occidente 1 y 2". Durante el forrajeo, los individuos se desplazaban sobre la vegetación flotante, picoteando las hojas y la raíz de *E. crassipes*, *L. laevigatum*, *L. gibba* y *A. filiculoides*. Esta actividad también se observó relacionada con las asociaciones vegetales (*H. ranunculoides*, *Juncus* sp. y *Polygonum* sp) lo que sugiere que incluyen en su alimentación bien sea otras partes vegetativas tales como semillas o pequeños artrópodos asociados a la vegetación de borde.

Durante la anidación y posterior incubación, Becerra *et al.* (2005) observaron que la pareja mantiene relevos de 15 a 25 minutos, vadeando en un pequeño espejo de agua, cubierto con vegetación flotante fina, principalmente, Lenteja de Agua (*Lemna* sp.), consumiendo, especialmente, las hojas de esta planta. En el humedal Guaymaral el desplazamiento ya sea vadeando o nadando entre las praderas emergentes es una actividad que se observó asociada tanto a *E. crassipes* y a otras plantas como *Hydrocotyle* sp., *Polygonum* sp. y *K. clandestina*. Si bien los estudios desarrollados por Becerra *et al.* (2004) reportan a *G. m. bogotensis* consumiendo pasto Kikuyo, en el humedal Guaymaral la especie utiliza este tipo de vegetación en el sector "Occidente 3" solo para descansar y en el sector "Occidente 1" para acicalarse. Las vocalizaciones fueron más frecuentes en zonas cubiertas con junco (*S. californicus*) donde la mayoría de los sonidos se produjeron como respuesta a la presencia del observador al acercarse a la zona.

Las frecuencias obtenidas para las diferentes categorías comportamentales en este estudio indican un uso diferencial de acuerdo a la cobertura vegetal (Tabla 1). Esto corrobora lo expuesto por Estela *et al.* (2003), quienes observaron que las zonas de vegetación flotante son utilizadas como sitio de descanso y alimentación por las especies de la familia Rallidae, especialmente donde hay presencia de lenteja de agua (*L. gibba*), lirio de agua (*E. crassipes*) y buchón cucharita (*L. laevigatum*); mientras tanto, la franja de juncos suele ser empleada por las aves para la anidación o como refugio (ABO, 2000). Las observaciones del comportamiento de *G. m. bogotensis* permitieron identificar a su vez un acentuado uso de los sectores que mantienen vegetación flotante, mientras que los juncales, la ronda y las asociaciones vegetales registraron menor abundancia en todos los sectores estudiados (Figura 5). Estudios realizados en un complejo de humedales en el valle de Ubaté (Cundinamarca), registraron que la especie prefiere el hábitat de vegetación flotante con asociaciones de *Bidens laevis*, *L. laevigatum*, *H. ranunculoides*, y *Myriophyllum platinooides*, o en áreas con espejos de agua bien diferenciados pero con presencia de *Egeria densa*, *A. filiculoides*, *E. crassipes*

Tabla 1. Categorías comportamentales (CC) y Unidades Comportamentales (UC) de *G. m. bogotensis* en el humedal Guaymaral.

CC	UC	FRECUENCIA/HORA/HÁBITAT					
		Flotante	Praderas emergentes	Juncales	Ronda	Asociaciones	Espejo de agua
Movimiento	Nadar con movimiento de cuello	18,47	3,72	0,56	0,74	0,84	10,79
	Nadar sin movimiento de cuello						
	Caminar en la tierra						
	Caminar sobre la vegetación flotante						
	Sumergirse						
	Saltar al agua						
Limpieza	Limpia con el pico la espalda	2,93	0,93	0,23	0,28	0,00	0,00
	Limpia con el pico las alas						
	Limpia con el pico el pecho						
	Limpia las patas con el pico						
	Baño						
	Rasca la cabeza con la pata						
Descanso	Vigilancia	1,02	0,19	0,09	0,23	0,00	0,00
	Descansar						
	Desperezarse						
Alimentación	Picoteo en agua y en tierra	27,26	1,49	0,28	0,14	0,84	0,00
	Beber agua						
	Captura del alimento						
Vocalización	Canto territorial	0,93	0,74	1,26	0,00	0,05	0,09
	Canto						
	Vocaliza y corre						
	Canta y sacude						

(IAvH & Fundación Humedales, 2004). El uso diferencial de la vegetación acuática presente en el hábitat igualmente se refleja en la elaboración de los nidos, para los cuales *G. m. bogotensis* utiliza principalmente la Gualola (*Polygonum segetum*) como base y techo y la Hierba de sapo (*Polygonum*

hidropiperoides), la Sombrillita de agua (*H. ranunculoides*), el Junco (*S. californicus*) y el Kikuyo para entretejer el nido a manera de canasta (Becerra *et al.* 2005).

La presencia permanente de *G. m. bogotensis* en el humedal

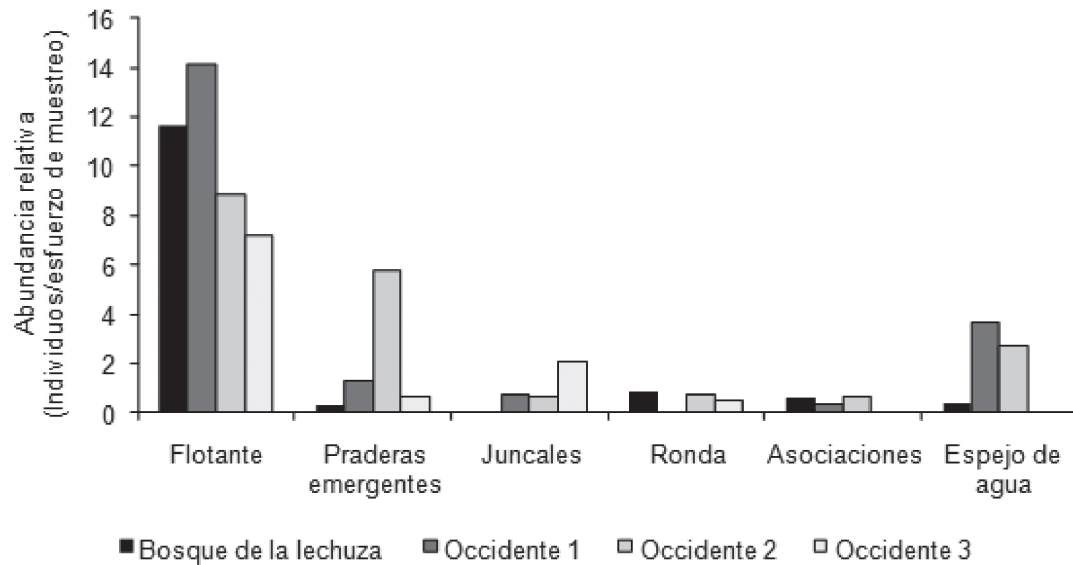


Figura 5. Proporción de uso de las coberturas vegetales presentes en los diferentes sectores del humedal Guaymaral por parte de *G. m. bogotensis* entre 2008 y 2010. Flotante = *E. crassipes*; *L. laevigatum*; Asociaciones = *L. laevigatum* - *H. ranunculoides*; *L. laevigatum* - *Polygonum* sp.; *L. laevigatum* - Ciperaceae; *L. laevigatum* - *Juncus* sp.; Pradera emergente = *Polygonum* sp.; *H. ranunculoides* Ronda = *Kikuyuochloa clandestina*; *H. bonplandii*; Juncal = *S. californicus*; *T. angustifolia*; *J. effusus*.

Guaymaral corrobora que la especie puede adaptarse a los efectos de la actividad humana, siempre y cuando subsistan zonas con juncuales que favorezcan la anidación (CIC & EAAB 2000; Rueda-C *et al.* 2005). Sin embargo, la perturbación sostenida también produce cambios conductuales afectando el éxito reproductivo, tiempo de alimentación o la tolerancia a la presencia humana (Kusch *et al.* 2008). Por tal razón, es recomendable evitar la pérdida continua de la vegetación original en el humedal Guaymaral y mejorar las condiciones de hábitat a través de la restauración ecológica en los cuerpos de agua artificiales.

Conflicto de intereses: Hacemos constar que el manuscrito fue revisado y preparado por los autores quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por Zoological Society for the Protection of Species and Populations (ZGAP), el Programa Jóvenes Investigadores e Innovadores COLCIENCIAS y la U.D.C.A.

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACION BOGOTANA DE ORNITOLOGIA (ABO). 2000. Aves de la Sabana de Bogotá – Guía de campo. ABO-CAR, Bogotá, Colombia. 276p.
- ARZUZA, D.E.; MORENO, M.I.; SALAMAN, P. 2008. Conservación de las aves acuáticas en Colombia. *Conservación Colombiana*. 6:1-72.
- BECERRA, L.F.; PATIÑO, M.; BENITEZ, H. 2004. Humedales bogotanos: ecosistemas, biodiversidad y conservación. *Rev. Cient. U. Distrital Francisco José de Caldas*. 6:37-41.
- BECERRA, L.F.; BENITES, H.D.; CELI, J.E.; PATIÑO, L. 2004a. Reproducción, alimentación y comportamiento de la polla sabanera *Gallinula melanops bogotensis* en tres humedales de la Sabana de Bogotá. Disponible desde Internet en: <http://www.ornitologiacolombiana.org/MemoriasICOC/posters/becerraetal.htm> (con acceso el 24/01/11).
- BECERRA, L.F.; BENITES, H.D.; CELY, J.E.; PATIÑO, L. 2005. Notas sobre la anidación no exitosa de la Tingua Moteada (*Gallinula melanops*) en un canal artificial del humedal Jaboque, Bogotá. *Boletín SAO*. 15(1):29-38.
- BECERRA G., L.F.; CELY-FAJARDO, J. 2007. Análisis genético poblacional y de endogamia para *Gallinula melanops*, (Aves: Rallidae) en poblaciones de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. *Mem.*

- 2º Congreso Colombiano de Ornitología, U.N. Colombia, Bogotá, 75p.
7. BIBBY, C.; JONES, M.; MARSDEN, S. 1998. Expedition Field Techniques Bird Surveys. Expedition Advisory Centre Royal Geographical Society, London, 143p.
 8. BORRERO, J.I. 1956. Apuntes sobre aves colombianas. Lozanía (Acta Zoológica Colombiana) 3:1-12.
 9. BOTERO-DELGADILLO, E.; AGUILERA-GONZÁLEZ, A.M.; VERHELST, J.C. 2006. Abundancia, riqueza y diversidad de la avifauna presente en la Estación Experimental de la Facultad de Ciencias de la Universidad Militar Nueva Granada (Cajicá, Colombia). Rev. Fac. Cienc. Bás. 2(1):165-175.
 10. CADENA, C.D. 2002. *Gallinula melanops*. In: Rengifo L.M.; Franco-Maya, A.M.; Amaya-Espinell, J.D.; Kattan, G.; López-Lanus, B. (eds.). Libro rojo de Aves de Colombia. Serie Libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia. p.173-177.
 11. CIFUENTES, Y.; CASTILLO-CORTÉS, L.F. 2009. Colombia: informe anual. Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2008. En: Unterkofler D.A.; Blanco, D.E. (eds.): El Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2008; Una herramienta para la conservación. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina. Disponible desde internet en <http://lac.wetlands.org/> (con acceso 26/01/11).
 12. CONSERVACIÓN INTERNACIONAL COLOMBIA (CIC); Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). 2000. Protocolo General de Revegetalización en los Humedales Bogotanos. Bogotá, Colombia. 80p.
 13. CONSERVACIÓN INTERNACIONAL COLOMBIA (CIC). 2003. Fichas resumen sobre el estado actual de los humedales de Bogotá. En: Los humedales de Bogotá y la sabana. Tomo 2. Acueducto de Bogotá – Colombia. p.250-272.
 14. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, DAMA. 2006. Política de humedales del Distrito Capital. Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá, D. C., Colombia. 73p.
 15. DE LAS CASAS, J.C.; DEVENISH, C.; RUIZ, J.M.; GALLEGU, N.I.; VALENCIA, I.D. 2005. Conservación de las gravilleras del valle del río Siecha. Asociación Bogotana de Ornitología – ABO, 74p.
 16. ESTELA, F.A.; HERNÁNDEZ-CORREDOR, C.E.; FALK-FERNÁNDEZ, P.E.; CHÁVES, P. 2003. Caracterización ambiental preliminar de los humedales de la cuenca del Rio Cauca, Departamento del Cauca. Asociación Calidris. Cali, Colombia. 35p
 17. FORMAN, D.W.; BRAIN, P.F. 2004. Reproductive strategies used by moorhens (*Gallinula chloropus*) colonizing an artificial wetland habitat in south Wales. J. Nat. Hist. 38:389-401.
 18. FRANCO, A.M.; BRAVO, G. 2005. Áreas Importantes para la Conservación de Aves en Colombia. In: BirdLife International y Conservación Internacional. Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en los Andes Tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. BirdLife Ecuador, BirdLife International (Serie de Conservación de BirdLife). 14:117-281.
 19. GUARNIZO, A.; CALVACHI, B. 2004. Los humedales de Bogotá y la Sabana. Tomos I y II Publicación del acueducto de Bogotá y Conservación Internacional Colombia. 262p.
 20. HERNÁNDEZ, S.; ANDRADE, G. 2006. Biodiversidad, introducción a su conocimiento, conservación y manejo sostenible en las lagunas de Fúquene, Cucunubá y Palacio. Valle de Ubaté. Colombia. Fundación Humedales Serie Divulgación Técnica. 3:1-32.
 21. HILTY, S.L.; BROWN, W.L. 1986. A guide to the birds of Colombia. Princeton University Press. Princeton, New Jersey. USA. 410p.
 22. HUTT, S.J.; HUTT, C. 1970. Direct observation and measurement of behavior. Charles C. Thomas Springfield, IL. 224p.
 23. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT (IAvH); FUNDACIÓN HUMEDALES. 2004. Caracterización biofísica, ecológica y sociocultural del complejo de humedales del Valle de Ubaté: Fúquene, Cucunubá y Palacio. 214p.
 24. KUSCH, A.; CÁRCAMO, J.; GÓMEZ, H. 2008. Aves acuáticas en el humedal urbano de Tres Puentes, Punta Arenas (53° S), Chile austral. Anales Instituto Patagonia (Chile). 36(2):45-51.

25. LEHNER, P. 1996. Handbook of ethological methods, Cambridge University Press. 671p.
26. LOZANO, I.E. 1992. La tingua de los pantanos. *Ecologica*. 3(13):20-21.
27. MATA LLANA, E.; CÁRDENAS, C.; BORRERO, I.; VANEGAS, C. 2004. Atlas Ambiental Localidad 11, Suba, Unidad de Gestión Ambiental, Alcaldía Local de Suba. 112p.
28. MOSTACEDO, B.; FREDERICKSEN, T.S. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en Ecología vegetal. Proyecto de manejo forestal sostenible, BOLFOR, Santa Cruz, Bolivia. 92p.
29. OSBAHR, K.; GÓMEZ, N. 2006. Uso de hábitat de la avifauna en el humedal Guaymaral (Cundinamarca). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cien.* 9(2):157-168.
30. OSBAHR, K.; HERNÁNDEZ-SCHMIDT, M. 2006. Caracterización florística de un fragmento del humedal Torca - Guaymaral (Bogotá-Cundinamarca). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cien.* 9(1):52-63
31. OSBAHR, K.; WÜST, R. 2009. Das seltene Bogotá-Maskenpfehlhuhn (*Gallinula melanops bogotensis*). *ZGAP Mitteilungen*. 25(2):6-8.
32. RALPH, C.J.; GEUPEL, G.R.; PYLE, P.; MARTIN, T.E.; DESANTE, D.F.; BORJA, M. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46p.
33. RENJIFO, L.M. 1998. Especies de aves amenazadas y casi amenazadas de extinción en Colombia. In: Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia. Tomo 1: Diversidad biológica. Chávez, M.E.; Arango, N. (Eds.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia. p.416-426.
34. RESTALL, R.; RODNER, C.; LENTINO, M. 2007. Birds of Northern South America: Species accounts. Yale University Press. 880p.
35. RUEDA-C, L.E.; ZERDA-O, E.; DEL VALLE-U, C.M.; HERNÁNDEZ-B, V. 2005. Uso de hábitat de la avifauna del humedal Jaboque, localidad de Engativá, Bogotá, D.C., Colombia. Convenio investigación aplicada en restauración en el humedal de Jaboque, Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional, Bogotá. 32p.
36. SCOTT, D.A.; CARBONELL, M. 1986. Inventario de Humedales de la Región Neotropical. International Waterfowl Research Bureau (IWRB) Slimbridge, UICN, Cambridge, UK. 95p.
37. STILES, F.G. 1998. Las aves endémicas de Colombia. In: Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia. Tomo 1: Diversidad biológica. Chávez, M.E.; Arango, N. (Eds.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia. p.378-385, 428-432.
38. VARTY, N.J.; ADAMS, J.; ESPIN, P.; HANBLER, C. 1986. An ornithological survey of Lake Tota, Colombia. International Council for Bird Preservation (Study Report 12), Cambridge, UK. 87p.
39. VAN DER HAMMEN, T.; STILES, F.G.; ROSSELLI, L.; CHISACÁ HURTADO, M.L.; CAMARGO PONCE DE LEÓN, G.; GUILLOT MONROY, G.; USECHE SALVADOR, Y.; RIVERA OSPINA, D. 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, 300p.
40. ZAR, J.H. 1999. Biostatistical analysis. 4th Edition. Prentice Hall Inc. New Jersey. U.S.A. 663p.
41. ZULUAGA-BONILLA, J.E. 2007. Registros de reproducción de *Gallinula melanops bogotensis* en un lago artificial. Finca "El Capitolio". Tunja, Boyacá. Mem. 2º Congreso Colombiano de Ornitología, U.N. de Colombia, Bogotá, 75p.

Recibido: Marzo 8 de 2011

Aceptado: Mayo 4 de 2011

LA DINÁMICA SOCIAL EN LA DEFINICIÓN DEL ESPACIO RURAL

THE SOCIAL DYNAMIC IN THE DEFINITION OF THE RURAL SPACE

Wilson González¹

¹Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Docente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ingeniería Agronómica. Tunja, Boyacá, Colombia. wilson.gonzalez@uptc.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 93 - 99, 2011

RESUMEN

La dinámica del espacio rural obliga a una redefinición del acervo conceptual propio para su interpretación. En este sentido, el concepto de territorio trasciende los tradicionales encuadres políticos, para atender las construcciones sociales vinculadas a dicho espacio. El presente documento resultó de la construcción teórica para el desarrollo del proyecto de investigación titulado “La nueva ruralidad en el quehacer académico de los estudiantes de Ingeniería Agronómica: ¿una necesidad en el actual modelo educativo?”, realizado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC, con sede en el municipio de Tunja, Colombia). El razonamiento deductivo inició con el análisis de los principios del enfoque territorial para concentrarse en la definición del espacio rural, desde los vínculos de los actores que lo acompañan. El razonamiento destaca la importancia de los vínculos sociales en la definición del territorio y propone la necesidad de la incorporación de la dinámica socio temporal, para la interpretación del espacio rural.

Palabras clave: Espacio rural, territorio, contexto, dinámica social, interacción social, nueva ruralidad.

SUMMARY

The dynamics of the rural space, forces a new definition of the peculiar conceptual estate for its interpretation. In this sense, the concept of territory extends beyond the traditional political limits in order to meet their social constructions. This document results from the theory construction for the development of the research project: “The new rurality in the academic task of agricultural engineering students: a necessity in the current educational model?” carried out at

the Pedagogical and Technological University of Colombia, (UPTC, located at Tunja, Colombia. Deductive reasoning started with the analysis of the origin of the territorial approach to concentrate in the definition of the rural space, beginning with the participating actors association. The reasoning emphasizes the importance of the social links within the definition of territory and proposed the necessity of the incorporation of the social temporal dynamic for the interpretation of the rural space.

Key words: Rural space, territory, context, social dynamic, social interaction, new rurality.

Consideraciones iniciales

La existencia de múltiples condicionantes en la “esfera rural latinoamericana” ha generado un espacio particular, cuya especificidad y dinámica lo distancia de las interpretaciones, “convencionalmente aceptadas”, por la sociología rural referidas al territorio, donde las distinciones entre lo rural y lo urbano constituyen su andamiaje conceptual (Hillyard, 2007). En la actualidad, los esfuerzos conceptuales por interpretar la dinámica del espacio rural suponen una atenta revisión de las relaciones ocurrentes, entre la población vinculada a dicho ámbito y su entorno.

La necesidad de rebasar el enfoque sectorial de lo rural y lo urbano ha permitido soportar propuestas fundamentadas en un análisis detenido de lo que involucra la relación entre estos dos ámbitos y, consecuentemente, conllevado al estudio de sus distintos procesos de articulación (González & Álvarez, 2008).

En este sentido, han surgido enfoques teóricos, tales como el de la multifuncionalidad rural y la nueva ruralidad, como

respuesta a una interpretación de la dinámica del espacio rural en América Latina y la Unión Europea, respectivamente, y cuyo radio de acción constituye el análisis de la dinámica rural, en un contexto privilegiado por la maraña de relaciones, producto de su inevitable inserción al escenario globalizante (Llambi, 2004).

Es importante precisar que los distintos escenarios admiten la especificidad del enfoque en función de las características inherentes a cada contexto. En este sentido, si bien es cierto, la Multi - Funcionalidad de la Agricultura (MFA) y la Nueva Ruralidad coinciden en la necesidad de trabajar los fundamentos, que permitan redefinir las políticas rurales: la primera, da relevancia al estudio del mercado y su capacidad para regular la agricultura, mientras que la Nueva Ruralidad intenta explicar el proceso de correlación entre las actividades vinculadas al espacio rural y su inserción en la liberalización comercial (Bonnal *et al.* 2004).

El presente artículo indaga sobre los condicionantes que determinan la redefinición del espacio rural, así como sus implicaciones para la ingeniería agronómica. La reflexión soportó la etapa descriptiva del proyecto titulado "La nueva ruralidad en el que hacer académico de los estudiantes de Ingeniería Agronómica: ¿una necesidad en el actual modelo educativo?, realizado en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), con sede en el municipio de Tunja, Colombia. Para su elaboración, se siguió el método deductivo de investigación, en el cual, a partir de los fundamentos del enfoque territorial con relación a la definición del espacio rural, se concentró el análisis en la explicación de las relaciones entre lo rural y lo urbano, para finalizar con el capital social, como fundamento de dichas correspondencias. El bagaje teórico para la reflexión incluyó las apreciaciones conceptuales propias de la Nueva Ruralidad, haciendo énfasis en las concepciones ideológicas de autores latinoamericanos.

¿Un espacio rural?

La capacidad de interacción entre el ser humano y su entorno determina, no solo su quehacer diario sino, muy especialmente, moldea su espacio de acción. Esta consideración toma singular importancia a la luz del proceso de definición del espacio rural.

De acuerdo con Rojas (2008), el acervo cultural estipula la diferenciación particular de los diversos lugares, en función de las interrelaciones existentes en dichos espacios, quienes, a su vez, moldean las representaciones culturales que los caracterizan.

Las ideas expuestas permiten inferir que la visión de territorio escapa los "tradicionales" encuadres políticos, que delimitan

las regiones y se concentra en las especificidades socio-culturales, características de una población y que resultan de su acervo colectivo.

Schejtman & Berdegué (2004) indican que el territorio no es un espacio físico, objetivamente existente, sino una construcción social, es decir, un conjunto de relaciones sociales que dan origen y, a la vez, expresan una identidad y un sentido de propósito compartido por múltiples agentes públicos y privados.

La peculiaridad del territorio, como función del quehacer del colectivo vinculante, se traduce en el trasegar de los distintos actores por las dimensiones resultantes de su actividad, como miembros de una sociedad. La figura 1 ayuda a comprender este fenómeno. Nótese que los factores internos (endógenos) y externos influyen en el quehacer de los actores en las distintas dimensiones (social, política, económica, ambiental).

Se puede deducir que el rasgo territorial es determinado, tanto por la confluencia interna, propia de la interacción poblacional, como por la concurrencia de los factores "externos", que intervienen en un espacio.

Con este corolario, se debe admitir que el análisis del espacio rural parte por reconocer, tanto las relaciones endógenas como las externas, que suceden en los distintos ámbitos propios del quehacer de sus habitantes. Desde esta perspectiva, una explicación de cambios en lo rural obedece a un viraje en la naturaleza y en la dinámica de las interacciones de sus habitantes.

El enfoque territorial

Las líneas anteriores permitirían sugerir que un espacio de confluencia de relaciones entre los participantes en los distintos ámbitos puede soportar los pilares para la construcción de una concepción de territorio. Esta última acepción ha sido utilizada por enfoques, como el Desarrollo Rural territorial, como sustento fundamental de su estrategia de desarrollo rural. En este sentido, el territorio implica una cimentación social, que se distancia de los límites políticos o económicos. Así, los procesos de desarrollo rural se asientan en un espacio particular, definido por las relaciones establecidas entre los agentes que lo conforman y su entorno inmediato.

El bagaje teórico contenido en los postulados del Desarrollo Económico Local y del capital social direccionan el enfoque territorial rural y los principios que lo fundamentan: innovación, relación rural - urbana e institucionalidad y capital social (Ruiz & Delgado, 2008).

Es importante precisar que en este estado del documento solo se ha discutido sobre la noción de territorio utilizada

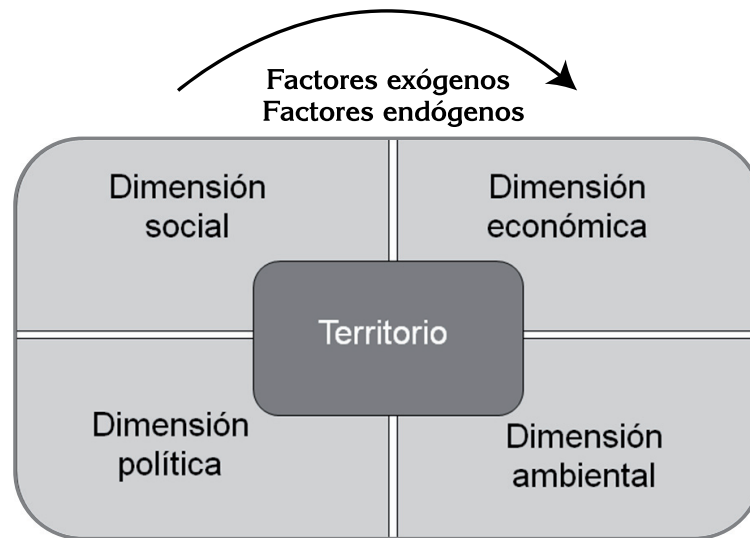


Figura 1. Territorio como construcción social.

en el enfoque del Desarrollo Territorial Rural. Esta situación, no omite que dicha definición es inherente a la estrategia de desarrollo, que promueve “un proceso de transformación productiva e institucional en un espacio rural determinado, cuyo fin es reducir la pobreza rural” (Schejtman & Berdegúe, 2004).

De la misma manera, dicho enfoque demanda la denominada “governancia”, entendida como “un proceso abierto de coordinación económica, social y política entre una multiplicidad de actores e intereses (públicos y privados) que intervienen en territorios rurales” (Gorenstein *et al.* 2007).

El enfoque territorial intenta aproximarse al espacio rural con el estudio de la dinámica resultante de las relaciones inherentes a su entorno. Consecuentemente, para dicho acercamiento, el vínculo rural – urbano adquiere una singular importancia, si se tiene en cuenta, que es, precisamente, el que configura el territorio.

Antes de avanzar, conviene puntualizar que el estudio de las articulaciones inherentes a los ámbitos: rural – urbano debe tener en cuenta que las relaciones que allí suceden son fruto de la singularidad contenida en estos espacios. La figura 2 permite apreciar que las decisiones tomadas en el quehacer cotidiano de la población (D1 y D2) surgen como consecuencia de las relaciones e interacciones de los espacios rural y urbano y sus vínculos con el escenario globalizante.

El esquema propuesto permite inferir que un territorio se define en función de los lazos que generan los actores participantes en un determinado espacio. De esta manera, circunscribir geográficamente el espacio existente en un

determinado territorio solo tiene sentido, si dicho espacio posee el arraigo de su conjunto poblacional.

López *et al.* (2005) definen el territorio como “un espacio geográfico sobre el cual los grupos humanos (individuos, colectivo de personas, empresas o instituciones) ejercen un dominio y han creado con este vínculos de pertenencia, identidad y apropiación, cargándolo de un significado particular”. El estudio del territorio exige la integración y la comprensión de sus valoraciones multidimensionales que lo caracterizan: políticas, ambientales, culturales, económicas (Pérez, 2004).

Si se tienen en cuenta estas consideraciones es pertinente indagar por los protagonistas de las relaciones que determinan la configuración del territorio.

Las relaciones sociales que confluyen en un territorio, se explican por los vínculos establecidos entre los protagonistas de un espacio y la sincronía organizacional del colectivo inherente a dicho espacio, es decir, en un territorio existen distintos “niveles” de correspondencia social.

La perspectiva teórica del denominado capital social, entendido este último, como “el contenido de ciertas relaciones y estructuras sociales, es decir, las actitudes de confianza que se dan en combinación con conductas de reciprocidad y cooperación” (Durstun, 2002), se convierte en una importante herramienta al considerar la dinámica social en función de la especificidad de las relaciones ocurrientes en un espacio.

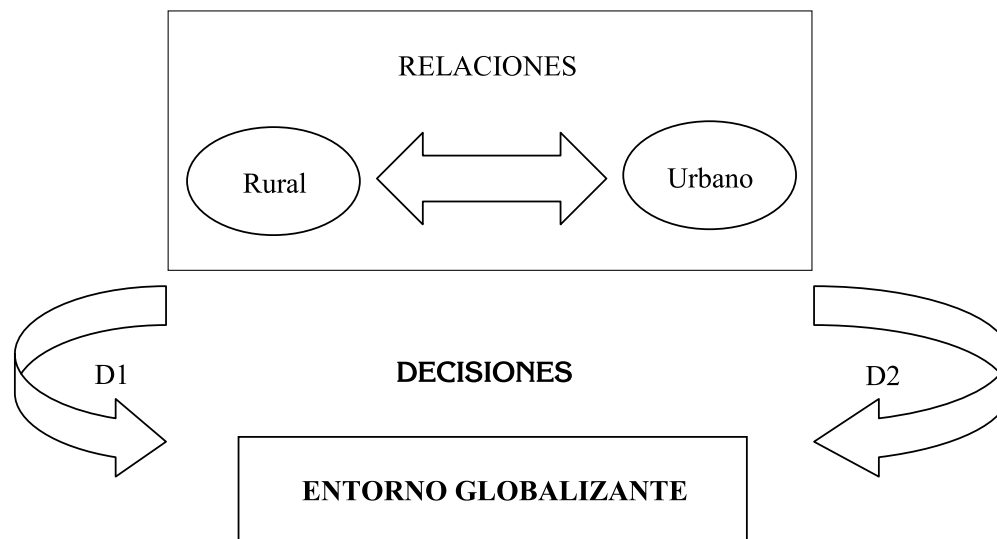


Figura 2. Decisiones en los ámbitos rural y urbano. Fuente: Adaptado de González & Álvarez (2008).

Siguiendo a Woolcok (2000), citado por Pórtela & Neira (2002), el capital social “simplemente es el reflejo de la realidad de los vínculos sociales en los cuales nos apoyamos en las situaciones de incertidumbre, cuando queremos realizar nuestras aspiraciones o cuando queremos lograr objetivos que no conseguiríamos por nosotros mismos”.

Si bien es cierto, la dinámica social, explicada con la concurrencia de las distintas relaciones, se encuentra mediada por mecanismos de autonomía, en los que las acciones colectivas y las directrices normativas propias de sus estructuras organizacionales, tienen una alta injerencia; también lo es, que los niveles de sinergia, generados por el capital social, modifican su dinámica. En esta situación, el ser humano tiene una especial relevancia en función de su disposición a aceptar o las invitaciones del entorno.

El análisis supone que el capital humano, centrado en las habilidades y en las competencias de los individuos (Pórtela & Neira, 2002), define y particulariza las relaciones que se dan en el colectivo (capital social).

Granada (2001) señala la importancia del espacio personal, definido —desde la psicología social— como el entorno que rodea un individuo en el afirmamiento de las distancias personales y los procesos de interacción social.

La descripción de territorio no pretende omitir la acepción de espacio. La espacialidad y la temporalidad son elementos inherentes a la correspondencia social y determinan la dinámica del territorio. Singularizar la dinámica territorial es analizar por la espacialidad y la temporalidad de sus relaciones.

Suponer, entonces, que las relaciones sociales admiten una estrecha correlación con los procesos sociales, cuya temporalidad y espacialidad definen un territorio, parecería ser el hilo conductor del presente ejercicio.

Si se admite que la dinámica del entorno motiva también un acomodamiento de sus actores vinculantes, en función de particulares estrategias de adaptación, se puede comprender, entonces, que los procesos sociales corresponden a dinámicas evolutivas.

Desde una óptica económica, el paradigma evolutivo, denominado “sociomática”, intenta modelar los fenómenos socio-económicos en función de su adaptación al entorno (Castañeda, 2009).

De acuerdo con lo anterior, las características del capital social, fundamento de la correspondencia social, explican la dinámica de los procesos sociales, que se configuran en un tiempo y en un espacio determinado.

Diferentes ruralidades y distintos procesos de desarrollo

Hemos llegado a saber que todo individuo vive, de una generación a otra, en una sociedad, que vive una biografía y que la vive dentro de una sucesión histórica (Mills, 1995).

Cada momento y lugar adquieren una particularidad en función de la dinámica, resultante de la articulación de las actuaciones de la población vinculante. Si bien es cierto, los

objetos naturales (dones del espacio geográfico) provienen directamente de la naturaleza, las prácticas humanas relacionadas con ellos las incorporan y las apropian teniendo en cuenta las intencionalidades y las acciones sociales (Montañez, citado por López *et al.* 2005).

Al entender que la movilidad de las relaciones es determinante para explicar la concepción de territorio, se puede afirmar que las interpretaciones del espacio rural se acercan a su objeto de estudio, en función de su capacidad, para comprender la dinámica socio temporal existente. En este sentido, distintas ruralidades explican diferentes territorios.

A la luz del proceso globalizante y la “inevitable” incorporación de los mercados al libre comercio, con la consecuente “homogenización” de las condiciones para la comercialización, la concepción de territorio adquiere una singular importancia, en la medida en que distintos territorios requieren, para su comprensión, la exploración de las relaciones particulares al mismo.

Esta última afirmación se refiere, en particular, a la disponibilidad de información por parte de los actores en los flujos de mercadeo. La particularidad de los nichos, así como la renta diferencial y consecuentemente, la especificidad de perfiles de consumidores, no es desconocida.

La competitividad, como referente del proceso globalizante y definida como “la capacidad de una organización económica (empresa, eslabón o cadena productiva) para mantener, conquistar o ampliar un participación en el mercado, incluido el interno, de una manera rentable que permita su crecimiento y sea sostenible en el largo plazo” (Espinal & Martínez, 2005) y la apertura mercantil, suponen también

una adaptabilidad de las regiones en función de su aptitud y, consecuentemente, de sus ventajas competitivas.

(Un análisis del concepto, desde la óptica territorial, obliga a responder ciertos cuestionamientos:

La rentabilidad, como elemento fundamental de la competitividad ¿es diferencial?, y si lo es ¿cómo concebir unos indicadores homogéneos para cuantificar el crecimiento y la sostenibilidad?

Los territorios como espacios reveladores de la dinámica social presentan diversas características en función de su capital social. Los vínculos de confianza, de reciprocidad y de cooperación operan en un contexto determinado por los recursos naturales y las elaboraciones sociales, propias de un espacio. En este sentido, los procesos de decisión de los actores, así como las racionalidades contenidas en ellos son complejos y no admiten una uniformidad conceptual.

Si bien es cierto, en el contexto rural latinoamericano, existe una “coincidencia” en la tipificación conceptual de los esquemas productivos, a saber: agricultura tradicional, pequeña agricultura empresarial y agricultura propiamente empresarial, diferenciables en razón de sus distintas condiciones económicas y de inserción al mercado (Espinal & Martínez, 2005) (Cuadro 1), que conducen a interpretaciones fraccionadas y a políticas diferenciadas, que también lo es en la práctica, los mecanismos de interacción poblacional, que resultan en la convivencia de innumerables estrategias de supervivencia, que no es posible encasillarlas a una tipología particular. Bajo esta óptica, no solo las economías de escala explican las diferencias en la rentabilidad del sistema

Cuadro 1. Esquemas productivos en Latinoamérica.

Tipo	Característica
Agricultura tradicional	Estructura familiar Baja orientación al mercado Autoconsumo Bajo valor agregado en la producción
Pequeña agricultura empresarial	Tiende al monocultivo Orientación al mercado Precaria organización empresarial
Agricultura empresarial	Estructura empresarial compleja y formal Alto desarrollo tecnológico e inversión Economías de escala

Adaptado de Echeverri (2002).

Los sistemas productivos resultan –en la práctica– del arreglo de distintas estrategias de supervivencia que realizan los individuos en un territorio determinado. De acuerdo con González (2009), una adecuada aproximación al espacio rural debe contener un análisis que trascienda los conceptos meramente económicos y se concentre en el estudio de las interacciones poblacionales en un espacio y, consecuentemente, abrigue los distintos criterios de decisión de sus actores participantes. Igualmente, “las relaciones funcionales entre los espacios urbano-rurales” son uno de los estudios fundamentales para emprender en el proceso de la liberalización económica, sin detrimento de los contextos locales (Pérez, 2004).

En particular, interpretaciones dadas a sectores, tales como la economía campesina, no solo exigen entender la racionalidad de las acciones propias de sus participantes, sino la moralidad de las mismas.

El criterio de decisión de un campesino resulta del cotejo de innumerables variables que buscan optimizar su renta agrícola familiar. En este sentido, su supervivencia se explica –entre otras razones– en términos de la maximización del valor de la producción, incluyendo el autoconsumo o de la minimización de los factores externos a la producción. Las estrategias citadas requieren de un marcado acento de mutualismo social.

González (2009) explica la permanencia de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia, desde esta perspectiva. En este ejercicio, se encontró que la maximización de la renta agrícola familiar se puede relacionar con una disminución del punto de equilibrio, calculado en función de la estructura de costos; dicha situación explica la continuidad de este sistema, aun ante drásticas disminuciones del precio de venta del tubérculo.

Cuestión final

Los aportes anteriormente expuestos permiten sugerir que la interpretación fraccionada de la realidad obedece a razones antropocéntricas que intentan explicar el abordaje de líneas de acción a un determinado componente en el quehacer comunitario; no obstante, la dinámica socio-temporal de los territorios, entendidos como una construcción social, obliga a cuestionar tal segmentación.

Si bien es cierto, caracterizar una población supone un acercamiento a su problemática, también lo es, que diferenciarla en función de usanzas conceptuales, limita dicha aproximación. En particular, interpretar el espacio rural exige una observación permanente de su dinámica

y, consecuentemente, un desarraigo de los paradigmas conceptuales para su definición.

En consecuencia, la redefinición del espacio rural obliga también a repensar sobre las estrategias de intervención. De acuerdo con Rodríguez (2004), la evolución de los paradigmas exige a una co-evolución de las tendencias y modalidades de intervención.

En particular, para la Ingeniería Agronómica, un viraje en su espacio preferente de acción, precisa un cuestionamiento de los pilares, sobre los cuales, descansa su enseñanza. De esta manera, es necesario trascender los enfoques reduccionistas, como las apuestas técnicas a soluciones agrícolas para entender los procesos de cambio sucedidos en una categoría territorial, denominada ruralidad, no ligada a alguna actividad específica (Llambi, 2004). Lo anterior, compromete la inclusión de estudios transdisciplinarios, en los que el dialogo entre las “ciencias exactas” y las “ciencias sociales” sea el fundamento para comprender la valoración multidimensional de territorio.

BIBLIOGRAFÍA

1. BONNAL, P.; BOSC, P.; DÍAZ, J.; LOSCH, B. 2004. Multifuncionalidad de la agricultura y nueva ruralidad. En: Pérez, E.; Farah, M. Compiladoras. Desarrollo Rural y Nueva Ruralidad en América Latina y la Unión Europea. Pontificia Universidad Javeriana. Ed. Javegraf. (Bogotá). p.19-41.
2. CASTAÑEDA, G. 2009. “Sociomática”: El estudio de los sistemas adaptables complejos en el entorno socioeconómico. *El Trimestre Económico*. (México). 76(1):5-60.
3. DURSTON, J. 2002. El capital social. En: CEPAL. El capital social campesino en la gestión del desarrollo rural. (Santiago de Chile). p.15-42.
4. ECHEVERRI, R. 2002. El territorio y la economía de los Recursos naturales. En: IICA. Nueva Ruralidad Visión del territorio en América Latina y el Caribe. (Costa Rica). p.83-101.
5. ESPINAL, C.; MARTÍNEZ, H. 2005. La competitividad de las cadenas agroproductivas en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Colombia). 940p.
6. GONZÁLEZ, W. 2009. Educación y entorno en la Ingeniería Agronómica: un encuentro entre la academia y su contexto. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (Colombia). 53p.

7. GONZÁLEZ, W.; ÁLVAREZ, J. 2008. La nueva ruralidad en el quehacer académico de la ingeniería agronómica. *Revista Ciencia y Agricultura*. (Colombia). 6(1):35-40.
8. GORENSTEIN, S.; NAPAL, M.; OLEA, M. 2007. Territorios agrarios y realidades rururbanas. Reflexiones sobre el desarrollo rural a partir del caso pampeano bonaerense. *Revista Eure*. (Chile). 33(100):91-113.
9. GRANADA, H. 2001. El ambiente social. *Revista Investigación y Desarrollo*. (Colombia). 9(1):388-407.
10. HILLYARD, S. 2007. *Sociology of Rural Life*. Berg Publishers. (USA). 186p.
11. LLAMBI, L. 2004. Nueva ruralidad, multifuncionalidad de los espacios rurales y desarrollo local Endógeno. En: Pérez, E.; Farah, M. compiladoras. *Desarrollo Rural y Nueva Ruralidad en América Latina y la Unión Europea*. Pontificia Universidad Javeriana. Ed. Javegraf. (Bogotá). p.91-100.
12. LLAMBI, L. 2004. La enseñanza del desarrollo rural con enfoque territorial en América Latina. En: Pérez, E. compiladora. *La enseñanza del Desarrollo Rural: enfoques y perspectivas*. Pontificia Universidad Javeriana. Ed. Javegraf. (Bogotá). p.163-179.
13. LÓPEZ, J.; DELGADO, D.; VINASCO, L. 2005. La interfase urbano rural como territorio y espacio para la sostenibilidad ambiental. *Revista Ingenierías*. (Colombia). 4(7):29-41.
14. MILLS, W. 1995. *La imaginación sociológica*. Fondo de Cultura Económica. (México). 236p.
15. PÉREZ, M. 2004. Valoraciones conceptuales y énfasis de la planificación en la formación de gestores. En: Pérez, E. compiladora. *La enseñanza del Desarrollo Rural: enfoques y perspectivas*. Pontificia Universidad Javeriana. Ed. Javegraf. (Bogotá). p.223-252.
16. PÓRTELA, M.; NEIRA, I. 2002. Capital social: concepto y estudio econométrico sobre el capital social en España. *Revista Estudios económicos de desarrollo internacional*. (España). 2(2):25-52.
17. RODRÍGUEZ, R. 2004. El espacio rural como paradigma teórico. En: Pérez, E.; Rodríguez, R. coord. *Espacios y desarrollos Rurales: una visión múltiple desde Europa y Latinoamérica*. Trea. (España). p.9-21.
18. ROJAS, J. 2008. La agenda territorial del desarrollo rural en América Latina. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. (96). Disponible desde internet en: <http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/la/> (con acceso 02/02/10).
19. RUIZ, N.; DELGADO, J. 2008. Territorio y nuevas ruralidades: un recorrido teórico sobre las transformaciones de la relación: campo-ciudad. *Revista Eure*. (Chile). 34(102):77-95.
20. SCHEJTMAN, A.; BERDEGÚE, J.A. 2004. *Desarrollo territorial rural*. Documento FIDA-BID. (Chile). 53p.

Recibido: Julio 28 de 2010

Aceptado: Marzo 24 de 2011

EL BIENESTAR UNIVERSITARIO SUBORDINADO A UNA MODERNIDAD INSTRUMENTAL

THE UNIVERSITY WELFARE SUBORDINATED TO AN INSTRUMENTAL MODERNITY

Luis Felipe Contecha Carrillo¹, Luis Guillermo Jaramillo Echeverri²

¹ Doctor en Ciencias de la Educación. Área Currículo. Profesor Asociado de la Universidad del Tolima, Cra. 49 sur No. 119A-108. Ibagué, Tolima Colombia lfcontecha@iered.org. ² Doctor en Ciencias Humanas y Sociales-Educación. Profesor Titular de la Universidad del Cauca, Cra. 3ra. No. 3N-100, Antiguo Liceo. Universidad del Cauca. ljaramillo@unicauca.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 101 - 109, 2011

RESUMEN

El presente escrito es una parte de la tesis doctoral *Los Sentidos del Bienestar Universitario: más allá de un servicio asistencial*. El estudio, permitió comprender, en primera instancia, cómo la Universidad está sumida a patrones de razón instrumental que subordinan el Bienestar Universitario a simple servicio asistencial; en segundo lugar y derivado de lo anterior, al Bienestar Universitario le asiste una mirada utilitarista que se justifica a sí misma como un bien material y, finalmente, frente a esta mirada cosificante de Bienestar, emerge una visión crítica, en especial, por parte de los estudiantes, de concebir el Bienestar Universitario como realización humana, lo cual, va en contravía de principios kantianos de una minoría de edad y un asistencialismo material.

Palabras clave: Vida universitaria, sentidos de bienestar universitario, servicio asistencial.

SUMMARY

This paper is a part of the doctoral thesis "The Senses of the University Welfare: beyond a welfare service". The study allowed to understand, first, how the University is plunged into patterns of instrumental reasoning, that subordinate the University Welfare to a simple welfare service; secondly and derived from the previous aspect, it was possible to understand how the University Welfare is ruled by a utilitarian look, that justifies itself as a material good; and thirdly, opposite to this objectifying look of Welfare, it emerges the critical vision, especially, on the part of the students, of

assuming the University Welfare as human accomplishment, which goes in opposite direction to Kantian principles of dependency and material assistance.

Key words: University life, senses of the university welfare, assistance service.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo, se fundamenta en la Tesis Doctoral "Los Sentidos del Bienestar Universitario: Más allá de un Servicio Asistencial". En ella, se da cuenta de los sentidos que del Bienestar Universitario (BU) tienen los administrativos, los docentes, los funcionarios de las oficinas del bienestar y los estudiantes de tres universidades de la Red de Universidades del Doctorado en Educación en Colombia RUDECOLOMBIA. Para tal fin, fue necesario caracterizar los diferentes momentos históricos del Bienestar, encontrando que el concepto está impregnado por la dinámica de los contextos; esto es, por el desarrollo de acontecimientos políticos, económicos, sociales, educativos, en tanto que algunas de las políticas del Bienestar en la universidad han sido pensadas y diseñadas desde contextos extra universitarios. En consecuencia, el presente escrito cuenta con los insumos de dicha tesis, ampliando los conceptos que de allí se erigieron.

La investigación, se realizó en el contexto de la Educación Superior, identificando, mediante un rastreo histórico y teórico, diferentes momentos, periodos y circunstancias, que moldearon la concepción del Bienestar en la Universidad pública colombiana. En tal sentido, desde el problema de investigación, se logró identificar que el BU está caracterizado

por: a) la predominancia de una visión tradicional que no consulta las preferencias, la diversidad y la riqueza participativa de sus actores sociales; b) una normatividad que ha generado diversos enfoques conceptuales, los cuales, van desde el Bienestar, como objeto de desarrollo, hasta ser considerado como una política estatal que intenta resolver problemas de pobreza; c) un imaginario de protección estatal hacia las clases menos favorecidas, justificados en la asistencia de un bien material y d) la influencia de experiencias y de modelos de universidades foráneas, espacialmente norteamericanas, en la construcción de las primeras estructuras y estrategias del desarrollo.

El comprender los sentidos del Bienestar en la universidad colombiana, desde los estamentos universitarios, implicó un proceso de reflexión constante, donde cada uno de sus actores sociales (docentes, estudiantes y administrativos), exponían sus sentidos de universidad, academia, espacio universitario y conocimiento; esto permitió comprender que los sentidos acerca del Bienestar, se hallan fuertemente ligados a entes administrativos, los que se amparan bajo la lógica de un Estado benefactor, entendido éste último, como aquel que provee un bien-estar material a los estudiantes, como subsidios de alimentación, de transporte, de vivienda y de becas de estudio, entre otros.

En este sentido, la universidad ha sido pensada a la luz de una formación profesional que engrosa el conocimiento acumulativo de las disciplinas. Los sujetos o actores sociales que hacen parte de la misma, se baten en medio de paradigmas científicos sobre, los que intentan dar solución a enigmas que se plantean como problemas de verdad, en los que, raras veces, se presentan anomalías que pueden dar paso a verdaderas revoluciones científicas (Kuhn, 2001), como bien lo expresara Fuller (1997): la universidad se ha vuelto el guante de terciopelo que esconde el puño de hierro de la empresa académica.

De esta manera, la producción intelectual de la Universidad está coloreada por el prisma de un desarrollo prometeico de progreso social, en la que se sancionan valores que marcan, al mismo tiempo, el camino y la meta del cambio en las sociedades (Muñoz, 2001). Se puede ver en ella, la intencionalidad de una formación, forjada en el slogan de "cultura ilustrada e intelectual" y que goza aún del prestigio científico, donde sus pensadores son garantes de un conocimiento verosímil e irrefutable, es decir, la universidad aún subsiste bajo principios modernos de razón ilustrada (Escobar, 2004), un lugar para el cultivo de un conocimiento, que se justifica en una formación profesionalizante; espacio donde el hombre se estudia a sí mismo, sin saber, muchas veces, que es fuente y razón de su propio estudio (Foucault, 2001).

Ahora bien, en Colombia, la ley 30 de 1992 (Ley de Educación Superior) normalizó y, a la vez, legalizó, de manera foránea, estas demandas subsidiarias. En tal sentido, la universidad se convierte en una pequeña sociedad en la que su enseñanza se desmarca para dar paso a actividades que le exigen pensar la realidad y la sociedad desde otros lugares de enunciación, ello, unido a demandas académicas que van más allá de la docencia; así, por un lado, se le exige investigar como fuente productora de conocimiento y como política institucional de la academia y, por otro, se encuentra la extensión o la proyección social, como posibilidad para desarrollar estrategias de impacto en la región, conducente a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Estas actividades: docencia, investigación y extensión, hicieron de la universidad un centro de conocimiento sobre, el cual, giran cantidad de sujetos, ya no llamados únicamente docentes, sino también investigadores y gestores comunitarios.

En consecuencia, el rango de acción, la gestión académica y la administrativa de la universidad, la convierte en empresa que debe administrar los recursos que aporta el Estado y aquellos que puede captar con el sector empresarial y gubernamental. Así, la universidad dejó de ser, en su estructura organizacional, un lugar de convivencia entre estudiantes y entre docentes, para convertirse en una institución multifuncional y polifacética, pues no sólo se habla de universidad como centro de enseñanza, también es generadora de conocimiento y una entidad prestadora de servicios.

Se infiere, entonces, una racionalización burocrática de la vida universitaria, lo que implica, que sus administradores piensan en los desarrollos económicos y de producción de sus regiones, a partir de la formación profesional de sus jóvenes. Por ende, los programas de bienestar que se ofrecen al interior de la misma están encaminados, primordialmente, a la dotación de servicios asistenciales, que se decantan en bienes materiales como: servicio de restaurante, subsidios de vivienda (residencias), servicio de biblioteca y becas-trabajo, entre otros. El fin asistencial garantiza el logro profesionalizante a alcanzar: la carrera a ejercer y el título a demostrar.

Identificar el BI, como objeto de investigación, implicó una reflexión acerca de los fundamentos teóricos de la producción académica en materia de bienestar universitario. Para ello, fue necesario hacer distinción entre la concepción de producción científica del BI y la producción sobre la calidad, la cobertura, los programas y los servicios. Esta distinción precisó de una clasificación de documentos, dado que hasta el 2003, el ICFES recibió proyectos no investigativos y registró un número considerable de productos relacionados con actividades relacionadas con el bienestar universitario, como

encuentros, talleres, ponencias e informes de comisiones de trabajo (Contecha, 2009).

En la revisión, se halló que Gutiérrez (1995) escribió el libro “El Bienestar Integral de la comunidad universitaria”, conocido como en el primer escrito sobre el tema. Se presenta la evolución del bienestar en la universidad colombiana, en los años anteriores a la publicación de su obra. En el libro “La investigación sobre la Educación Superior en Colombia. (Un estado del Arte.”, de Martínez de Dueri & Vargas de Avella (2002), analizan 142 informes de investigación, en la que emergieron 11 categorías y, una de ellas, el BU. Dan cuenta de ocho investigaciones ejecutadas por universidades colombianas sobre el bienestar y manifiestan que los estudios que se pueden reconocer como investigaciones y que representan una contribución a la formulación de políticas nacionales son predominantemente contratados por el Estado (ICFES, FONADE, COLCIENCIAS); en ellos, participan reconocidos académicos de las universidades, consultores independientes, representantes de asociaciones y gremios, quienes individualmente o en grupos, avanzan en el estudio de algunas problemáticas. Además, afirman que estos grupos de investigación poseen características de comunidades coyunturales, es decir, el tema de investigación corresponde al interés del organismo que financia el estudio y la permanencia del grupo depende de este interés y del tiempo de duración de los recursos. De los ocho trabajos de investigación sobre el bienestar, siete fueron auspiciados por el ICFES y uno obedece al interés de una universidad.

A pesar del poco interés de las instituciones por la investigación sobre el BU, el libro también da cuenta de un gran número de proyectos sobre alcoholismo y drogadicción en poblaciones universitarias, presentados como trabajos de grado de estudiantes o trabajos aislados, para los programas de especializaciones y que fueron descartados por las autoras en la segunda selección, para constituir la muestra final.

Los antecedentes anteriores justifican una mirada interna a la universidad, desde los sentidos que los actores universitarios otorgan al concepto de Bienestar. El estudio realizado permitió comprender, en primer lugar, cómo la universidad, en su propuesta formativa, se erige bajo parámetros de razón instrumental, a partir de una lógica Kantiana de “minoría de edad”; en segundo lugar, se presentará cómo el concepto de bienestar en la universidad se ha restringido al otorgamiento de un bien material desde una perspectiva utilitarista y, finalmente, se puede apreciar una mirada crítica del BU, especialmente, por parte de los estudiantes, en la que se concibe como acción emancipadora que va más allá de una necesidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como método de investigación, se utilizó el enfoque Histórico Hermenéutico, que tiene como fin comprender un fenómeno social con base en la relación que se establece entre diferentes sujetos, a partir de múltiples procesos comunicativos y la comprensión, mediada por la apropiación de la tradición y la historia. Su interés (práctico), se fundamenta en la construcción y en la reconstrucción de identidades socioculturales para, desde esa comprensión, poder sugerir acciones de emancipación (Habermas, 1985). Visión influenciada por otros autores, como Dilthey, Gadamer, Weber y algunos filósofos del lenguaje, como Wittgenstein, Searle, Austin y Benveniste, quienes consideran que el comportamiento de los seres humanos no se restringe únicamente a referentes positivistas o cuantitativos.

Si el objetivo de la investigación fue comprender los sentidos que del concepto de bienestar tiene un grupo determinado de personas (estudiantes, profesores y funcionarios universitarios) y si se pretendió desvelar la multiplicidad de realidades, el camino indicado para lograr el objetivo fue aquel donde el mundo depende de las percepciones que el sujeto tenga sobre él, es decir, desde una tendencia subjetiva que trascienda la descripción y se encamine hacia la reflexión, la interpretación y la comprensión del BU de la población (Murcia & Jaramillo, 2008).

En esta misma línea de comprensión, el trabajo de campo se inició con tres categorías de análisis a saber: concepto de universidad, sentidos de bienestar y normatividad institucional. En la indagación con los actores sociales fueron emergiendo categorías que sustentaron el estudio, por tanto, el diseño se estructuró con base en el análisis de contenido de documentos institucionales y en las narraciones de los actores universitarios; la herramienta de análisis utilizada correspondió al Atlas. TI. El muestreo teórico utilizado fue el de bola de nieve.

Como unidad de trabajo y unidad de análisis, se seleccionaron tres universidades: Universidad de Caldas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Universidad del Tolima, instituciones públicas de educación superior, pertenecientes a la Red de Universidades del Doctorado en Educación RUDECOLOMBIA. Los criterios de selección fueron: ser una universidad miembro de RUDECOLOMBIA; ser universidades de tipo estatal ubicadas en territorios con contextos sociales, educativos, económicos, políticos y culturales; además, que en ellas el BU sea administrado desde diferentes dependencias como vicerrectorías, unidades académicas y, por último,

ser universidades que tengan estudiantes matriculados en estratos 0-1-2-3 o que cuenten con algún beneficio estudiantil, como becas, subsidios y residencias.

En relación a las técnicas e instrumentos, se realizaron nueve entrevistas en profundidad (Taylor & Bogdan, 1996), a funcionarios de las oficinas del BÚ, tres por cada universidad. Además, se ejecutaron 21 sesiones de trabajo, bajo la modalidad de grupos de discusión, según las estrategias utilizadas por Ibáñez (2003); en total, se realizaron 27 sesiones en grupos de discusión y diez entrevistas a profundidad. En cuanto a los aspectos éticos, en cada una de las universidades, donde se desarrolló el trabajo de campo, se solicitó el consentimiento informado de los colaboradores, aclarando que los datos recolectados sería utilizados sólo para fines investigativos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los presentes hallazgos son parte de la reflexión final del estudio, proceso que sigue a la descripción e interpretación de los datos, por tanto, el énfasis será en la interpretación constitutiva de lo comprendido, una vez se compararon entre sí las categorías logradas.

El BÚ bajo una mirada adulto-céntrica: un estudiante menor que debe aprender: En la universidad aún subsiste una formación para menores y no necesariamente por la edad de sus estudiantes. Noción de minoría de edad que se refleja en los sentidos de BÚ por parte de los docentes y los administrativos al considerar que el Bienestar es como el padre o la madre que asiste, materialmente, a los estudiantes con lo que ellos necesitan. *“Quiero decir que cuando uno está pequeño tiene un papá y una mamá quienes le brindan a uno, le dan a uno la plata para vestirse, si se enfermó, lo llevan al médico, le enseñan los valores que es lo más importante, usted tiene que comportarse así, y así, y así. Llega un punto en que uno pasa de la adolescencia y ya tiene que empezar a desarrollarse como persona y los papás, de pronto, tiene otras cosas muy diferentes que hacer a las que uno hace y, a veces, es complicado, de todas maneras que a uno lo sigan formando ellos. Entonces, cuando uno llega a la Universidad, yo pienso que el bienestar es como el papá de uno, que le dice, mire, yo le presto estos valores, que si se enfermó, mire allá le brindo... bueno todo ese cuento, para concluir, diría: el bienestar es, dentro de la universidad, el papá de los estudiantes”* (Administrativo).

Mirada adulto-céntrica que atraviesa los sentidos del bienestar, más por visiones éticas y económicas desde una asistencia adulta que desde el mismo proceso

formativo y cognitivo de los estudiantes: El sentido de BÚ, especialmente, para los docentes, los administrativos y los funcionarios asume al estudiante como el centro del proceso educativo, llegándose a considerar como algo que sólo tiene que ver con el estamento estudiantil:

“A mí se me ocurre otra cosa también, que de pronto en esta universidad, no sé si en todas, porque no las conozco, vemos que hay muchas cosas para los estudiantes, o será que nos estamos contagiando y creemos que lo que le están dando (bien material) a los estudiantes, también nos lo tienen que dar a nosotros, si usted trabaja en cualquier otra entidad como yo trabajé, no hay ningún bienestar” (Administrativo).

El estudiante se desenvuelve en medio de la vida adulta; en ella es visto como alguien que necesita de la universidad, no sólo en asistencia material (alimentación, vivienda y demás), sino también en la formación de valores. Una buena parte de la población entrevistada reconoció que el estudiante debe ser el principal beneficiario de los servicios que ofrece la oficina de Bienestar en la universidad. Expresiones como *“estoy pensando que a la Universidad le ha tocado asumir el papel de familia, de alguna manera, de madre regañona, de padre regañón”* (docente), dejan entrever que el estudiante aún necesita de un cuidado por parte del mundo adulto en tanto éstos (profesores y administrativos), se sienten con el deber moral de hacerlo. Mirada adulto-céntrica, que considera al estudiante como un ser de necesidades; sentidos de Bienestar, donde el adulto se siente con el deber de decir a los jóvenes universitarios qué valores asumir y cómo se deben comportar. Principio kantiano, que promueve la formación de un sujeto que necesita del experto para desempeñarse con autonomía en la sociedad.

De este modo, el docente no sólo ocupa el papel de transmisor del conocimiento o el administrativo de gestionar los recursos, éstos también se consideran portadores del buen juicio, gracias a que gozan de una visión “madura”, capaz de corregir a los y las jóvenes que necesitan de su protección. No en vano, para Kant la ilustración es la salida del hombre de su auto-culpable minoría de edad. Minoría que significa la incapacidad de servirse de su propio entendimiento sin la guía del otro (Kant, 1993). Visión expresada por los funcionarios y los administrativos, quienes ven en los estudiantes un sujeto de necesidad; además del subsidio de alimentación y residencia, sienten que también deben desempeñar el papel de ayudador en la formación moral.

“Es una gran familia, que debe afrontar la formación que no se captó en la casa, donde nosotros recibimos

la formación primaria, pero cada vez más distante, porque la familia se está desintegrando. Tanto para administradores como para funcionarios, el estudiante debe ser orientado en la norma del buen encauzamiento, de las proporciones de una razón práctica que lo impulsan a ser un hombre bueno, responsable y con buen juicio en la sociedad, debiendo, para ello, hacer uso de la atadura de su propia condición” (menor), que puede ser modelada gracias a una correcta educación. Con la ilustración y el buen encauzamiento, se ingresa a lugares del “deber ser” y “así como debe ser”. Se percibe, entonces, un estudiante aprendiz sujeto de obediencia, en tanto las normas propias del comportamiento ético, se encuentran impostadas por una razón adulta.

En tal sentido, el BU adquiere una connotación asistencial de un estudiante febril que necesita de la guía del otro adulto; ahora bien, con lo anterior no se pretende negar que la relación adulto-joven es importante en la convivencia universitaria; no obstante, lo que se someta a crítica es la mirada unilateral por parte del adulto (administrativos, funcionarios del bienestar y docentes) al joven estudiante; pues no se evidenció un principio de reciprocidad por parte de éstos hacia los estudiantes, por el contrario, lo que emergió en los relatos es un estudiante que necesita de cuidado de una comunidad adulta, que se instituye y erige como garante de la formación del estudiantado universitario.

A lo anterior, se suma la concepción de un bienestar enraizado en políticas que hacen ver, principalmente al docente, como agente responsable de la formación del estudiante y no como un sujeto que se puede sentir bien cuando interviene comunicativamente con el estudiantado. Según el informe de la Misión Nacional para la Modernización de la Universidad Pública en 1995, “la dignificación de la docencia se alcanzará cuando los profesores recuperen la conciencia de la importancia y trascendencia de su trabajo y la convicción de su ejemplo, dedicación y permanente formación, determinantes en la formación del estudiante”. Se percibe en este informe, un docente dador de Bienestar hacia el estudiante, más no alguien que comparte en relación intersubjetiva con el mismo, por ello, sigue reinando en las políticas educativas una mirada de adulto ayudador, muy cercana a una visión formativa de tipo kantiana.

Kant, en su *Tratado de Pedagogía*, plantea que los fines de la educación son disciplinar a los hombres, cultivarlos en el obrar de todos los fines posibles, hacerlos prudentes para que puedan vivir en sociedad y moralizarlos para que elijan siempre los fines buenos aceptados por los hombres. “Por cierto, ello impone que la educación

busque el endurecimiento de los menores o hacerlos capaces de sobrellevar las contingencias de la vida, para que como adultos todos los seres humanos sean capaces de vivir el deber por el deber”, (Kant citado por Vargas Guillen, 2004). La ética en la ilustración, se aferra completamente a los confines de una razón universal, como principio categórico, para el caso específico, un sentido finalista de Bienestar Asistencial.

Esta visión es igualmente compartida por los administrativos, quienes se consideran continuadores y herederos de los padres en la formación de sus hijos; el administrador papá o mamá, siente que debe formar para que puedan estudiar bien, pues a su vez, fueron instruidos con la misma lógica asistencial, cuando eran estudiantes: “Para mí el bienestar tuvo un sentido como estudiante, porque yo fui beneficiario de residencias universitarias, entonces, el sentido era: si mis papás no pueden pagar por la universidad, no pueden pagar por mi sustento, entonces la universidad me ayuda, entonces bienestar, en ese sentido, como un padre para algunos estudiantes” (docente). En suma, el BU refleja sentidos de asistencia material y ética por parte de los adultos a una comunidad estudiantil que asiste a la universidad con sentidos, quizás, distintos a los que consideran los docentes, los funcionarios y los administradores. El sentido de BU adulto se acerca más a un bienestar material, en tanto aplicación moral y económica hacia el estudiante

El bienestar como trayecto que lleva al conocimiento: como posibilidad de realización humana: Este segundo elemento de reflexión y que de manera emergente se hizo presente en el cruce de categorías, son aquellos sentidos que hacen ver el Bienestar Universitario no como fin en sí mismo sino como mediación o trayecto para alcanzar un fin superior. Esta teleología o finalidad es el conocimiento al que se llega para ser profesional, que responde al ideal ilustrado de universidad como productora de conocimiento. Los relatos dejaron entrever cómo los actores universitarios se sienten bien o están bien, en tanto disfruten de las condiciones necesarias para desarrollar sus funciones en la institución universitaria; por ejemplo: que docentes y estudiantes se encuentren en un ambiente agradable para orientar y recibir clase; de este modo, la universidad sigue siendo entendida como institución profesionalizante, y no como un lugar de enunciación, donde sus actores sociales puedan desarrollar al máximo sus potencialidades humanas. Por el contrario, para éstos, el conocimiento es punto de llegada y el fin último del por qué existe la universidad; la oficina de Bienestar Universitario por su parte, será uno de los canales que hacen posible tal arribo.

Para la comunidad universitaria que hizo parte del estudio, la universidad es el centro del conocimiento; institución educativa donde el estudiante va a aprender, lugar donde, gracias al conocimiento adquirido, se consigue una carrera y se es profesional. Percepción que también encontraron Murcia *et al.* (2009), al comprender cómo el imaginario de los estudiantes universitarios se movía en la función de *formar* como dar forma profesional.

Estos sentidos de universidad hacen del Bienestar subsidiario de la profesión, en tanto el conocimiento ocupa un lugar central en la formación del estudiante. El Bienestar pasa a ser el trayecto o camino por el que circula, no la formación, sino la profesión a alcanzar; de este modo, se logra que el estudiante se forme profesionalmente sin mayores preocupaciones; *“bienestar son las condiciones que permiten estar bien dentro de la universidad, que tanto el estudiante como el profesor y el empleado no tengan mucho de qué preocuparse dentro de la universidad, entonces, tenemos programas que son servicios de salud”* (docente).

Se deja entrever, entonces, una mirada utilitarista del Bienestar, en la que no se valoran las acciones de los sujetos como seres en situación sino los estados de los espacios y escenarios para que éstos se sientan bien, lo cual, lleva a una des-personalización del sujeto y, por ende, la pérdida de valor de las intenciones y los motivos del universitario a la hora de evaluar las acciones. Se percibe una reducción de los medios para llegar a los fines, es decir, el BU es importante en tanto prevé que los actores sociales estén en condiciones de llegar al tan anhelado conocimiento profesionalizante. Se llega, por tanto, a un consecuencialismo adverso que puede responsabilizar al Bienestar si los actores universitarios no alcanzan la meta del conocimiento.

Comparar el Bienestar con el estado de los espacios universitarios y los programas sociales que se realizan como garantía para llegar a un conocimiento intelectual, implica reducirlo a mediación y certeza fugaz; es colocar la vida misma de los sujetos en torno a una intelectualidad profesionalizante. Bajo esta perspectiva, se encontró que las tres oficinas de bienestar, que hicieron parte del estudio, justifican sus servicios en acciones como: el servicio de restaurante, el subsidio de vivienda, la adecuación de salones y de pasillos, programas de cultura, deporte y recreación, todas ellas, como garantes de una universidad que busca la excelencia académica del conocer, tal y como lo consideró un administrativo: *“para mí el Bienestar es un área de conocimiento donde uno se puede formar desde la parte académica*

hasta la parte cultural, hasta la parte deportiva y puede aprender muchísimas cosas, por eso digo que es un área del conocimiento”. Bienestar que se justifica por las atenciones que pueda ofrecer a la comunidad universitaria; sin embargo, pasa a ser subsidiario del fin último universitario: *el conocimiento*. Incluso, los funcionarios de la oficina de bienestar reconocen que lo que se muestra como gestión del bien-estar en su dependencia administrativa son sólo cifras estadísticas que permiten respaldar su labor frente a los procesos de acreditación institucional.

Esta visión reduccionista, se adhiere a propuestas teóricas que terminan colocando el Bienestar como mediación funcional para alcanzar el conocer. *“La formación académica y la formación ética, el desarrollo de la sensibilidad y el impulso al deseo y a la voluntad del saber son, desde esta perspectiva, las tareas centrales de un bienestar universitario, que debe ir mucho más allá de la satisfacción de las necesidades materiales más inmediatas”* (Hernández, 2002). Si bien la intención del autor es desbordar lo material, inevitablemente cae en él, por cuanto el fin material es lograr el tan apreciado conocimiento, a través de una profesión certificada mediante un título.

Asumir el bienestar desde una mirada crítica implicará descentrar el conocimiento, como fin último, para empezar a buscar otras rutas que le permitan a la comunidad universitaria asumirlo como capacidad humana y no como trayecto de conocimiento. Llegará el momento donde la Universidad dejará de formar a sus estudiantes para una vida profesional como seres autómatas y empezará a considerarlos como sujetos de potencia, que otorgan vida y significado a lo que hacen. Será en ese momento cuando el BU dejará de ser trayecto para el conocer y se convertirá, al fin y al cabo, en fuente de realización humana, que trasciende el concepto pírrico de bienestar como beneficencia material y ven-eficiencia intelectual.

El bienestar como capacidad: la visibilidad del ser: Sen (1999), a partir de una crítica extensa que hace al concepto de bienestar, dice que este se ha reducido a la mirada económica y, por ende, sólo se constriñe a fines utilitaristas, que se representa en bienes materiales; en contraposición a esta reducción, propone asumirlo como potencia, es decir, como la posibilidad que tiene el sujeto de realizarse gracias a sus capacidades humanas; concibe el bienestar en términos de lo que una persona puede “realizar”, logrando un sentido de actividades, como estados de existencia o del ser que, a su vez, se convierte en un vector de realizaciones. Unido a esto, asume al ser no como sujeto sino como agente, en tanto es alguien

que puede decidir y actuar con libertad (Nussbaum & Sen, 2002).

Esta asunción del bienestar, se comprendió en las expresiones de los estudiantes, quienes reclaman ser tenidos en cuenta, no sólo por aquello que se les pueda dar asistencialmente, sino también por lo que puedan opinar, decir, hacer y debatir en medio de la universidad. Lo que subyace en sus voces es un reclamo de visibilidad, como agentes de cambio y no sólo como usuarios de un servicio. *“Pues bienestar, yo creo que también es permitir el espacio para la confrontación de ideas, no sólo físico sino intelectual porque aquí es necesario remitirse a los que han venido presentándose en la universidad, se estableció un debate en cuanto a lo que no se está de acuerdo del estatuto general de la universidad, se llegó a vías de hecho por falta de comprensión y de escucha, por falta del Consejo Superior Universitario (...). Lo que se debe tener en cuenta es la opinión del estudiante, de tener en cuenta la opinión de la comunidad universitaria, eso es bienestar y, además, que genera sentido de pertenencia, pues de lo que estoy hablando es importante”* (estudiantes).

Más allá del bien material utilitario, se propugna la voz de un estudiante que busca espacios donde se confronten sus ideas, se piense la universidad y sea tenido en cuenta respecto a las decisiones que toman las directivas universitarias; en su voz, se escucha el no ser mirado como menor en edad y en pensamiento, tampoco como alguien que simplemente aprende, es más bien agente y constructor de un lugar que siente como propio, llamado universidad; pues lo que él dice como agente es también importante en el mundo de la vida universitaria.

Para el estudiante, su palabra tiene sentido si es escuchada y validada como importante para el concierto académico. No desea ser usuario de un servicio académico; por el contrario, reclama sentirse acogido y asumido en la reciprocidad de una voz que tiene algo que decir en los claustros universitarios. *“Bienestar no es solamente academia, sino que depende de otras cosas, lo que yo sí creo, es que en esta universidad y en muchas universidades, se ha enfocado más a lo que no debe ser o a lo que está en segundo plano, a lo que debe ser como tal es el bienestar académico que se defiende sobre cualquier cosa es fundamental, aunque no sólo para fortalecer la academia. Lo que sí creo que tampoco se justifiquen a eso y otras cosas que permiten que el estudiante se incentive, eso es fundamental”* (estudiante).

Lo anterior proyecta el Bienestar como mediación para instalarlo como fuente de realización de la vida misma;

como apertura enunciativa que hace al estudiante sentirse bien, pues no se considera un menor que, potencialmente, llegará a ser adulto. Por el contrario, es agente que puede participar de la vida universitaria con los deberes y los derechos que le asisten. Ser tenido en cuenta es ser escuchado como alguien que puede tener la razón, que su voz no es acallada por ser visto por el mundo adulto como inmaduro o viche; quiere ser asumido como válido al interior de esos contratos de habla que le hacen ser hablante activo al interior de una conversación. En palabras de Sen (1999), como alguien que tiene igualdad de oportunidades para el Bienestar.

Por último, es de resaltar que no se hace referencia a un Bienestar donde sólo se escucha la voz del estudiantes, sino un bienestar para todos los actores sociales que hacen parte del mundo universitario; un lugar donde todos puedan participar, debatir y reflexionar la universidad que desean –no sólo que necesitan–, en principios de reciprocidad y acción comunicativa, en la que ninguno preste sus labios para que otros hablen por ellos, ni sean anónimos o terceros en la vida universitaria; un bienestar donde la normativa institucional sea debatida y construida en interacción permanente. Se aboga, entonces, por un Bienestar que encuentra eco en la virtud y la realización, un lugar donde la norma sea confrontada de manera dialógica; no obstante, no es la norma o deber Kantiano asumido por sólo desde la razón, es más bien la norma aristotélica que encuentra sentido en su realización, pues no se hace por temor al castigo o la penalización. *“En Aristóteles, la virtud es lo que constituye la vida completa; es la condición necesaria para la mejor vida posible. Cualquier otra forma de vida no alcanzaría la norma de la vida humana”* (Hartnack, 1994). Es posibilidad de acción sin imposición y sometimiento, la cual, lleva en sí misma el gusto de la realización que conduce a una vida plena sin reducciones y sin esclavismos impuestos para sí mismos o para otros. Este es el bienestar universitario que, tal vez, reclama el estudiante y que tiene poca repercusión en la vida adulta de los administrativos y de los docentes.

Concebir el bienestar universitario más allá de un asistencialismo adulto, que permite alcanzar conocimiento, es reconocer que aún seguimos enclaustrados en una modernidad que muestra una sola vía de conocimiento, donde aún unos se erigen como portadores absolutos del conocer y, otros, como recipientes que aprenden, con el fin de alcanzar un título. Aún suena imposible concebir el BU más allá de una razón instrumental que forma profesionales para un futuro poco promisorio; queda como reto empezar a asumir el Bienestar en nuestras universidades como capacidad, como hospitalidad y

acogida donde el otro pueda hablar y dejar de ser un anónimo más en su comunidad universitaria; ser al fin otro que no sólo piensa para existir, sino que puede (capacidad) para ser.

Agradecimiento: Los autores agradecen la lectura crítica por parte de los evaluadores, así como sus pertinentes observaciones. De igual manera, damos crédito a la Universidad del Tolima y Universidad del Cauca, en la construcción del presente documento. 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. CONTECHA, L.F. 2009. Un Estado del arte del bienestar universitario en Colombia. Revista Perspectivas Educativas. Maestría en Educación. Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia. 2:109-127.
2. ESCOBAR, A. 2004. Desplazamiento, desarrollo y modernidad en el pacífico colombiano. En: Restrepo, E.; Rojas, A. (eds.) Conflicto e (in)visibilidad. Retos en los estudios de la gente negra en Colombia. Popayán: Universidad del Cauca. p.53-72.
3. FOUCAULT, M. 2001. Las palabras y las cosas. Siglo XXI Editores. (Buenos Aires). 378p.
4. FULLER, S. 1997. La comprensión pública de la ciencia: nuestro último pánico moral. Trad. Dalia Restrepo (2002). Seminario de Doctorado en Ciencias Sociales, Niñez y Juventud: Universidad de Manizales – CINDE. p.1-39.
5. GUTIÉRREZ, A. 1995. El bienestar integral de la comunidad universitaria. Universidad Javeriana. Bogotá.
6. HABERMAS, J. 1985. Ciencias sociales reconstructivas vs. Ciencias comprensivas. En: Ciencia moral y acción comunicativa. Ed. Pensament (Barcelona). 30p.
7. HARTNACK, J. 1994. Breve historia de la filosofía. Ed. Teorema (Madrid). 260p.
8. HERNÁNDEZ, C. 2002. Universidad y Excelencia. Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” y Asociación Colombiana de Universidades. En: Educación Superior. Sociedad y Educación. (Bogotá). p.19-148.
9. IBÁÑEZ, J. 2003. Más allá de la sociología. El grupo de discusión: técnica y crítica. Ed. Siglo Veintiuno (Madrid). 428p.
10. KANT, I. 1993. Respuesta a la pregunta: ¿qué es la ilustración? Ed. Tecnos. (Madrid). 180p.
11. KUHN, T.S. 2001. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica. (México). 128p.
12. LEY 30 DE 1992 (Diciembre 28) “Por la cual se organiza el servicio público de la Educación superior”. En Diario Oficial 40700 de Diciembre 29 de 1992.
13. MARTÍNEZ DE DUERI, E.; VARGAS DE AVELLA, M. 2002. La investigación sobre Educación Superior en Colombia. Un estado del Arte. Serie Calidad de la Educación Superior. ICFES. 123p.
14. MISIÓN NACIONAL PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA. Informe Final. 1995. Ed. Presencia Limitada (Bogotá). 166p.
15. MUÑOZ, G. 2001. Notas al concepto de desarrollo. Centro Internacional en Niñez y Juventud. Universidad de Manizales. (Manizales). 26p.
16. MURCIA, N.; PINTOS, J.L.; OSPINA H., F. 2009. Función versus institución: imaginarios de profesores y estudiantes universitarios. Educación y Educadores. 12(1):63-91.
17. MURCIA, N.; JARAMILLO, L. 2008. La complementariedad etnográfica. Investigación Cualitativa. Una guía para abordar estudios sociales. Ed. Kinesis (Armenia). 228p.
18. NUSSBAUM, M.; SEN, A. 2002. La calidad de vida. Ed. Fondo de Cultura Económica (México). 588p.
19. SEN, A. 1999. El futuro del Estado de Bienestar. La factoría, 8. Disponible desde Internet en: <http://www.lafactoriaweb.com/articulos/amartya.htm>. (con acceso 12/06/07).
20. TAYLOR, S.; BOGDAN, R. 1996. Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Ed. Paidós (Barcelona). 434p.

21. VARGAS, G. 2004. Kant y la pedagogía: fenomenología de la génesis individual y colectiva del imperativo moral. Coloquio Internacional sobre Currículo, 3. Memorias. Popayán. Universidad del Cauca. 18p.

Recibido: Julio 28 de 2010

Aceptado: Marzo 7 de 2011

OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE PODA, MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA E HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

ETHANOL FROM WASTE OF PRUNING BY ACID HYDROLYSIS AND ENZYMATIC HYDROLYSIS

Lesly Tejeda¹, Julio Quintana², Jairo Pérez³, Harold Young⁴

¹Ingeniera Química, Magíster en Ingeniería Ambiental, Docente investigadora, programas ambientales – Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco - Cartagena. Cartagena, Bolívar (Colombia). Barrio España, Cra. 44D No. 30^a-91. lptbenitez@gmail.com. ²Ingeniero Ambiental, auxiliar de investigación, programas ambientales – Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco - Cartagena. Cartagena, Bolívar (Colombia). Barrio España, Cra. 44D No. 30^a-91. jquintana.chacon@hotmail.com. ³Ingeniero Ambiental, auxiliar de investigación, programas ambientales – Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco - Cartagena. Cartagena, Bolívar (Colombia). Barrio España, Cra. 44D No. 30^a-91. jairo_perez15@hotmail.com ⁴Ingeniero Ambiental, auxiliar de investigación, programas ambientales – Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco - Cartagena. Cartagena, Bolívar (Colombia). Barrio España, Cra. 44D No. 30^a-91. haroldyoung2003@hotmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 111 - 116, 2011

RESUMEN

En esta investigación, se pretendió estudiar el aprovechamiento de los residuos de poda y la búsqueda de materias primas para producir biocombustibles. Se llevó a cabo la hidrólisis de la biomasa lignocelulósica contenida en los residuos de poda, de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, con el fin de producir jarabes glucosados para, potencialmente, ser convertidos en bioetanol. Se aplicaron dos metodologías: la hidrólisis ácida, usando ácido sulfúrico diluido y la hidrólisis enzimática, con enzimas celulasas. A manera de resultados, se obtuvo una mayor conversión con la hidrólisis ácida de todas las muestras (entre 10 y 30g/L de glucosa) que con la hidrólisis enzimática de los residuos mezclados (8,83g/L de glucosa), quedando abierta la posibilidad de obtener biocombustibles a partir de este tipo de residuos. Se hace necesaria la optimización de los procesos con el propósito de mejorar el rendimiento en la producción de glucosa.

Palabras clave: Etanol, hidrólisis, jarabes glucosados, residuos lignocelulósicos.

SUMMARY

This research pretended to evaluate the use of yard pruning residues and to look for raw materials to produce bio-fuels. The hydrolysis of lignocellulosic biomass contained in the waste of the tree trimming at the Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco was carried out to produce glucose

syrups to, potentially, be converted into bio-ethanol. Two methods were employed, the acid hydrolysis using dilute sulfuric acid and the enzymatic hydrolysis using cellulose enzymes. As a result, a higher conversion of all samples was obtained with the acid hydrolysis (between 10 to 30g/L of glucose) as with the enzymatic hydrolysis of mixed waste (8.83g/L of glucose), suggesting that bio-fuels can be obtained, beginning from this type of vegetal residues. It is necessary to optimize the process in order to improve the output in the glucose production.

Key words: Ethanol, hydrolysis, glucose syrups, lignocellulosic wastes.

INTRODUCCIÓN

La Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco cuenta con extensas zonas verdes, las cuales, demandan mantenimiento y servicios, generando residuos de podas, que deben ser tratados por personal de la fundación y, posteriormente, por una empresa de aseo, generando costos por su transporte y su manipulación. Cuello *et al.* (2008) estimaron que en la institución, mensualmente, se producen 19,2kg de estos residuos. Los residuos de poda de jardín contienen altos porcentajes de biomasa lignocelulósica, que se puede usar para obtener bioetanol, previa conversión a glucosa (Sun & Cheng, 2002). Dada la acogida que han tenido los biocombustibles en los últimos años es necesario explorar nuevas materias primas adecuadas para su

obtención sostenible y que no pongan en peligro la seguridad alimentaria. La conversión de material lignocelulósico en glucosa, se puede hacer por vía ácida o por vía enzimática y ha sido ampliamente documentada.

López-Miranda *et al.* (2009) probaron los métodos de pre-tratamiento alcalino, ácido y explosión con vapor, para efectuarla hidrólisis enzimática de aserrín de pino y recuperar los azúcares contenidos en él. Encontraron que el pre-tratamiento con NaOH a 120°C proporcionó mejores resultados que los realizados con ácido sulfúrico diluido y por explosión con vapor a 121°C. Se obtuvieron concentraciones de azúcares reductores de 48%, después de un pre-tratamiento, con 8% de NaOH, durante 85 minutos, a 120°C, a un pH de hidrólisis de 4,5, durante 240h, con una carga enzimática de 25UIPF/g de carbohidratos totales.

Lis *et al.* (2000) llevaron a cabo la hidrólisis ácida de paja usando ácido clorhídrico y ácido sulfúrico; Ferrer *et al.* (2002) obtuvieron jarabes glucosados en la hidrólisis ácida del bagacillo de la caña de azúcar y Aguilar Rivera & Canzales Leal (2004) estudiaron la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada y hallaron una conversión del 70,83% a 110°C, en un tiempo de 210 minutos, con una concentración de ácido sulfúrico del 1%.

Boutros *et al.* (2005) efectuaron la hidrólisis ácida de bagazo utilizando ácido sulfúrico; Moya *et al.* (2007) realizaron la hidrólisis ácida de residuos de poda de olivo empleando ácido fosfórico, mientras que Lázaro & Arauzo (1994) manipularon la hidrólisis enzimática de residuos de alcachofa y de espárrago y Gamez *et al.* (2006) hidrolizaron muestras de bagazo de caña de azúcar con ácido fosfórico al 4% a 122°C, durante 300 minutos y obtuvieron concentraciones de 17,6g/L de xilosa, 2,6g/L de arabinosa y 3,0g/L de glucosa.

A nivel nacional, Monsalve *et al.* (2006) obtuvieron jarabe glucosado, a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de banano y Tejeda *et al.* (2009, 2010) experimentaron la hidrólisis ácida de cáscaras de naranja, piña, mango y papaya. En el país, se ha estudiado poco la hidrólisis ácida o enzimática de residuos de poda.

En este trabajo, se analizó la hidrólisis por vía ácida y enzimática de los residuos de jardín, con el fin de obtener jarabes glucosados para su posterior conversión en etanol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación, se identificaron tres tipos de residuos de poda en la institución: tallos, hojas y frutos. Estos fueron recolectados en sacos, con capacidad de 10L; posteriormente, la reducción de tamaño, se llevó

a cabo moliendo los residuos. La materia prima fue caracterizada por cromatografía líquida de alta resolución, para determinar los contenidos de celulosa, hemicelulosa, lignocelulosa y glucosa iniciales.

Para la experimentación, se tomaron muestras de 15g de cada residuo, para la hidrólisis ácida y una muestra de 20g, que contenía los residuos mezclados en idénticas proporciones, para la hidrólisis enzimática.

El primer paso consistió en la eliminación de lignina, proceso, en el cual, se sumergieron las muestras en una solución de NaOH 0,1N; a los 15 minutos, se adicionó 0,816g de sulfato de calcio y se dejó en reposo por tres horas y, por último, se separó el material particulado de la solución. El hidróxido de sodio degrada la lignina y el sulfato de calcio evita la degradación de la celulosa causada por el hidróxido de sodio. La lignina disuelta fue eliminada de las muestras por decantación y el sólido que contenía la celulosa y la hemicelulosa fue conservado para la hidrólisis.

La hidrólisis ácida, se llevó a cabo en Erlenmeyer de 250mL, donde se mezcló una solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, el cual, se diluyó al 5% y se añadió 25mL a cada 50g de muestra. Posteriormente, ésta solución adicionada a las muestras, se llevó a un esterilizador eléctrico de presión de vapor (autoclave), manteniendo una presión y una temperatura fija de 1atm (15 psi) y 125°C, respectivamente, durante 15 minutos; luego, las muestras fueron sometidas a centrifugación para separar el jarabe glucosado.

La hidrólisis enzimática, se llevó a cabo en bio-reactor utilizando las enzimas celulasas y considerando las condiciones adecuadas de humedad y pH para su mantenimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de residuos

La caracterización de los residuos de jardín permitió conocer la composición inicial de los mismos para tener un estimativo de la producción de glucosa, mediante los dos mecanismos de hidrólisis. El porcentaje de glucosa en los residuos proporciona el valor inicial y con el porcentaje de celulosa, se puede establecer el potencial de producción de glucosa. La tabla 1 muestra los resultados de la determinación.

La muestra que presentó mayor contenido de glucosa fue la de las frutas y el mayor contenido de celulosa, se registró en los tallos.

La literatura reporta un contenido promedio de glucosa en algunas flores, variadas entre el 31 y el 34% (Salamanca, 1999) y un contenido promedio de celulosa entre 10 y 30% (Delfín Alcalá *et al.* 2003).

Tabla 1. Caracterización de residuos.

Muestra	Tallos	Hojas	Flores
Glucosa, g/L	3,84	13,04	20,31
Hemicelulosa, g/L	15,42	27,60	23,15
Celulosa, g/L	42,54	28,67	24,17
Promedio, g/L	20,60	23,10	23,66

Los resultados del contenido de celulosa obtenidos para tallos y para hojas, se hallan muy cerca a lo reportado por Delfín Alcalá *et al.* (2003), quienes percibieron 32%, para las hojas y 36%, para los tallos.

Se puede concluir que los residuos de poda contienen glucosa, celulosa y hemicelulosa, por lo cual, son potencialmente aprovechables en la producción de jarabes glucosados, por vía ácida o enzimática, con un mayor contenido por parte de los residuos de tallo, al poseer mayor contenido de celulosa y menor de hemicelulosa. La glucosa contenida en estos residuos es susceptible de ser utilizada bien sea para la obtención de bioetanol, a través de la fermentación alcohólica o en la producción de otros materiales de importancia industrial, como el ácido láctico, a través de una fermentación láctica.

Hidrólisis ácida

Los jarabes glucosados obtenidos a partir de la hidrólisis ácida de los residuos previamente separados por hojas, tallos y flores, fueron evaluados para determinar el contenido de glucosa final y el rendimiento en la conversión, resultado que se muestra en la tabla 2.

De acuerdo a estos valores, se puede observar que, en general, la conversión de celulosa a glucosa es baja, con excepción de las flores. El contenido de glucosa en los jarabes obtenidos a partir de los tallos y las hojas presentó un contenido de glucosa más bajo que los hallados en los jarabes elaborados a partir de las flores. Este resultado se esperaba, dado que las flores contienen alto contenido de glucosa, incluso, antes de su hidrólisis.

En todos los casos hubo un aumento del contenido de glucosa con respecto al contenido inicial, con lo cual, se puede verificar que parte de la celulosa contenida en los residuos se convirtió, químicamente, en glucosa.

Al comparar estos resultados con otras investigaciones relacionadas con la hidrólisis ácida de los residuos lignocelulósicos, se observa un comportamiento similar.

Tabla 2. Resultados jarabes glucosados hidrólisis ácida.

Generación de glucosa	Tallos	Hojas	Flores
Glucosa inicial (g/L)	3,84	13,04	30
Glucosa final (g/L)	10,77	16,85	30,46
Glucosa producida (g/L)	6,93	3,81	0,46
% Rendimiento	16%	13%	2%

Lis *et al.* (2000) hidrolizaron paja aplicando, como agentes hidrolíticos, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico y obtuvieron jarabes con máximo 12g/L de contenido de glucosa; Monsalve *et al.* (2006) produjo jarabe glucosado, a partir de la hidrólisis ácida de la cáscara de banano, con un contenido de glucosa de 20g/L y una conversión del 15%; Ferrer *et al.* (2002) lograron un 22% de conversión en la hidrólisis ácida del bagacillo de la caña de azúcar; Aguilar Rivera & Canizales Leal (2004) realizaron el estudio cinético de la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada y hallaron conversiones entre 23 y 59%, trabajando con diferentes concentraciones de ácido sulfúrico y prolongando el tiempo de reacción; Boutros *et al.* (2005), en la hidrólisis ácida del bagazo manejando ácido sulfúrico concentrado en una sola etapa y en una etapa modificada, consiguió conversiones entre el 50 y el 88% y, finalmente, Moya *et al.* (2007), ejecutó la hidrólisis ácida de residuos de poda de olivo usando ácido fosfórico, alcanzando conversiones entre el 10 y el 20%.

Teóricamente y teniendo en cuenta el contenido inicial de glucosa y celulosa disponible en los residuos de jardín, se puede obtener un jarabe con concentración más alta; sin embargo, al realizar la eliminación de lignina, posiblemente, se pierden azúcares solubles y es probable que, parte de la celulosa, se solubilice en el mismo procedimiento.

Otra forma de incrementar la conversión es a través del pre-tratamiento, para el cual, se tienen diferentes opciones y combinación de ellas, como: explosión con vapor sin catalizador, calentamiento en agua caliente líquida, calentamiento en agua caliente con pH controlado, flujo de agua caliente, ácido diluido, flujo de ácido, explosión con amonio y cal, entre otros (Cardona Alzate *et al.* 2005).

Hidrólisis enzimática

La tabla 3 muestra los resultados del nivel de glucosa logrado en los jarabes glucosados, producidos por la hidrólisis enzimática de los residuos mezclados; el promedio de estos resultados y el porcentaje es calculado con base en la cantidad inicial de glucosa y celulosa.

Tabla 3. Resultados de glucosa, hidrólisis enzimática.

Jarabes	Niveles de glucosa (g/L)
1	9,4
2	8,9
3	8,2
PROMEDIO	8,83

De acuerdo con los resultados conseguidos y expuestos en la tabla 3, el contenido de glucosa en el jarabe elaborado a partir de los residuos de poda mezclados es menor que en todos los jarabes glucosados producidos por hidrólisis ácida e, incluso, es menor que el contenido de glucosa promedio en los residuos antes de su hidrólisis, con lo que se puede decir que no hubo una conversión significativa.

Con lo anterior, se confirmó que la hidrólisis ácida registra un mayor rendimiento que la hidrólisis enzimática.

Al comparar los resultados alcanzados en esta experimentación con los registrados por otros autores, se encuentran rendimientos parecidos en unos casos, como los siguientes: Lázaro & Arauzo (1994) efectuaron la hidrólisis enzimática de residuos de alcachofa y de espárrago realizando un tratamiento previo con NaOH y obtuvieron jarabes glucosados, con contenido de 1,7 y 4,5g/L de glucosa y rendimientos de reacción entre 3 y 10%; Sánchez Villasclaras *et al.* (2003) estudiaron la influencia del pH en la hidrólisis enzimática de los residuos de poda de olivar y logró jarabes con un contenido máximo de 16g/L de glucosa. Otros autores mostraron mejores resultados en la hidrólisis enzimática, al optimizar las condiciones del pre-tratamiento, el tipo de enzimas y la concentración de las mismas.

Öhgren *et al.* (2007) alcanzaron altos rendimientos entre el 70 y el 74% en la producción de xilosa, que se forma por hidrólisis de la hemicelulosa, cuando emplearon enzimas xilanasas, para complementar a las enzimas celulasas, durante la hidrólisis enzimática de cáscaras de maíz; esto es favorable, porque la xilosa, al igual que la glucosa es un azúcar fermentable apta para ser convertida en etanol. Cardona Alzate *et al.* (2005) realizaron la sacarificación enzimática de la madera de *Eucalyptus globulus*, con miras a obtener bioetanol y lograron, en promedio, 26mg de glucosa/g de biomasa.

López Miranda *et al.* (2009) consiguieron jarabes glucosados por hidrólisis enzimática de aserrín de pino, con un rendimiento superior en la formación máxima de azúcares reductores del 48%, aplicando un tratamiento previo, con 8% de NaOH, durante 85 minutos, a 120°C, a un pH de hidrólisis de 4,5, durante 240h, con una carga enzimática de 25UPF/g

de carbohidratos totales.

Una causa del bajo rendimiento reportado durante la etapa de hidrólisis enzimática, se debe a que la glucosa y la celobiosa liberadas inhiben las enzimas implicadas en el proceso.

Otra posible causa de la baja conversión es que durante el pre-tratamiento se forman una serie de productos de degradación, que pueden afectar el rendimiento de la enzima, actuando como potenciales inhibidores, por lo tanto, es conveniente probar con diferentes técnicas de pre-tratamiento.

Hidrólisis enzimática vs hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida mostró mayor rendimiento, alcanzando un 10,33% de glucosa en comparación con la hidrólisis enzimática, que fue de 8,83%, concluyendo que es más factible la producción de bioetanol usando ácidos como catalizadores.

En el cuadro 1, se presenta un comparativo que muestra las ventajas y las desventajas entre la hidrólisis catalizada con ácidos y la hidrólisis catalizada con enzimas.

Con el objetivo de optimizar el rendimiento en la producción de glucosa combinando las ventajas y las desventajas de una y otra forma de hidrólisis, algunos autores (Mejía *et al.* 2007) han propuesto un esquema combinado, en el cual, previo tratamiento térmico, se efectúa la hidrólisis ácida, seguida de la hidrólisis enzimática. Otra tecnología de creciente interés es la SFS (Sacarificación y Fermentación Simultáneas), con el fin de realizar, en un solo reactor, los pasos de hidrólisis enzimática y fermentación alcohólica. Es una técnica que aún se encuentra en estudio, debido a que para aplicarla es necesaria la modificación genética de los microorganismos para que puedan coexistir bajo las mismas condiciones los microorganismos responsables de la sacarificación y las levaduras fermentativas, responsables de la conversión de los azúcares en etanol.

Otros procesos usan agua en condiciones cercanas a las supercríticas, en las etapas de pre-tratamiento e hidrólisis, reduciendo estas etapas a una sola, con el fin de hidrolizar la celulosa a glucosa sin el uso de ácido y convertir este compuesto en etanol u otros productos de mayor valor económico (Cardona Alzate *et al.* 2005).

Si bien la producción de bioetanol es muy conveniente, debido a las grandes cantidades de residuos de podas existentes, la producción no ha resultado económica a escala industrial, a causa de los bajos rendimientos hallados en la hidrólisis ácida y enzimática, con vías a la obtención previa de glucosa.

Cuadro 1. Hidrólisis enzimática vs hidrólisis ácida.

Hidrólisis enzimática	Ventajas	No requiere la neutralización del producto de la hidrólisis.
		La utilización de enzimas es ambientalmente más segura y sostenible que el uso de ácidos.
	Desventajas	La cristalinidad de las moléculas de celulosa y su asociación con la lignina, constituyen una verdadera barrera física a la penetración de las enzimas.
		Se requiere un pre-tratamiento que permita que la celulosa esté disponible para la acción de las enzimas celulolíticas.
Hidrólisis ácida	Ventajas	Se presentan rendimientos de reacción más altos.
		No requiere procesos de pre-tratamientos sofisticados.
	Desventajas	La generación de productos de degradación, durante la hidrólisis ácida, puede afectar al microorganismo encargado de realizar la posterior fermentación.
		Se hace necesario neutralizar los hidrolizados antes de la fermentación.

Agradecimientos: Los investigadores agradecen a la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco y a la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique – CARDIQUE– por facilitar el uso de sus laboratorios y asesorar la ejecución de la presente investigación. **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 Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, en modalidad Bolsa Concursable.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR RIVERA, N.; CANIZALES LEAL, M.J. 2004. Cinética de la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada. *Rev. Mex. Ing. Química*. (México): 3(3):257-263.
- BOÛTROS, F.; SARROUH, J.; JOVER, E. 2005. Estudio de la hidrólisis del bagazo con ácido sulfúrico concentrado utilizando dos variantes de una sola etapa y una sola etapa modificada para la obtención de etanol y análisis técnico-económico de dicho proceso. *Ingeniería e Investigación* (Colombia). 25(3):34-38.
- CARDONA ALZATE, C.J.; SÁNCHEZ TORO, O.J.; MONTOYA RODRÍGUEZ, M.I.; QUINTERO SUÁREZ, J.A. 2005. Producción de etanol carburante: material lignocelulósico una nueva alternativa. *Rev. Eidenar Univalle*. 3:47-55.
- CUELLO, C.; GARCÍA, M.; RODRÍGUEZ, I.; DÍAZ MENDOZA, C. 2008. Formulación y diagnóstico del plan de Manejo Integral de Residuos. *Revista Teknos*. (Colombia). 3(1):19-23.
- DELFIN ALCALÁ, I.; DURÁN DE BAZUA, C. 2003. Biodegradación de residuos urbanos lignocelulósicos. *Revista Internal Contaminación Ambiental*. (México). 19(1):37-45.
- FERRER, J.R.; PÁEZ, G.; ARENAS DE MORENO, L. 2002. Cinética de la hidrólisis ácida de bagacillo de caña de azúcar. *U. Zulia. Revista Facultad de Agronomía* (Venezuela). 19(1):23-33.
- GAMEZ, S.; GONZÁLEZ, J.; RAMÍREZ, J.; GARROTE, G.; VÁSQUEZ, M. 2006. Study of the hydrolysis of sugar cane bagasse using phosphoric acid. *J. Food Engineering*. 74(1):78-88.

8. LÁZARO, L.; ARAUZO, J.1994. Aprovechamiento de residuos de la industria de conservas vegetales: hidrólisis enzimática. *Revista Zúbia (España)*. 12:227-240.
9. LIS, M.J.; CARRILLO, F.; COLOM, X.; MARTÍNEZ, D.; NOGUÉS, F. 2000. Hidrólisis ácida de paja previa a su tratamiento enzimático determinación de un modelo cinético. *Ing. Química (España)*. 32(369):181-186.
10. LÓPEZ-MIRANDA, J.; SOTO-CRUZ, N.; RUTIAGA-QUIÑONES, O. 2009. Optimización del proceso de obtención enzimática de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino. *Rev. Internal Contam. Ambient. (México)*: 25(2):95-102.
11. MEJÍA, L.F.; MARTÍNEZ CORREA, H.A.; BETANCOURT GUTIÉRREZ, J.E.; CASTILLÓN CASTAÑO, C.E. 2007. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia (Colombia)*. 3(6):41-62.
12. MONSALVE, G.J.; MEDINA DE PÉREZ, V.; RUÍZ COLORADO, A. 2006. Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna. (Colombia)*. 73(150):21-27.
13. MOYA, M.; ROMERO, I.; SÁNCHEZ, S.; RUÍZ, E.; CASTRO, A.; BRAVO V. 2007. Ethanolic fermentation of phosphoric acid hydrolysates from olive tree pruning. *Industrial Crops and Products (España)*. 25(2):160-168.
14. ÖHGREN, K.; BURA, R.; SADDLER, J.; ZACCHI, G. 2007. Effect of hemicellulose and lignin removal on enzymatic hydrolysis of steam pretreated corn stover. *Bioresource Techn. (Canada)*. 98(13):2503-2510.
15. SALAMANCA, G.1999. Determinación de azúcares mayoritarios en mieles de *Apis mellifera* por cromatografía líquida. *O'apicultor, (Colombia)*. 29(7):17-18.
16. SUN, Y.; CHENG, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology (USA)*. 83(1):1-11.
17. SÁNCHEZ VILLASCLARAS, S.; BRAVO RODRÍGUEZ, V.; GARCÍA MARTÍN, J.F. 2010. Producción de bioetanol a partir del residuo de la poda del olivo. Ed. *Curbet Com. Gráfica, España*. 92p.
18. TEJEDA, L.P.; TEJADA, C.; VILLABONA, A.; ALVEAR, M.R.; CASTILLO, C.R.; HENAO, D.L.; MARIMÓN W.; MADARIAGA, N.; TARÓN, A. 2010. Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Rev. Educación en Ingeniería*. 10:120-125.
19. TEJEDA, L.; TEJADA, C.; VILLABONA, A.; TARON, A.; ALVEAR, M.; CASTILLO, C.; HENAO, D.; MARIMON, W. 2009. Producción de etanol carburante a partir de las cáscara de mango (*Mangifera indica*) y papaya (*Carica papaya*). *Ciencias e Ingeniería al Día*. 4(1):41-47.

Recibido: Julio 26 de 2010

Aceptado: Marzo 14 de 2011

EFECTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AGUA SOBRE SU DESINFECCIÓN FOTOCATALÍTICA

EFFECT OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER ON ITS PHOTOCATALYTIC DISINFECTION

Camilo Castro¹, Carlos Romero², Oscar Salazar³, Aristóbulo Centeno⁴, Sonia A. Giraldo⁵

¹ Dr. Ing. Química, Ing. Químico, UIS. castro.lopezcamilo@gmail.com; ² Ing. Químico, UIS. caferova@gmail.com; ³ Ing. Químico, UIS. woodyworld24@hotmail.com; ⁴ Profesor Titular, Escuela de Ingeniería Química, UIS, Doctor en Ciencias Aplicadas, Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. acenteno@uis.edu.co; ⁵ Profesora Titular, Escuela de Ingeniería Química, UIS, Doctora en Ciencias Naturales Aplicadas. Centro de Investigaciones en Catálisis (CICAT), Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander (UIS), A.A. 678 Bucaramanga, Colombia Fax: 57-7-6344684, e-mail: sgiraldo@uis.edu.co (Dirección para correspondencia).

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 117 - 125, 2011

RESUMEN

En el presente trabajo, se estudió la influencia de la presencia de compuestos inorgánicos en el agua sobre la inactivación bacteriana de ésta, cuando se utiliza un fotocatalizador. Se emplearon matrices artificiales con distintos contenidos de iones (HCO_3^-), Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HPO}_4)^{2-}$ por separado y combinados y un agua cruda, obtenida de una fuente hídrica. El microorganismo modelo fue una cepa nativa de *Escherichia coli*. Se comparó la desinfección aplicando el proceso SODIS (*solar disinfection*), con el fotocatalítico, utilizando TiO_2 Degussa P-25, como fotocatalizador. Los resultados mostraron que la presencia de Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$ o $(\text{HPO}_4)^{2-}$, incrementa el tiempo de desinfección en los procesos de SODIS y fotocatalítico, de manera proporcional a la cantidad de ión en la reacción, pero en diferente proporción. En los tres casos, el tiempo de desinfección con fotocatalizador es menor que sin éste. La presencia del ion (HCO_3^-) también aumenta el tiempo de desinfección en el proceso fotocatalítico, contrario a lo que sucede en el SODIS, para el cual, este tiempo decrece. Además, se evidenció que el tiempo de desinfección efectivo a las 24h también es afectado por la presencia de los iones y, que en la mayoría de las reacciones con el fotocatalizador, se obtiene un efecto residual mayor que con el proceso SODIS.

Palabras clave: Fotodesinfección, SODIS, TiO_2 , *Escherichia coli*.

SUMMARY

The present work aims to identify the influence of the chemical composition of water on bacterial inactivation using a photocatalyst. Several simulated water matrixes were prepared using different concentrations of (HCO_3^-) , Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HPO}_4)^{2-}$ on individual suspensions and all together, as well as, water from a natural source. A native strain of *Escherichia coli* was used as a model microorganism, and TiO_2 Degussa P-25 was employed as the photocatalyst. Results show that, in different proportions, the presence of Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$ or $(\text{HPO}_4)^{2-}$ increases the disinfection time in the SODIS (*solar disinfection*) and in photocatalytic processes, proportional to the amount of ion in the reaction. In these three cases, the disinfection time in the presence of the photocatalyst was shorter than without it. (HCO_3^-) also increased the disinfection time in the photocatalytic process, but contrarily, in the SODIS process, the disinfection time decreases with the concentration of this ion. Additionally, it was proven that the effective disinfection time for 24h without bacterial regrowth after irradiation is affected by the presence of these ions, and in most of the reactions, with the photocatalyst the residual effect is greater than the one originated with the SODIS process.

Key words: Photodisinfección, SODIS, TiO_2 , *Escherichia coli*.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha venido estudiando la aplicación de técnicas avanzadas de oxidación (TAOs) al tratamiento de aguas para consumo humano, buscando mejores resultados que con los métodos tradicionales y menores costos de procesamiento (Carp *et al.* 2004; Conroy *et al.* 2001; Lonnen *et al.* 2005; Malato *et al.* 2009). Una de las técnicas más promisorias, por su universalidad de aplicación, es la desinfección fotocatalítica (DF), que ha mostrado una disminución apreciable en el tiempo de desinfección, comparada con el método SODIS (Solar Disinfection), el cual, ha evidenciado un muy buen desempeño en la adecuación de aguas contaminadas a muy bajo costo (Rincón *et al.* 2005; Malato *et al.* 2009; Castro-López *et al.* 2010).

Cuando se trata agua cruda tomada, de forma directa de una cuenca hídrica, la capacidad de fotodesinfección del TiO_2 se reduce considerablemente (Marugán *et al.* 2008), por la influencia de diferentes componentes orgánicos y/o inorgánicos, que conforman la matriz del agua. El efecto de la composición química del agua en la eficiencia de los procesos de desinfección fotocatalítica es un punto crucial para la aplicación real de esta técnica en campo, puesto que las aguas naturales, usualmente, contienen concentraciones significativas de sustancias orgánicas e inorgánicas (Marugán *et al.* 2008). La presencia de iones inorgánicos afectan los procesos de desinfección solar y fotocatalítica, retardando la velocidad de inactivación de microorganismos en agua (Alrousan *et al.* 2009; Marugán *et al.* 2008), como también disminuye la velocidad de degradación de compuestos orgánicos (Qourzal *et al.* 2007; Riga *et al.* 2007).

En experimentos preliminares realizados en nuestro laboratorio, se observó que una cepa *Escherichia coli* tomada de una fuente hídrica natural (*E. coli* nativa) era más resistente en los procesos SODIS y DF, que la cepa *E. coli* estándar ATCC 11229. Quek *et al.* (2008) observaron un comportamiento similar en la inactivación con luz ultravioleta (UV de $\lambda = 200 - 400\text{nm}$), de la cepa ATCC 11229 y una cepa nativa de *E. coli*; sin embargo, ambas cepas fueron más resistentes que la cepa ATCC 11775 al mismo tratamiento, lo que sugiere que la más sensible tiene procesos de reactivación (inducidos por radiación blanca) menos eficientes, y/o menos enzimas de fotorreactivación, causando que la reparación del daño causado por la luz UV sobre el DNA sea más lenta.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se propuso analizar el comportamiento de una bacteria *E. coli* nativa frente a los procesos SODIS y DF, aplicando matrices de agua simuladas con presencia de los iones Cl^- , $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{SO}_4)^{2-}$ o/y $(\text{HPO}_4)^{2-}$. El fotocatalizador empleado

fue el TiO_2 comercial P-25 (Evonik; antes Degussa), el cual, presenta una alta fotoactividad hacia la inactivación de microorganismos (Christensen *et al.* 2003; Gumy *et al.* 2006; Herrman, 2010; Smith *et al.* 2000). Se utilizó la *E. coli* como microorganismo modelo por ser indicadora de la contaminación microbiológica del agua y por sus facilidades de cultivo y de aislamiento. Además, se analizó el efecto post irradiación de cada reacción, para determinar el tiempo de desinfección efectivo, después de un periodo en la oscuridad de 24h (TDE_{24}).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los reactivos aplicados fueron de grado analítico: CaHCO_3 (Carlo Erba), MgSO_4 (Merck), Na_2PO_4 (Carlo Erba), NaCl (Merck) HCl (Merck), NaOH (Merck) y el TiO_2 comercial (Degussa P-25) con 70:30 anatasa:rutilo, área superficial $55 \pm 15\text{m}^2/\text{g}$ y tamaño de partícula promedio de 30nm. Se utilizó, como referencia para la preparación del agua simulada, las concentraciones correspondientes al agua de una fuente natural que alimenta el acueducto de Floridablanca, Santander, Colombia (Puente Rojo de río Frío), del cual, se encontraron las siguientes concentraciones de los iones estudiados: $(\text{HPO}_4)^- = 7 \times 10^{-2}\text{mg/L}$, $(\text{SO}_4)^{2-} = 3,8\text{mg/L}$, $\text{Cl}^- = 6,7\text{mg/L}$, $(\text{HCO}_3)^- = 48,1\text{mg/L}$.

Preparación del cultivo bacteriano para las reacciones de desinfección: Se manipuló una cepa *E. coli* nativa, extraída de un lago de agua estancada. El cultivo, se realizó tomando dos colonias de un cultivo previo, en un medio enriquecido agar recuento (AR, Merck), que se inoculó en 10mL de medio nutritivo Luria Bertani (LB); triptona (Oxoid) al 1% p/v; extracto de levadura (Oxoid) al 0,5% p/v y NaCl (Carlo Erba) al 1% p/v. El inoculo, se mantuvo durante 2,5h, con una agitación constante de 100rpm y una temperatura fija de $35 \pm 2^\circ\text{C}$. Luego, se diluyó en 90mL de medio LB; se mantuvo en las mismas condiciones de agitación y de temperatura durante 10h, hasta alcanzar la fase estacionaria de crecimiento. De allí, se tomó una alícuota de 2mL, se centrifugó durante 10min a 3000rpm, se recuperó el *pellet* de biomasa celular, se diluyó en 1mL de solución salina (0,85% p/v) esterilizada; este procedimiento, se repitió dos veces. Al final el *pellet* de biomasa, se diluyó en 1mL de agua destilada y esterilizada y se agregó al reactor.

Reacciones de desinfección: Se realizaron en frascos de borosilicato con 50mL de agua destilada y esterilizada con el ion Cl^- , $(\text{HCO}_3)^-$, $(\text{SO}_4)^{2-}$ o $(\text{HPO}_4)^{2-}$; a una concentración entre 0 y 5mmol/L. Se emplearon 0,02 g de TiO_2 como fotocatalizador, para obtener una concentración de 0,4 g/L, y 1mL de suspensión bacteriana, preparada como se describió anteriormente, para alcanzar una concentración aproximada de 10^7 unidades formadoras de colonia por unidad de volumen (UFC/mL); se ajustó el pH en $7,0 \pm 0,2$

con solución de HCl o NaOH, según el caso y se mantuvieron en la oscuridad durante 30 min, con agitación constante de 100rpm, antes de iniciar la irradiación. Los reactores, se irradiaron utilizando una cámara suntest (CPS+, ATLAS), con temperatura y radiación controlada y con longitudes de onda de irradiación entre 300 y 800nm, con 7% de los fotones emitidos, entre 300 y 400nm. La intensidad de radiación aplicada fue de 400W/m² y la temperatura, de 35°C. El tiempo de reacción fue de 3h y durante este tiempo, se tomaron muestras, que se analizaron por un procedimiento estándar de diluciones en serie. De cada dilución decimal, se sembraron 10μL por duplicado en AR y se incubaron a 35±2°C durante 18h, para el posterior conteo de las colonias sobrevivientes. Adicionalmente, se llevaron a cabo reacciones sin TiO₂ (SODIS) y las de referencia; sin el ion y sin TiO₂ ni el ion.

Con el propósito de conocer el tiempo de desinfección efectivo TDE₂₄, que es el tiempo mínimo al que debe estar la bacteria bajo irradiación para que después de un periodo de 24h en la oscuridad no se evidencie su recrecimiento, se tomó una alícuota de cada muestra tomada durante la reacción de desinfección y se guardó en la oscuridad, por un periodo de 24 h, para luego ser diluida y sembrada en AR. Se usó el mismo procedimiento estándar, manejado para el análisis de las muestras tomadas durante las reacciones.

Además, se realizaron reacciones con agua cruda y agua destilada con los cuatro iones simultáneamente a las concentraciones del agua cruda encontradas en el río Frío

y a tres niveles de irradiación (250, 400 y 700W/m²). Las reacciones con agua cruda, se siguieron con el procedimiento descrito anteriormente, pero haciendo la siembras en un medio de cultivo selectivo agar MacConkey (AMC; Oxoid), para detectar coliformes totales. La concentración de coliformes totales detectada en el agua de río Frío fue de 5x10⁻⁴ UFC/mL.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los iones sobre el proceso de desinfección:

En las figuras 1 a 4, se muestra el efecto de cada uno de los iones estudiados Cl⁻, (HCO₃)⁻, (SO₄)²⁻, (HPO₄)²⁻ sobre la *E. coli* nativa, durante los procesos DF y SODIS. En estas figuras, se observa que la presencia de los iones en el agua logra alterar el comportamiento de la bacteria en los dos procesos de desinfección.

La figura 1 muestra que el ion Cl⁻ tiene un efecto inhibitorio en la DF y que este efecto aumenta a medida que se incrementa la concentración del ion en el agua. El tiempo de desinfección aumenta 60 min para el agua que contiene 5mmol/L, comparada con el agua sin iones Cl⁻. Por otro lado, para el proceso SODIS, la influencia del Cl⁻ es menor que para la DF, pues la mayor concentración usada del ion Cl⁻ (5mmol/L) en SODIS aumentó el tiempo de desinfección en 40min, mientras que usando bajas concentraciones, como 0,086 y 0,5mmol/L, se registró un comportamiento similar a la desinfección solar sin el ion.

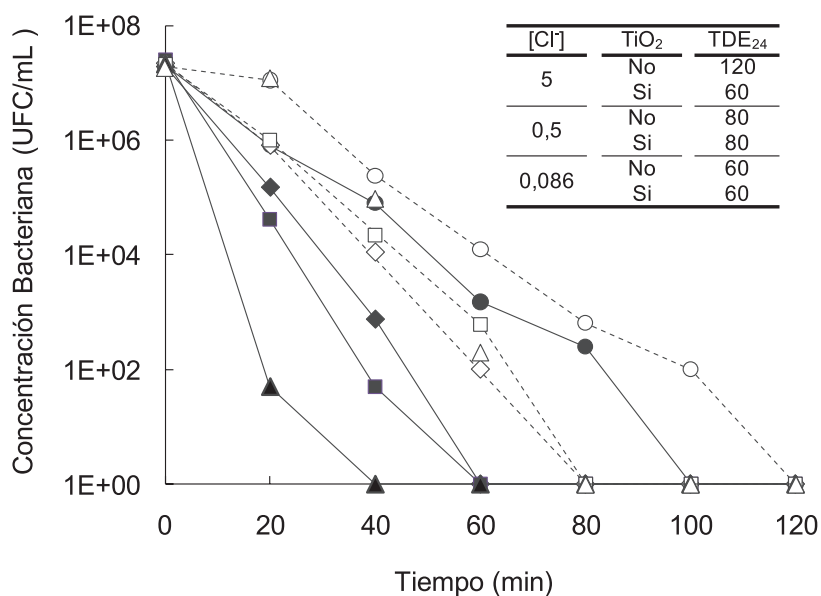


Figura 1. Comportamiento de la *E. coli* en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes concentraciones del ion Cl⁻ (mmol/L): 5 (● y ○), 0,5 (◆), 0,086 (■), y sin ion (▲ y △). La tabla insertada presenta el TDE₂₄ (min) para DF (con TiO₂) y SODIS (sin TiO₂).

La figura 2 indica que el ion $(\text{HCO}_3)_-$ también tiene un efecto inhibitorio en el proceso de DF a las concentraciones analizadas (5; 0,695 y 0,5mmol/L), mientras que en el proceso SODIS, empleando una concentración de 5mmol/L de $(\text{HCO}_3)_-$ existe un efecto ligeramente favorable disminuyendo la velocidad de inactivación; sin embargo, no se evidenciaron cambios en el tiempo de desinfección.

La figura 3 señala que el ion $(\text{SO}_4)_2^-$ inhibe los procesos de DF y SODIS. En la DF, la influencia de la concentración es muy leve, mientras que para SODIS, a una concentración de 5mmol/L, se observa un efecto negativo notable. Concentraciones menores del ion, como 0,043 y 0,5mmol/L no causaron cambios significativos en ninguno de los procesos.

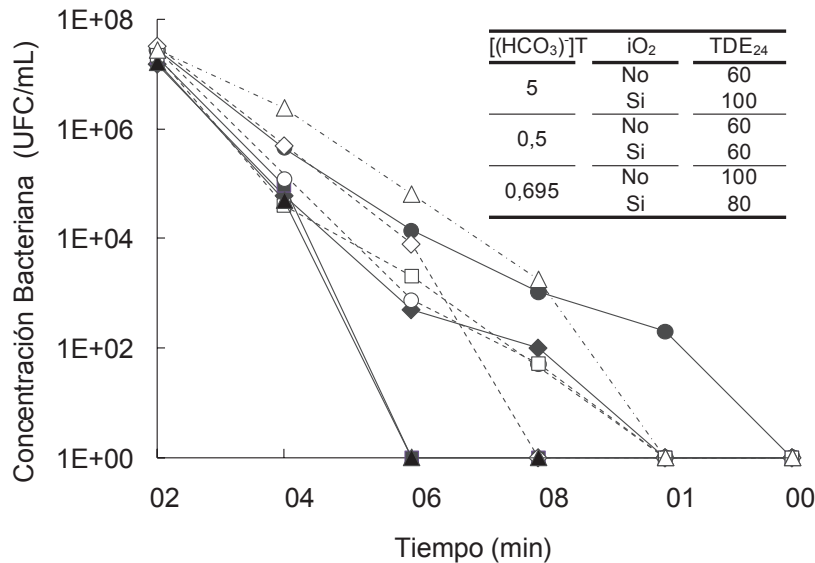


Figura 2. Comportamiento de la *E. coli* en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes concentraciones del ion $(\text{HCO}_3)_-$ (mmol/L): 5 (● y ○), 0,5 (◆ y ◇), 0,695 (■ y □), y sin ion (▲ y △). La tabla insertada presenta el TDE_{24} (min) para DF (con TiO_2) y SODIS (sin TiO_2).

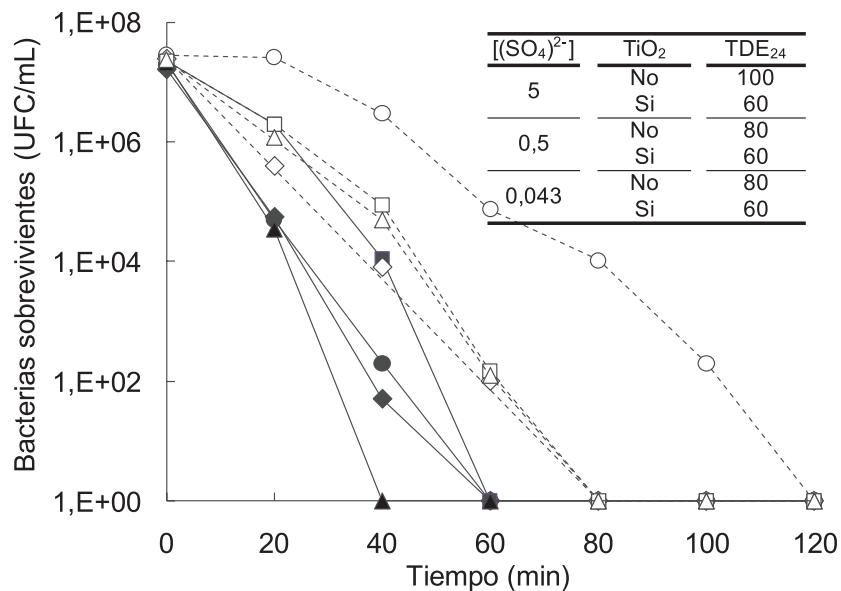


Figura 3. Comportamiento de la *E. coli* en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes concentraciones del ion $(\text{SO}_4)_2^-$ (mmol/L): 5 (● y ○), 0,5 (◆ y ◇), 0,043 (■ y □), y sin ion (▲ y △). La tabla insertada presenta el TDE_{24} (min) para DF (con TiO_2) y SODIS (sin TiO_2).

El ion $(\text{HPO}_4)^{2-}$ tiene un efecto inhibitorio en el intervalo de concentraciones (5, 0,5 y $9,6 \times 10^{-4}$ mmol/L) analizado, como se observa en la figura 4; no obstante, en la DF el efecto es mucho mayor que para SODIS, en donde el efecto de una alta concentración de 5mmol/L causó un pequeño incremento de 20min, en el tiempo de desinfección.

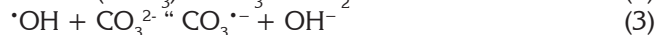
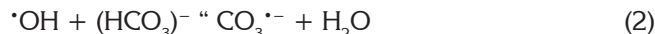
El efecto inhibitorio a altas concentraciones de los diferentes iones, teniendo en cuenta el tiempo de inactivación, se puede resumir así:

DF: $(\text{HPO}_4)^{2-} > (\text{HCO}_3)^- \gg \text{Cl}^- > (\text{SO}_4)^{2-} > \text{sin ion}$
 SODIS: $\text{Cl}^- \gg (\text{SO}_4)^{2-} \geq (\text{HPO}_4)^{2-} > \text{sin ion} > (\text{HCO}_3)^-$

La influencia negativa de cada uno de los iones en la DF, se puede interpretar considerando, en primera instancia, que los aniones (A^-) reducen la tasa de desinfección al neutralizar las especies oxidantes ($\cdot\text{Ox}$), tales como los radicales $\cdot\text{OH}$ y $\text{HO}_2\cdot$ de acuerdo a la Ec. (1)



Generalmente, los radicales formados ($A^{\cdot-}$) tienen una menor capacidad oxidativa que los radicales que se producen durante el proceso fotocatalítico. Un ejemplo de la neutralización de las especies altamente oxidantes, se muestra en las Ecs. (2) y (3) con el bicarbonato.



Además, la competencia por los huecos generados en el fotocatalizador Ec. (4), es otro factor que podría inhibir el proceso de DF, al disminuir la cantidad de radicales altamente oxidantes, que se forman durante el proceso (Chong *et al.* 2010).



La inhibición también se podría dar por la adsorción de los aniones en la superficie del fotocatalizador, lo cual, evita que los rayos UV alcancen las partículas del fotocatalizador, disminuyendo la generación de radicales oxidantes (Rincón & Pulgarín, 2004). Si se tiene en cuenta que el efecto de inhibición podría depender de la cantidad adsorbida del ion sobre la superficie de las partículas del TiO_2 , entonces, de acuerdo a los resultados, el orden de afinidad entre cada uno de los iones y la superficie del TiO_2 sería el mismo que el observado para la efectividad de la DF, nombrado anteriormente.

Aunque las anteriores interpretaciones también se aplicarían para el ion sulfato, en este caso, se puede agregar que el radical $\text{SO}_4^{\cdot-}$ que se forma (Ec. (5)) es uno de los principales intermedios oxidantes, que conllevan a la formación de CO_2

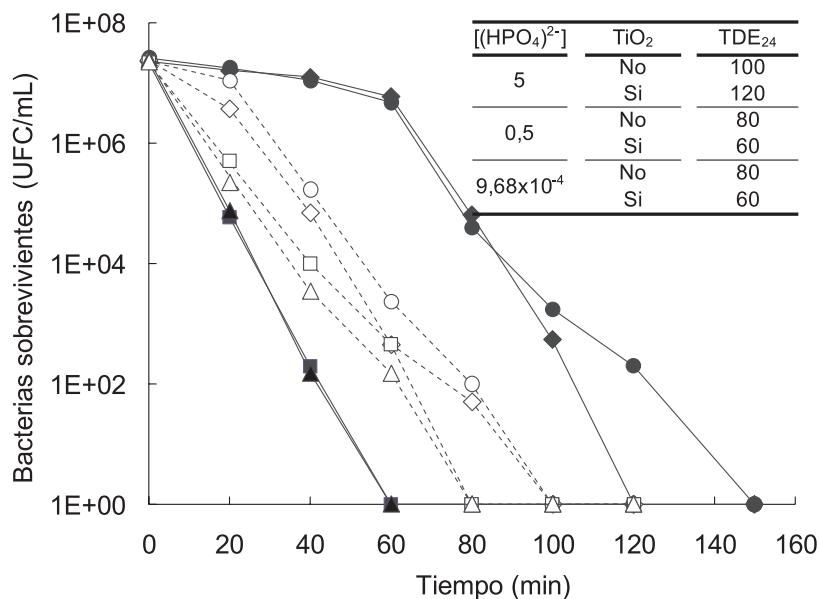
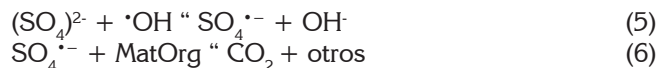


Figura 4. Comportamiento de la *E. coli* en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes concentraciones del ion $(\text{HPO}_4)^{2-}$ (mmol/L): 5 (● y ○), 0,5 (◆ y ◇), $9,68 \times 10^{-4}$ (■ y □), y sin ion (▲ y △). La tabla insertada presenta el TDE_{24} (min) para DF (con TiO_2) y SODIS (sin TiO_2).

bajo radiación UV, Ec. (6), (Abdullah *et al.* 1990). Esta es una buena razón para creer que el $SO_4^{\bullet-}$ puede oxidar la materia orgánica (MatOrg), también adsorbida en la superficie del TiO_2 , de acuerdo a las Ecs. (5) y (6).



El hecho que entre los iones estudiados el sulfato tenga el menor efecto sobre la desinfección puede estar relacionado con la reacción entre el $SO_4^{\bullet-}$ y los diferentes compuestos orgánicos adsorbidos en la superficie del TiO_2 (Ec. (6)); esta reacción es más rápida que la correspondiente con otros radicales, como el $H_2PO_4^{\bullet}$ (Abdullah *et al.* 1990), retrasándose la inactivación de la bacteria.

Adicionalmente, se conoce que las constantes de las velocidades de formación de los radicales $Cl_2^{\bullet-}$ y $SO_4^{\bullet-}$, provenientes de la reacción entre los radicales Cl^{\bullet} y $(SO_4)_2^{\bullet-}$ (Ec. 1, con $\bullet Ox = \bullet OH$), son $4,3 \times 10^9$ y $3,5 \times 10^5$ mol/L.s, respectivamente (Malato *et al.* 2009), por lo tanto, es de esperarse que la diferencia en la inhibición de la DF por el ión Cl^{\bullet} sea mayor que la del ión $(SO_4)_2^{\bullet-}$, ya que la velocidad de la reacción de atrapamiento del $\bullet OH$ es mayor con el primero.

Por otro lado, la acción positiva del $(HCO_3)^{\bullet-}$ en los procesos SODIS (Figura 2), se puede explicar por la alta absorción del anión por la *E. coli* que altera la naturaleza de la membrana celular y la vuelve más sensible a la exposición

de la radiación solar simulada (Rincón & Pulgarín, 2004). Por el contrario, en presencia de TiO_2 este efecto se ve disminuido, probablemente, por la absorción del ion sobre la superficie del fotocatalizador, lo que disminuye la interacción con la membrana del microorganismo y, a la vez, reduce la formación de radicales oxidantes, retardando la velocidad de inactivación en la DF.

Para el caso del fosfato, se sabe que éste es adsorbido por la superficie de las partículas de TiO_2 , formando una capa que inhibe la absorción de luz y, por lo tanto, su fotoactivación (Chong *et al.* 2010); además, la adsorción del ion $(HPO_4)^{2-}$ por el TiO_2 es mayor que en el caso de Cl^{\bullet} , $(HCO_3)^{\bullet-}$ y $(SO_4)_2^{\bullet-}$ (Rincón & Pulgarín, 2004). Por esta razón, se genera una inhibición en la generación de radicales, lo que aumenta el tiempo de desinfección total. Adicionalmente, se conoce que el $(HPO_4)^{2-}$ sirve como nutriente para los microorganismos y sostiene el crecimiento de las bacterias en las aguas naturales (Sathasivan *et al.* 1997). Lo anterior podría mejorar las condiciones en el medio para las bacterias y así promover la generación y liberación de enzimas, como la superoxidodismutasa y la catalasa, que pueden contrarrestar los efectos de los radicales oxidantes, como el superóxido ($O_2^{\bullet-}$) y el hidróperóxido (HO_2^{\bullet}), respectivamente.

Al comparar los valores de los TDE_{24} en las tablas insertadas en cada figura (1-4), se observa, en la mayoría de las reacciones, que éste se reduce con la presencia de TiO_2 .

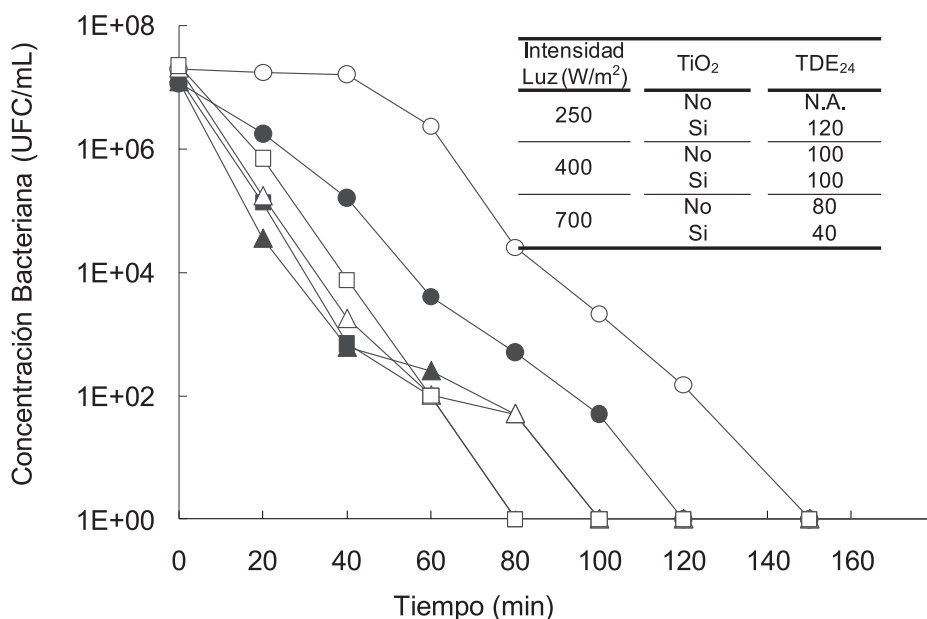


Figura 5. Comportamiento de la *E. coli* en el agua sintética en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes intensidades de irradiación (W/m^2): 250 (\bullet y \circ), 400 (\blacktriangle y \triangle), 700 (\blacksquare y \square). La tabla insertada presenta el TDE_{24} (min) para DF (con TiO_2) y SODIS (sin TiO_2). N.A.: No Alcanzado.

Adicionalmente, con la presencia de cada ion sin TiO_2 , se percibe un efecto muy similar al observado en el tiempo de desinfección, es decir, para la DF el $(\text{HPO}_4)^{2-}$ y el $(\text{HCO}_3)^-$ a alta concentración (5mmol/L) son los iones que causan la mayor inhibición de la desinfección, al igual que son los que más aumentan el TDE_{24} (120 y 100min, respectivamente). Esto es debido, posiblemente, a que el fosfato puede actuar como nutriente para la bacteria, como ya se mencionó. En el caso de los carbonatos es debido a su acción altamente negativa sobre la DF, lo que provoca un aumento en el periodo de inactivación y así mismo en el TDE_{24} .

Efecto de la competición de los iones: La figura 5 muestra el comportamiento de las bacterias cuando son expuestas a los procesos SODIS y DF en una matriz de agua simulada con las concentraciones de iones semejantes a las del agua cruda. En general, se observa que el tiempo de desinfección, en el proceso de DF aumenta cuando están presentes los cuatro iones en comparación de cuando se evalúa su acción por separado a una potencia de 400W/m^2 . A intensidades de luz, entre 400 y 700W/m^2 , no existe una diferencia apreciable entre los efectos bactericidas de SODIS y DF, lo que puede ser debido al efecto directo de la radiación únicamente, puesto que a 400W/m^2 la radiación UV sobre las bacterias es suficiente para inactivarlas, en tiempos relativamente cortos, lo que no permite apreciar la capacidad foto-oxi-reductora del TiO_2 . Sólo a intensidades bajas, como 250W/m^2 , se logra apreciar el efecto del TiO_2 , en la reducción del tiempo de desinfección.

Desinfección del agua natural de río Frío: En la figura 6, se registra el comportamiento de coliformes que se encuentran presentes en el agua cruda frente a los dos procesos SODIS y DF. Se observa que el comportamiento de los microorganismos en ambos procesos es el esperado, mostrando una aceleración en la reacción de desinfección a intensidades de luz de 700W/m^2 . Se puede apreciar que la presencia del TiO_2 aumenta la velocidad de desinfección, lo que confirma que la DF es una tecnología más eficiente que la SODIS, en el tratamiento de aguas crudas.

En las tablas insertadas en las figuras 5 y 6, se señala que en todos los casos el TDE_{24} es menor en la DF que para el proceso SODIS. Lo que indica, que el efecto neto de oxidación de los radicales producidos en la DF es más efectivo que el proceso SODIS, aun cuando se usan los cuatro iones estudiados en conjunto. Se advierte, además, que el tiempo necesario para la inactivación es mayor que el correspondiente TDE_{24} . El caso más representativo de este efecto es en el agua sintética, tratada a 700W/m^2 ; durante la reacción el tiempo de desinfección fue de 80min (Figura 5), pero después de 24h, en la oscuridad, la muestra que fue tomada a los 40min de reacción no mostró presencia alguna de la *E. coli*, lo que reveló la efectividad de la presencia del TiO_2 , sometido a altas intensidades de luz. Lo anterior representa un factor importante en el establecimiento de condiciones de irradiación de suspensiones *E.coli*- TiO_2 en la DF, pues aunque no se haya alcanzado la desinfección total aparente (medida en muestras frescas), sí se ha

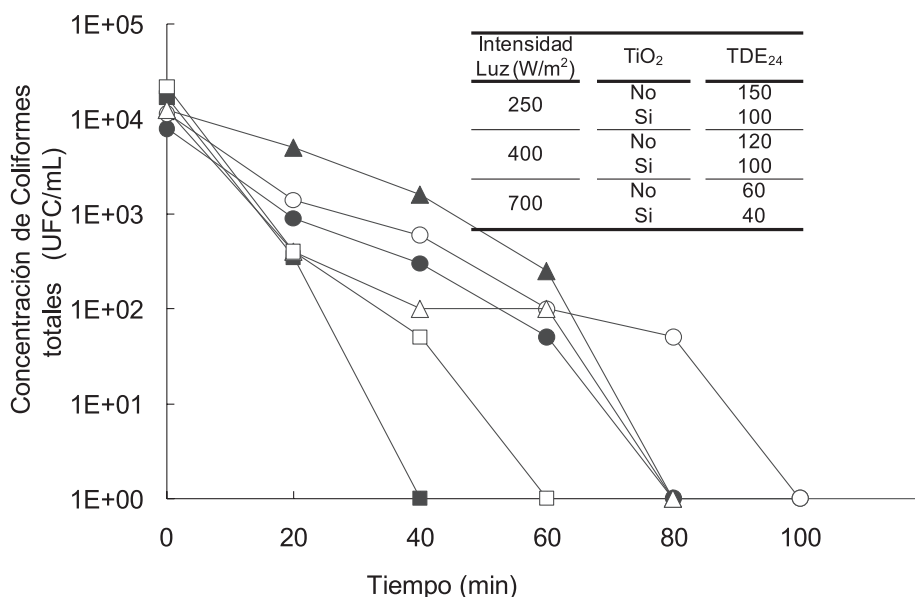


Figura 6. Comportamiento de coliformes totales del agua cruda en las reacciones de DF (símbolos llenos) y SODIS (símbolos vacíos), a diferentes intensidades de irradiación (W/m^2): 250 (● y ○), 400 (▲ y △), 700 (■ y □). La tabla insertada presenta el TDE_{24} (min) para DF (con TiO_2) y SODIS (sin TiO_2).

alcanzado un daño tal que, a los 40 min de irradiación, el microorganismo no puede recuperarse y muere. Por lo tanto, una vez alcanzado este estado no se necesitaría continuar la irradiación; sin embargo, a bajas potencias de irradiación es probable que no se genere la cantidad suficiente de radicales oxidantes para inactivar el microorganismo, lo que permite a la bacteria tener una mayor oportunidad para contrarrestar dichos radicales, gracias a sus mecanismos de defensa y de recuperación (Sommer *et al.* 1998), lo que aumenta el TDE_{24} .

Se debe tener en cuenta que la concentración inicial de microorganismos en el agua de la fuente natural ($\sim 10^4$ UFC/mL, Figura 6) es tres órdenes de magnitud menor, que la concentración inicial, usada en los experimentos con agua sintética ($\sim 10^7$ UFC/mL, Figura 5). Debido a esto, la inactivación se lleva a cabo en tiempos más cortos, en el caso del agua de río; no obstante, los TDE_{24} son similares en ambos experimentos. Esto indica, que la cantidad de especies oxidantes producidas durante la irradiación del TiO_2 , por ejemplo, a $700W/m^2$, sobrepasa la cantidad necesaria para inactivar totalmente una población de microorganismos de $\sim 10^4$ UFC/mL, en un tiempo de tratamiento de ~ 60 min. De hecho, este tiempo de tratamiento es suficiente para desactivar una población de *E. coli* con una concentración mil veces mayor, como en el caso del agua sintética, mostrada en la figura 5. Por consiguiente, es posible determinar el tiempo de irradiación necesario en la DF sin sobreestimar el potencial de oxidación del sistema de tratamiento, respecto a la concentración inicial de microorganismos, como ya se mencionó.

Adicionalmente, y contrario a lo esperado, como se observa en la figura 5, no se presentó una suma de los efectos de disminución de la DF de los iones por separado en el agua sintética, sino que la efectividad de la misma, con una concentración de iones análoga a la del agua de río, fue similar a la del proceso de desinfección solar. Se ha observado que el efecto de los iones parece contrarrestarse, cuando se aplica TiO_2 a la DF de aguas reales (Marugan *et al.* 2010) e, incluso, Gomes *et al.* (2009) observaron este efecto en la desinfección solar en estudios, a nivel de planta piloto. Entonces, es probable que el efecto sobre la superficie del TiO_2 por adsorción de los iones prevalezca sobre el atrapamiento de radicales oxidantes en fase homogénea, de modo que la superficie queda cubierta por una misma cantidad de iones que en el caso de su análisis en forma individual, y así la efectividad es similar bajo diferentes potencias de irradiación. De hecho, se ha observado el atrapamiento de los h^+ fotogenerados por iones inorgánicos (Ec. 4), adsorbidos en la superficie del TiO_2 , como Cl^- , $(SO_4)^{2-}$ y NO_3^- , disminuyendo la fotoactividad hacia la degradación de compuestos orgánicos (Mahmoodi *et al.* 2007). Este efecto, se percibe en todos los casos, exceptuando la curva

de desinfección, a $250 W/m^2$, en agua sintética, en donde es probable que a bajas potencias de irradiación prevalezca el efecto de iones desestabilizadores de la membrana del microorganismo, que generan un aumento en su sensibilidad a la fotoinactivación con TiO_2 y a la radiación solar simulada; sin embargo, este efecto no se observa para el agua natural (Figura 6), lo que indica que no se presenta en una matriz real.

En este trabajo, se determinó la influencia de los iones $(HCO_3)^-$, Cl^- , $(SO_4)^{2-}$ y/o $(HPO_4)^{2-}$ y su concentración en la fotodesinfección de agua. En todos los casos, su efecto fue negativo y proporcional a la cantidad de iones presente. El $(HPO_4)^{2-}$ es el ión que más inhibe la fotodesinfección, debido a su fuerte adsorción sobre la superficie del TiO_2 y, además, sirve como nutriente de las bacterias lo que, posiblemente, mejora las condiciones metabólicas, contrarrestándose el efecto de los radicales oxidantes.

En la desinfección de un agua sintética con todos los iones presentes, el efecto del fotocatalizador es apreciable a intensidades de luz bajas ($250W/m^2$). Al aumentar la intensidad de la radiación ($700W/m^2$) mejora la acción de desinfección, pero no se aprecia la acción del fotocatalizador. Este aumento de intensidad, además, genera un efecto neto oxidativo, que disminuye el tiempo de desinfección efectivo (TDE_{24}) del proceso.

Agradecimientos: Este trabajo, se realizó gracias al soporte financiero de COLCIENCIAS, el SENA y la UIS, en el marco del proyecto “Desarrollo de procesos heliofotocatalíticos para la producción de agua potable en pequeñas comunidades en Santander” (código 1102341-19419). **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. ABDULLAH, M.; LOW, G.K.; MATTHEWS, R. 1990. Effects of common inorganic anions on rates of photocatalytic oxidation of organic carbon over illuminated titanium dioxide. *J. Physics Chem.* 94(17):6820-6825.
2. ALROUSAN, D.; DUNLOP, P.; MCMURRAY, T.; BYRNE, J. 2009. Photocatalytic inactivation of *E. coli* in surface water using immobilised nanoparticle TiO_2 films. *Water Res.* 43(1):47-54.
3. CARP, O.; HUISMAN, C.L.; RELLER, A. 2004. Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Progress in Solid State Chemistry.* 32(1):33-177.

4. CASTRO-LÓPEZ, C.A.; CENTENO, A.; GIRALDO, S.A. 2010. Fe-modified TiO₂ photocatalysts for the oxidative degradation of recalcitrant water contaminants. *Catalysis Today*. 157(1):119-124.
5. CHRISTENSEN, P.A.; CURTIS, T.P.; EGERTON, T.A.; KOSA, S.; TINLIN, J.R. 2003. Photoelectrocatalytic and photocatalytic disinfection of *E. coli* suspensions by titanium dioxide. *Applied Catalysis B*. 41(4):371-386.
6. CONROY, R.; MEEGAN, M.; JOYCE, T.; MCGUIGAN, K.; BARNES, J. 2001. Solar disinfection of drinking water protects against cholera in children under 6 years of age. *Archives of Disease Childhood*. 85(4):293-295.
7. CHONG, M.N.; JIN, B.; CHOW, C.; SAINT, C. 2010. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Research*. 44(10):2997-3027.
8. GOMES, A.; VILAR, V.; BOAVENTURA, R. 2009. Synthetic and natural waters disinfection using natural solar irradiation in a pilot plant studies with CPCs. *Catalysis Today*. 144(1):55-61.
9. GUMY, D.; MORAIS, C.; BOWEN, P.; PULGARÍN C.; GIRALDO, S.; HAJDÚ, R.; KIWI, J. 2006. Catalytic activity of commercial TiO₂ powders for the abatement of the bacteria (*E. coli*) under solar simulated light: Influence of the isoelectric point. *Applied Catalysis B*. 63(1):76-84.
10. HERRMAN, J.M. 2010. Photocatalysis fundamentals revisited to avoid several misconceptions. *Applied Catalysis B*. 99(3):461-468.
11. LONNEN, J.; KILVINGTON, S.; KEHOE, S.C.; AL-TOUATI, F.; MCGUIGAN, K.G. 2005. Solar and photocatalytic disinfection of protozoan, fungal and bacterial microbes. *Water Res*. 39(5):877-883.
12. MAHMOODI, N.M.; ARAMI, K.; LIMAEI, N.Y.; GHARANJIG, K.; NOURMOHAMMADIAN, F. 2007. Nanophotocatalysis using immobilized titanium dioxide nanoparticle: Degradation and mineralization of water containing organic pollutant: Case study Butachlor. *Materials Res. Bulletin*. 42(5):797-806.
13. MALATO, S.; FERNÁNDEZ, P.; MALDONADO, M.I.; BLANCO, J.; GERNJAK, W. 2009. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*. 147(1):1-59.
14. MARUGÁN, J.; GRIEKEN, R.; PABLOS, C.; SORDO, C. 2010. Analogies and differences between photocatalytic oxidation of chemicals and photocatalytic activation of microorganisms. *Water Res*. 44(3):789-796.
15. MARUGÁN, J.; GRIEKEN, R.; SORDO, C.; CRUZ, C. 2008. Kinetics of the photocatalytic disinfection of *Escherichia coli* suspensions. *Applied Catalysis B*. 82(1):27-36.
16. QOURZAL, S.; TAMIMI, M.; ASSABBANE, A.; AIT-ICHOÜ, Y. 2007. Influence de certains ions inorganiques, de l'éthanol et du peroxide d'hydrogène sur la photominéralisation du β-naphtol en présence de TiO₂. *Comptes Rendus Chimie*. 10(12):1187-1194.
17. QUEK, P.; HU, J. 2008. Indicators for photoreactivation and dark repair studies following ultraviolet disinfection. *J. Industrial Microbiology and Biotechnology*. 35(6):533-541.
18. RIGA, A.; SOUITSAS, K.; NTAMPEGLIOTIS, K.; KARAYANNIS, V.; PAPAPOLYMEROU, G. 2007. Effect of system parameters and of inorganic salts on the decolorization and degradation of Procion H-ex dyes. Comparison of H₂O₂/UV, Fenton, UV/Fenton, TiO₂/UV and TiO₂/UV/H₂O₂ processes. *Desalination*. 211(1):72-86.
19. RINCÓN, A.; PULGARÍN, C. 2004. Effect of pH, inorganic ions, organic matter and H₂O₂ on *E. coli* K12 photocatalytic inactivation by TiO₂: Implications in solar water disinfection. *Applied Catalysis B*. 51(4): 283-302.
20. RINCÓN, A.; GIRALDO, S.A.; PULGARÍN, C. 2005. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua. Blesa M.A., Blanco J. Eds., *Solar Safe Water*, Buenos Aires, p.203-219.
21. SATHASIVAN, A.; OHGAKI, S.; YAMAMOTO, K.; KAMIKO, N. 1997. Role of inorganic phosphorous in controlling regrowth in water distribution systems. *Water Science and Technology*. 35(8):37-44.
22. SMITH, R.J.; KEHOE, S.C.; MCGUIGAN, K.G.; BARER, M.R. 2000. Effects of simulated solar disinfection of water on infectivity of *Salmonella typhimurium*. *Letters in Applied Microbiol*. 31(4):284-288.
23. SOMMER, R.; HAIDER, T.; CABAJ, A.; PRIBIL, W.; LHOTSKY, M. 1998. Time dose reciprocity in UV disinfection of crude water for drinking-water production. *J. Photochemistry and Photobiology A*. 147(3):241-246.

Recibido: Agosto 26 de 2010

Aceptado: Enero 18 de 2011

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA CALIDAD DE LA ESCORRENTÍA PLUVIAL SOBRE TEJADOS PARA SU POSIBLE APROVECHAMIENTO EN ZONAS PERIURBANAS DE BOGOTÁ

PRELIMINARY ASSESSMENT OF ROOF RUNOFF RAIN WATER QUALITY FOR POTENTIAL HARVESTING IN BOGOTA'S PERI-URBAN AREAS

Andrés Torres¹, Sandra Méndez-Fajardo², Liliana López-Kleine³, Valentina Marín⁴, Jorge Andrés González⁵, Juan Camilo Suárez⁶, Julián David Pinzón⁷, Alejandra Ruiz⁸

¹Ingeniero Civil, Especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería, M.Sc. en Ingeniería Civil y Ph.D. en Ingeniería Civil con énfasis en Hidrología Urbana. Grupo de Investigación ISAD, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Edif. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá D.C., Colombia, andres.torres@javeriana.edu.co ²Ingeniera Civil y M.Sc en Ingeniería Civil con énfasis en Ingeniería Ambiental. Grupo de Investigación ISAD, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Edif. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá D.C., Colombia, sandra.mendez@javeriana.edu.co ³ Bióloga, M.Sc. en Ecología, Evolución y Biometría y Ph.D. en Ciencias Biológicas. Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Colombia, llopezk@unal.edu.co ^{4, 5, 6, 7} Estudiante de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Edif. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá D.C., Colombia, marinv@javeriana.edu.co, jgonzalezv@javeriana.edu.co, jsuarezb@javeriana.edu.co, julian.pinzon@javeriana.edu.co ⁸ Ingeniera Civil y estudiante de Maestría en Hidrosistemas. Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Edif. José Gabriel Maldonado, S.J., Bogotá D.C., Colombia, alejandra.ruiz.l@javeriana.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 127 - 135, 2011

RESUMEN

En Colombia, varias comunidades, cuyo acceso al servicio de agua potable es limitado o precario, recolectan aguas lluvias para diferentes usos domésticos. Este artículo presenta los resultados de análisis de calidad de aguas lluvias de escorrentía sobre tejados, en barrios de Kennedy (Bogotá) y del municipio de Soacha (Cundinamarca), con miras a evaluar su adaptabilidad para satisfacer usos domésticos, en dichas comunidades. De acuerdo a los resultados obtenidos, el agua muestreada no es apta para ninguno de los usos de las comunidades estudiadas, debido principalmente a altos valores de turbiedad y altas concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días y metales pesados; sin embargo, se detectó una alta variabilidad espacial y temporal de los resultados, así como en función de los materiales de los techos de las casas. En algunos casos y condiciones especiales, el agua lluvia de escorrentía sobre tejados, se podría adaptar para

ser utilizada como fuente alternativa para satisfacer algunos usos domésticos.

Palabras clave: Aprovechamiento de aguas lluvias, calidad de aguas lluvias urbanas, corrosión de tejados.

SUMMARY

In Colombia, several communities with limited or precarious access to potable water services collect rain water for different domestic uses. This paper presents results of the quality analysis of runoff rainwater on roofs in Kennedy (Bogotá) and Soacha (Cundinamarca) in order to evaluate their adaptability to satisfy domestic uses in these districts. Based on the results obtained, it can be conclude that the sampled water is not suitable for none of the possible domestic uses in these communities. This is due to high values of turbidity and high concentrations of Total Suspended Solids, Biochemical Oxygen Demand and heavy metals. Nevertheless, high spatial

and temporal variability was detected, as well as variability in function of the roof material. In some of the analyzed samples, the runoff water of the roofs could be adapted as an alternative for domestic uses.

Key words: Urban stormwater quality, stormwater harvesting, roof corrosion.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una atención creciente en el aprovechamiento del agua lluvia como fuente potencial de agua en las ciudades (Hatt *et al.* 2006; Fletcher *et al.* 2007). En especial, en países en desarrollo, el aprovechamiento de aguas lluvias se ha convertido, en los últimos años, en una alternativa interesante, debida, principalmente, al bajo costo de operación asociado. Así, por ejemplo, se han reportado experiencias exitosas de aprovechamiento de aguas lluvias en países en desarrollo, tanto de Asia (Han & Ki, 2010) como de Latinoamérica (Ghisi *et al.* 2009); sin embargo, internacionalmente, se reconoce que la implementación de estos sistemas depende no solamente de la cantidad de lluvia u oferta hídrica disponible en un determinado lugar, sino también de la calidad de ésta y de los usos que se le quieran dar (Mitchell *et al.* 2008). En efecto, las aguas lluvias urbanas contienen numerosos contaminantes que pueden afectar la salud humana y la calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Göbel *et al.* 2007; McCarthy *et al.* 2008). En la literatura, se reporta que las concentraciones típicas en áreas urbanas de metales presentes en las aguas de escorrentía, como resultado de la corrosión de las superficies de los tejados, varían de 0,1 µg/L a 32 µg/L, para Cd; de 3 µg/L a 247 µg/L, para Cu; de 16 µg/L a 2764 µg/L, para Pb y de 802 µg/L a 38061 µg/L, para Zn (Gromaire-Mertz *et al.* 1999; Göbel *et al.* 2007). Estos metales provienen de partículas de polvo como resultado de procesos de combustión, industrias de metales ferrosos y no ferrosos, plantas de incineración, industrias cementeras o vidrieras y tráfico vehicular (Göbel *et al.* 2007). Se ha hallado, además, que en aguas de escorrentía sobre superficies de tejados se encuentran concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST), entre 3 mg/L y 304 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días (DBO₅) entre 1 mg/L y 27 mg/L (Gromaire-Mertz *et al.* 1999) y valores bajos de pH (entre 4,7 y 6,8 según Göbel *et al.* 2007).

Varios factores influyen en la corrosión de los tejados, entre los que se encuentran la humedad relativa y el pH de la lluvia (Gromaire-Mertz *et al.* 1999). Así mismo, se ha encontrado que la concentración de contaminantes presentes en las aguas de escorrentía urbana depende también de depósitos atmosféricos en tiempo seco y en tiempos de lluvia, de las

características de la superficie y del tipo de zona urbana (Gromaire-Mertz *et al.* 1999; Schueler & Holland, 2000; Göbel *et al.* 2007). Adicionalmente, el proceso de escorrentía está estrechamente relacionado con las características de las precipitaciones, como el volumen, la intensidad, el caudal y los periodos de tiempo seco anterior.

En Colombia, varias comunidades recolectan aguas lluvias para diferentes usos domésticos, como desagüe de inodoros, lavado de patios, pisos y fachadas, riego y consumo animal y humano. Esta práctica es común en aquellas comunidades con un acceso limitado o precario al servicio de agua potable o cuando el costo del servicio no es adaptado al nivel de ingresos de los habitantes. Específicamente, de acuerdo con observaciones directas y salidas de campo a zonas periurbanas de Bogotá, realizadas desde el 2002, varias familias están, actualmente, empleando el agua lluvia de escorrentía sobre tejados, para satisfacer algunas prácticas domésticas sin evaluar, previamente, su calidad y, por lo tanto, existe un riesgo sanitario asociado a dicha explotación y, en particular, debido a la calidad del agua lluvia y su adaptabilidad a las diferentes actividades de las comunidades y a los métodos de recolección, de almacenamiento, de conservación y de distribución. A pesar de dichos riesgos, en Colombia no se han reportado aún resultados de estudios detallados sobre la calidad de aguas lluvias de escorrentía sobre tejados ni su variabilidad, con el fin de evaluar su adaptabilidad a diferentes usos por parte de las comunidades. El objetivo de este trabajo consistió en caracterizar el agua lluvia de escorrentía sobre tejados para su eventual uso doméstico, en zonas periurbanas de Bogotá, a través de los casos específicos de estudio de los barrios Altos de la Florida (Soacha, Cundinamarca), Villa Alexandra y Acacias (localidad de Kennedy, Bogotá), donde es práctica común la utilización de las aguas lluvias de escorrentía sobre los tejados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Soacha, se ha constituido como un territorio de concentración de actividades industriales, como textil, fabricación de productos químicos, pinturas y barnices, jabones y detergentes, caucho, vidrio, ladrillos, fundición de cobre, plomo y acero (Pachón Quinche, 2005). Por otro lado, la localidad de Kennedy y, en particular, el barrio Villa Alexandra, cuenta con bodegas que son utilizadas como talleres. Dentro de la zona concurre, también, el negocio de materiales reciclables, así como quema de combustibles domésticos y basuras (llantas, plásticos y residuos sólidos en general) y fabricación de carbón vegetal. Aunque no se tienen mediciones específicas que permitan estimar la magnitud, acaece una contaminación atmosférica en la

zona, provocada, principalmente, por el tráfico vehicular (emanación de gases y levantamiento de polvo de las calles no pavimentadas). En estos dos sitios es práctica común, por parte de las comunidades que los habitan, la utilización de las aguas lluvias recolectadas después de su escurritura sobre los tejados de las viviendas.

Entre febrero y abril de 2010, se recolectaron y se analizaron siete muestras en el barrio Altos de la Florida (Soacha) y 23 muestras en Villa Alexandra y Acacias (Localidad de Kennedy), provenientes de casas con tejas de zinc y fibrocemento. La diferencia en el número de muestras, se debe a la escasa precipitación existente en Soacha, en comparación con aquella observada en la localidad de Kennedy. Sobre dichas muestras, se determinaron valores de pH, color verdadero y turbiedad y concentraciones de SST, DBO₅ y metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn), en el Laboratorio de Pruebas y Ensayos, de la Facultad de Ingeniería, de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá, siguiendo los procedimientos indicados en los métodos estándar (APHA/AWWA/WEF, 1998). Se decidió analizar cada parámetro de calidad por triplicado, de tal manera que se calculara la incertidumbre experimental proveniente, tanto de la precisión de los aparatos utilizados como del submuestreo y manipulación de muestras y equipos de laboratorio, así como facilitar el análisis de varianza previsto sobre los resultados obtenidos. Con el fin de evaluar la eventual manejo de las aguas de escurritura muestreadas en diferentes usos domésticos, como desagüe de inodoros, lavado de patios, pisos y fachadas, riego y consumo animal y humano, se revisaron estándares de calidad y documentos relacionados, a nivel nacional (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007) e internacional (European Union, 1998; U.S. EPA, 2004; WHO, 2006; European Union, 2006). Dichos estándares y documentos proponen una calidad mínima del agua recolectada para diferentes usos, teniendo en cuenta parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

Tras realizar pruebas de homogeneidad de varianza (test de Bartlett) y de normalidad (test de Shapiro-Wilk) a los resultados de calidad de aguas obtenidos, se concluyó que en todos los casos se debía realizar pruebas de Kruskal-Wallis, ya que en ningún caso se obtuvo homogeneidad de varianza ni normalidad (valores $p < 0,05$). Las pruebas de Kruskal-Wallis para cada parámetro de calidad medido, se realizaron con el propósito de identificar la influencia del tipo de tejado (tejas de zinc o fibrocemento), de la variabilidad de los eventos lluviosos y del tipo de zona urbana, sobre la calidad del agua muestreada. Con el fin de observar eventuales correlaciones entre las diferentes variables medidas, se llevaron a cabo pruebas de correlación de Pearson (para muestras con distribución normal) y de Spearman. Este

análisis estadístico, se realizó utilizando el programa R (R Development Core Team, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A manera de síntesis, las tablas 1 a 3 muestran los valores promedio de contaminantes y de desviaciones estándar para cada localidad (Soacha y Kennedy), cada evento lluvioso (15 de febrero, 16 de febrero, 12 de marzo, 22 de marzo, 12 de abril y 30 de abril de 2010) y cada material de tejado (tejas de fibrocemento, tejas de fibrocemento pintadas y tejas de zinc y tejas de zinc), respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, el agua muestreada no es apta para vaciar sanitarios y orinales, riego, lavado de pisos y fachadas ni consumo humano. Lo anterior, se debe, principalmente, a: (i) altos valores de turbiedad para los tres primeros eventos lluviosos (en particular para las muestras del 15 de febrero, 16 de febrero y 12 de marzo: Tabla 2), superiores a 5 NTU, el cual, es un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos, como riego no agrícola (U.S. EPA, 2004); (ii) altas concentraciones en SST para los tres primeros eventos lluviosos (en particular para las muestras del 15 de febrero, 16 de febrero y 12 de marzo: Tabla 2), superiores a 30mg/L, un valor límite recomendado para los usos menos restrictivos, como riego agrícola superficial (U.S. EPA, 2004); (iii) altas concentraciones en DBO₅, en especial, para los eventos del 15 de febrero, 16 de febrero y 22 de marzo (Tabla 2), con valores superiores a 10 mg/L, el cual, es el valor límite recomendado para descarga de sanitarios y de orinales, usos recreativos con contacto primario y riego (U.S. EPA, 2004); (iv) altas concentraciones en Cd para todas las muestras analizadas (Tabla 2), superiores a 0,003 mg/L, valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007); (v) altas concentraciones en Cd para los tres últimos eventos lluviosos (22 de marzo, 12 de abril y 30 de abril: tabla 2), superiores a 0,01mg/L, el cual, es un valor límite recomendado para riego agrícola (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004) y, en particular, si se quiere evitar el taponamiento de elementos de irrigación; (vi) altas concentraciones en Pb, superiores a 0,01mg/L, valor límite recomendado para consumo humano (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007); (vii) altas concentraciones en Zn, en especial, en casas con techos de zinc, superiores a 2mg/L (Tabla 3), el cual, es un valor límite recomendado para riego (Ministerio de Salud República de Colombia, 1984; U.S. EPA, 2004). Adicional a lo anterior, se detectaron valores un poco elevados de pH, superiores a siete unidades, lo que restringe su uso para riego, debido a un posible taponamiento de los elementos de irrigación (Lazarova *et al.* 2004).

Con excepción de los metales, se detectó una mejor calidad del agua de las muestras provenientes de los dos últimos eventos lluviosos muestreados (12 y 30 de abril), tanto en Kennedy como en Soacha. Estas observaciones, se podrían deber a un cambio en el régimen (época seca/época lluviosa) y/o características de las lluvias (altura, intensidad, duración de lluvias, duración de tiempo seco anterior) de abril, con respecto de febrero a marzo o a una disminución de la contaminación en abril. En caso de que se llegara a comprobar que la mejoría en la calidad de las aguas lluvias de escorrentía sobre tejados, como aquella observada durante abril con respecto a los meses anteriores, está asociada a una época de lluvias, se podría plantear una utilización de las aguas lluvias recolectadas durante estas épocas para vaciar sanitarios y orinales o para lavado de pisos y fachadas.

De las pruebas de Kruskal-Wallis realizadas sobre los resultados de color, se pudo concluir que, tanto la variabilidad temporal (factor etiquetado como "evento") como de material de los techos considerados (factor etiquetado como "techo"), tienen una influencia significativa sobre los resultados obtenidos (valores $p < 0,05$). Cabe anotar que este parámetro sólo fue medido en Soacha y, por lo tanto, no se contempla una variabilidad de los resultados en función de la localización espacial. Un análisis más detallado de los

Tabla 1. Valores promedio de contaminantes y desviaciones estándar (entre paréntesis), obtenidos durante los eventos lluviosos del 15 de febrero al 30 de abril de 2010. (NA: el parámetro no se midió; *: el valor reportado corresponde a la mediana).

CONTAMINANTE	SOACHA	KENNEDY
color (UPC)	39 (36)	NA
pH*	7,4	8,0
turbiedad (NTU)	17 (20)	21 (19)
SST (mg/L)	149 (138)	124 (168)
DBO ₅ (mg/L)	NA	20 (16)
Cd (mg/L)	0,3835 (0,2013)	0,1725 (0,3137)
Cu (mg/L)	0,0589 (0,0132)	0,0349 (0,0243)
Pb (mg/L)	0,3106 (0,1063)	0,2273 (0,0545)
Zn (mg/L)	2,0880 (1,9049)	2,4650 (1,6485)

resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis indica que el factor que más influencia tiene sobre el color es la variabilidad de los eventos lluviosos, ya que el porcentaje de varianza correspondiente sobre la varianza total es mayor para este factor que para los otros factores considerados (Figura 1); sin embargo, este resultado se concluye a partir de tan sólo ocho muestras tomadas en Soacha, durante dos eventos lluviosos y, por lo tanto, es bastante prematuro formular conclusiones definitivas. Parece necesario, entonces, tener un mayor número de muestras para diferentes eventos lluviosos y localidades. En la tabla 2, se observa que la muestra correspondiente al evento del 12 de marzo presenta valores de color mayores que aquellos del evento del 30 de abril. A partir de una comparación de los resultados mediante una prueba t con ajuste de Bonferroni, se logró concluir que dicha diferencia es significativa (valor $p < 0,05$). Estas diferencias, se podrían deber a un cambio en el régimen de lluvias de abril con respecto a marzo y, en particular, un periodo de tiempo seco anterior más prolongado, para el evento del 12 de marzo.

De las pruebas de Kruskal-Wallis realizadas sobre los resultados de pH, se concluyó que tanto la variabilidad espacial (factor etiquetado como "localidad") como temporal (factor etiquetado como "evento") y de material de los techos considerados (factor etiquetado como "techo") tienen una influencia significativa sobre los resultados obtenidos (valores $p < 0,05$). Un análisis más detallado de los resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis indica que el factor que más influencia tiene sobre el resultado de pH es el material del techo, ya que el porcentaje de varianza correspondiente sobre la varianza total es mayor para este factor que para los otros factores considerados (Figura 1). En la tabla 3, se observa que las muestras asociadas a los techos de zinc presentan valores de pH más bajos que los techos con tejas de fibrocemento. A partir de una comparación de los resultados mediante pruebas t con ajuste de Bonferroni, se consiguió concluir que dichas diferencias son significativas (valores $p < 0,05$).

De las pruebas de Kruskal-Wallis efectuadas sobre los resultados de turbiedad, SST y DBO₅, se pudo concluir que la variabilidad temporal (factor etiquetado como "evento") es el único factor que tiene una influencia significativa sobre los resultados obtenidos (valores $p < 0,05$) (Figura 1). En la tabla 2, se detalla que las muestras recolectadas durante los eventos del 15 y 16 de febrero y 12 de marzo presentan valores de turbiedad y SST mayores, que aquellos obtenidos en los eventos posteriores. Además, se observa que la muestra recolectada durante el evento del 15 de febrero presenta valores de DBO₅ mayores, que aquellos de los eventos posteriores. A partir de una comparación de los resultados mediante pruebas t con ajuste de Bonferroni, se logró

Tabla 2. Valores promedio de contaminantes y desviaciones estándar (entre paréntesis), obtenidos durante los eventos lluviosos del 15 de febrero al 30 de abril de 2010. (NA: el parámetro no se midió o no es posible calcular la desviación estándar; *: el valor reportado corresponde a la mediana).

CONTAMINANTE	FECHA DEL EVENTO (dd/mm)					
	15/02	16/02	12/03	22/03	12/04	30/04
color verdadero (IPC)	NA	NA	78 (21)	NA	NA	15 (15)
pH*	8,1	8,2	8,0	8,0	7,8	7,1
turbiedad (NTU)	45 (11)	27 (12)	38 (9)	5 (9)	2 (3)	4 (6)
SST (mg/L)	275 (109)	107 (75)	269 (125)	78 (155)	10 (3)	78 (156)
DBO ₅ (mg/L)	47 (24)	19 (7)	NA	19 (5)	9 (1)	NA
Cd (mg/L)	0,0236 (0,0227)	0,0137 (0,0146)	0,0206 (NA)	0,3604 (0,2031)	0,3539 (0,1189)	0,4742 (0,2763)
Cu (mg/L)	0,0329 (0,0117)	0,0340 (0,0160)	0,0400 (0,0271)	0,0347 (0,0120)	0,0378 (0,0156)	0,0703 (0,0155)
Pb (mg/L)	0,2200 (0,0855)	0,2345 (0,1320)	0,3106 (0,0545)	NA	NA	NA
Zn (mg/L)	3,7530 (1,5711)	2,7680 (2,1856)	2,5650 (2,4211)	2,0210 (2,0642)	1,2460 (1,1104)	1,8020 (1,2456)

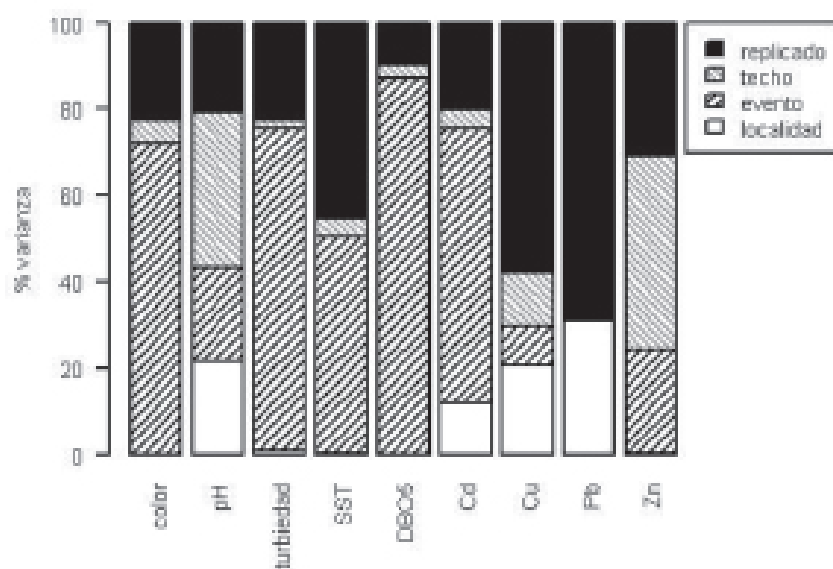


Figura 1. Resultados de análisis de varianza para cada parámetro de calidad medido.

Tabla 3. Valores promedio de contaminantes y desviaciones estándar (entre paréntesis), obtenidos para cada material de tejado (FC: fibrocemento; FCp-Zn: fibrocemento pintadas y tejas de zinc; Zn: tejas de zinc), durante los eventos lluviosos del 15 de febrero al 30 de abril de 2010. (NA: el parámetro no se midió o no es posible calcular la desviación estándar; *: el valor reportado corresponde a la mediana).

CONTAMINANTE	FC	FCp-Zn	Zn
color (UPC)	95 (NA)	25 (22)	45 (57)
pH*	8,3	7,2	7,8
turbiedad (NTU)	24 (22)	11 (14)	19 (18)
SST (mg/L)	104 (107)	141 (182)	156 (169)
DBO ₅ (mg/L)	21 (21)	NA	19 (10)
Cd (mg/L)	0,1892 (0,2234)	0,4516 (0,3167)	0,1487 (0,1720)
Cu (mg/L)	0,0409 (0,0122)	0,0594 (0,0320)	0,0342 (0,0164)
Pb (mg/L)	0,2458 (0,0924)	0,2658 (NA)	0,2390 (0,1259)
Zn (mg/L)	1,1860 (1,1600)	1,8900 (1,2120)	3,7340 (1,6866)

concluir que dichas diferencias son significativas (valores $p < 0,05$), tanto para los valores de turbiedad como de SST y DBO₅. Estas diferencias, se podrían deber a un cambio en el régimen de lluvias de abril con respecto a febrero y marzo y, en particular, en lo que respecta los periodos de tiempo seco anteriores a las lluvias: un periodo prolongado de tiempo seco anterior a una lluvia podría favorecer la acumulación de material particulado sobre los techos, el cual, podría ser arrastrado, posteriormente, durante el evento lluvioso. Para el caso de la DBO₅, estas diferencias se podrían deber a una acumulación de materia orgánica, como por ejemplo, hojas y excremento de aves antes del evento del 15 de febrero, posiblemente, durante un periodo prolongado de tiempo seco anterior a dicho evento. Cabe anotar que la DBO₅ sólo fue medida en la localidad de Kennedy y, por lo tanto, no se contempla una variabilidad de los resultados en función de la localización espacial.

De las pruebas de Kruskal-Wallis generadas sobre los resultados de Cd y Cu, se concluyó que tanto la variabilidad espacial (factor etiquetado como "localidad"), como temporal (factor etiquetado como "evento") y de material de los techos considerados (factor etiquetado como "techo") tienen una influencia significativa sobre los resultados

obtenidos (valores $p < 0,05$). Un análisis más detallado de los resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis indica que el factor que más influencia tiene sobre el resultado de Cd es la variabilidad de los eventos lluviosos, ya que el porcentaje de varianza correspondiente sobre la varianza total es mayor para este factor que para las otras variables consideradas (Figura 1). En la tabla 2, se indica que las muestras recolectadas durante los eventos del 15 y 16 de febrero y 12 de marzo presentan valores de Cd inferiores a aquellos obtenidos para las pruebas recolectadas durante los eventos posteriores. Además, se observa que las muestras recogidas durante el evento del 30 de abril presentan valores de Cu superiores a aquellos obtenidos para los eventos anteriores. A partir de una comparación de los resultados mediante pruebas t con ajuste de Bonferroni, se logró concluir que dichas diferencias son significativas (valores $p < 0,05$). Estas diferencias representan un aumento de la disponibilidad de Cd y Cu en el agua de escorrentía sobre los tejados con respecto al tiempo. Esta disponibilidad podría estar ligada a un aumento en la intensidad o altura de las lluvias de abril con respecto a aquellas de febrero y marzo.

De las pruebas de Kruskal-Wallis desarrolladas sobre los resultados de Pb, se consiguió deducir que, tanto la variabilidad espacial (factor etiquetado como "localidad") como temporal (factor etiquetado como "evento") tienen una influencia significativa sobre los resultados de Pb obtenidos (valores $p < 0,05$).

Para SST, Cu y Pb, la variabilidad de los replicados tiene una influencia muy importante sobre los resultados, ya que el porcentaje de varianza correspondiente sobre la varianza total es mayor que para los factores considerados (Figura 1). La observación anterior indicaría una presencia de problemas en los procesos experimentales de muestreo y/o análisis de laboratorio y, consecuentemente, se podría cuestionar la fiabilidad de los resultados obtenidos, lo cual, se deberá corregir en futuros estudios. Adicionalmente, cabe anotar que las concentraciones de Pb, se determinaron únicamente para las muestras recolectadas durante los eventos lluviosos del 15 de febrero al 12 de marzo, ya que, después, se presentaron problemas técnicos con el equipo empleado, que no se lograron solucionar para el análisis de las muestras posteriores.

Como se mencionó anteriormente, para Cd, Cu y Pb, la variabilidad espacial (factor etiquetado como "localidad") tiene una influencia significativa sobre los resultados obtenidos (valores $p < 0,05$). En efecto, se hallaron valores significativamente más altos de estos tres metales en Soacha que en Kennedy (Tabla 1). Esto, se puede deber, a que la actividad industrial en Soacha es bastante más desarrollada que en Kennedy, como se mencionó previamente.

De las pruebas de Kruskal-Wallis realizadas sobre los resultados de Zn, se pudo concluir que, tanto la variabilidad temporal (factor etiquetado como "evento") como de material de los techos considerados (factor etiquetado como "techo") poseen una influencia significativa sobre los resultados de Zn obtenidos (valores $p < 0,05$). Un análisis más detallado de los resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis indica que el factor que más influencia tiene sobre el resultado de Zn es el material de los techos, puesto que el porcentaje de varianza correspondiente sobre la varianza total es mayor para este factor que para los otros factores considerados (Figura 1). En la tabla 3, se detalla que las muestras asociadas con techos de fibrocemento presentan concentraciones de Zn inferiores a aquellas asociadas con techos de zinc. A partir de una comparación de los resultados usando pruebas t con ajuste de Bonferroni, se consiguió determinar que dichas diferencias son significativas (valores $p < 0,05$).

Para los resultados presentados en las tablas 1 a 3, se efectuaron pruebas de correlación entre todos los parámetros. Dichas pruebas de correlación, se realizaron aplicando el método de Pearson (para muestras con distribución normal)

y el método de Spearman. Los coeficientes de correlación, se presentan en la tabla 4 (arriba): coeficientes de correlación de Pearson encima de la diagonal y coeficientes de correlación de Spearman debajo de la diagonal. Los valores p inferiores a 0,05 (lo que indica correlaciones significativas con un 95 % de confianza), se indican en la tabla 4 (abajo): valores p de Pearson, encima de la diagonal y valores p de Spearman, debajo de la diagonal.

Con respecto a las concentraciones en metales, los resultados expuestos en la tabla 4 sugieren que, aunque no de manera significativa, existen correlaciones negativas entre el pH y las concentraciones en metales (Cd, Cu, Pb, Zn), lo que está de acuerdo con las observaciones reportadas en la literatura (Gromaire-Mertz *et al.* 1999). Adicionalmente, se observa que: (i) existen correlaciones significativas entre las concentraciones de Zn y los valores de turbiedad, SST y Cd; (ii) existe una correlación significativa entre las concentraciones de Cd y los valores de turbiedad; (iii) existe una correlación significativa entre las concentraciones de Cu y los valores de turbiedad. Lo anterior sugiere que, los

Tabla 4. Resultados de las pruebas de correlación de Pearson y de Spearman. Arriba: coeficientes de correlación de Pearson (encima de la diagonal) y coeficientes de correlación de Spearman (debajo de la diagonal). Abajo: valores p inferiores a 0,05 de Pearson (encima de la diagonal) y de Spearman (debajo de la diagonal).

	pH	color	T	SST	DBO5	Cd	Cu	Pb	Zn
pH	1,00	0,97					-0,14	-0,19	
color		1,00			-		-0,18	-	
t	0,44	0,74	1,00						
SST	0,26	0,72	0,81	1,00					
DBO5	0,21	-	0,70	0,62	1,00				
Cd	-0,30	-0,15	-0,67	-0,37	-0,53	1,00			
Cu			-0,16	-0,20	-0,70	0,37	1,00	0,29	
Pb		-	-0,01	0,12	0,00	-0,20		1,00	
Zn	-0,30	0,18	0,40	0,57	0,58	-0,41	-0,23	0,03	1,00
	pH	color	T	SST	DBO5	Cd	Cu	Pb	Zn
pH	-	<0,01							
color		-							
t	0,01	0,03	-						
SST		0,04	<0,01	-					
DBO5			0,02		-				
Cd			<0,01			-			
Cu					0,02		-		
Pb								-	
Zn			0,03	<0,01		0,03			-

valores de pH, turbiedad y SST, se podrían constituir en indicadores de concentraciones de metales pesados, lo que sería interesante, operacionalmente, por la facilidad de medición de estos parámetros y la prontitud de obtención de resultados, en especial, en lo que concierne al pH y turbiedad.

Los resultados obtenidos en el marco de este trabajo ponen en evidencia que, a pesar que en la actualidad se utiliza el agua lluvia de escorrentía sobre tejados para satisfacer algunos usos domésticos en zonas periurbanas de Bogotá, no es apta para ninguno de ellos. Lo anterior, se debe, principalmente, a altos valores de turbiedad y altas concentraciones en SST, DBO₅ y metales pesados. A excepción del cadmio (Cd), cuyas concentraciones obtenidas son casi diez veces mayores que aquellas reportadas en la literatura, tanto para las concentraciones en SST como en DBO₅ y en metales pesados, las concentraciones obtenidas y sus variabilidades son del mismo orden de magnitud que aquellas reportadas en la literatura para aguas lluvias de escorrentía sobre tejados (Gromaire-Mertz *et al.* 1999; He *et al.* 2001; Göbel *et al.* 2007; Schriewer *et al.* 2008).

Se observaron altas variabilidades, tanto espaciales como temporales, en la calidad de las aguas de escorrentía sobre tejados. Adicionalmente, los resultados variaron en función de los materiales de los techos de las casas en las que se muestreó. Dichas variaciones permiten pensar que en algunos casos y condiciones especiales, el agua lluvia de escorrentía sobre tejados podría ser adaptada para ser utilizada como fuente alternativa para satisfacer algunos usos domésticos, como vaciado de sanitarios y de orinales o lavado de pisos y fachadas. Se piensa, por ejemplo, que aquellas muestras para las cuales se detectó mejor calidad podrían estar asociadas a épocas de lluvias y, por consiguiente, se podría plantear que en algunas épocas del año el agua de escorrentía sobre tejados podría ser utilizada en usos restringidos; sin embargo, se recomienda realizar una caracterización más fina y prolongada en el tiempo de las aguas lluvias de escorrentía sobre tejados, tanto para épocas de tiempo seco como durante épocas de lluvias intensas, de manera a lograr recomendaciones más específicas ligadas a la operación de sistemas de aprovechamiento, en función de las características de las precipitaciones, como el volumen, la intensidad, el caudal y los periodos de tiempo seco anterior.

Los resultados presentados ponen en evidencia la necesidad de tener en cuenta la calidad de las aguas lluvias de escorrentía sobre tejados en zonas periurbanas de las ciudades, para formular políticas y reglamentaciones tendientes a proteger la sanidad civil, en particular, respecto a la agricultura urbana. Se recomienda, sin embargo, un

estudio más profundo, con el fin de identificar el origen de la contaminación y proponer soluciones adaptadas a las comunidades que están actualmente utilizando el agua lluvia de escorrentía sobre los tejados, para satisfacer sus necesidades de agua potable. Con este propósito, se prevé realizar campañas experimentales adicionales, entre agosto y diciembre de 2010, las cuales, podrán servir para corroborar relaciones entre contaminantes observadas en el presente trabajo y proponer indicadores de contaminación menos costosos y más oportunos.

Agradecimientos: Los autores agradecen a la Fundación Un Techo para Colombia, a los colaboradores en las comunidades de Soacha y Kennedy y al Laboratorio de Pruebas y Ensayos, de la Facultad de Ingeniería, de la Pontificia Universidad Javeriana. **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 Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA, WEF, STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 1998. 20th ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA. 1325p.
2. EUROPEAN UNION. 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Off. J. Eur. Commun. L330, 32-54.
3. EUROPEAN UNION, 2006. Council Directive 2006/7/EC of of 16 February 2006 on the management of bathing water quality repealing Directive 76/160/EEC. Official Journal of the European Union. L64, 37-51.
4. FLETCHER, T.D.; MITCHELL, V.G.; DELETIC, A. 2007. Is storm water H+ harvesting beneficial to urban waterway environmental flows? Wat. Sci. Tech. (UK). 55(4):265-272.
5. GHISI, E.; TAVARES, D.; ROCHA, V. 2009. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasilia: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. Resources, Conservation and Recycling (NTH). 54(2):79-85.

6. GÖBEL, P.; DIERKES, C.; COLDEWEY, W.G. 2007. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *J. Contaminant Hydrology (USA)*. 91(1-2):26-42.
7. GROMAIRE-MERTZ, M.C.; GARNAUD, S.; GONZALEZ, A.; CHEBBO, G. 1999. Characterization of urban runoff pollution in Paris. *Wat. Sci. Tech. (UK)*. 39(2):1-8.
8. HAN, M.; Ki, J. 2010. Establishment of sustainable water supply system in small islands through rainwater harvesting (RWH): case study of Guja-do. *Wat. Sci. Tech. (UK)*. 62(1):148-153.
9. HATT, B.E.; DELETIC, A.; FLETCHER, T.D. 2006. A review of integrated storm water treatment re-use in Australia. *J. Environ. Manage.* 76:102-113.
10. HE, W.; ODNEVALL-WALLINDER, I.; LEYGRAF, C. 2001. A comparison between corrosion rates and runoff rates from new and aged copper and zinc as roofing material. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus (NTH)*. 1:67-82.
11. LAZAROVA, V.; PAPADOPOULOS, I.; BAHRI, A. 2004. Code of Successful Agronomic Practice. En: Lazarova, V.; Bahri, A. eds. *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. Ed. CRC Press (Boca Raton). p.103-150.
12. MCCARTHY, D.; DELETIC, A.; MITCHELL, V.; FLETCHER, T.; DIAPER, C. 2008. Uncertainties in stormwater *E. coli* levels. *Water Res. (Holanda)*. 42(6-7):1812-1824.
13. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Resolución 2115 de 2007, Bogotá, D.C.: Ministerio de la Protección Social; Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
14. MINISTERIO DE SALUD REPÚBLICA DE COLOMBIA. 1984. Decreto 1594. Usos del agua y residuos líquidos. 52p.
15. MITCHELL, V.G.; MCCARTHY, D.T.; DELETIC, A.; FLETCHER, T.D. 2008. Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behaviour model. *Environ. Modelling & Software (Holanda)*. 23(6):782-793.
16. PACHÓN QUINCHE, J.E. 2005. Desarrollo de una metodología para la estimación de emisiones de partículas en cuatro municipios de Cundinamarca. *Material Particulado Atmosférico y Salud*. ed: Uniandes (Colombia). 1:41-54.
17. R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2010. R: A language environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL disponible desde Internet en <http://www.R-project.org>. (con acceso el 10/06/2010).
18. SCHRIEWER, A.; HORN, H.; HELMREICH, B. 2008. Time focused measurements of roof runoff quality. *Corros Sci. (UK)*. 50:384-391.
19. SCHUELER, T.R.; HOLLAND, H.K. 2000. Is Rooftop Runoff Really Clean? The Practice of Watershed Protection. Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD (USA). 12:84-85.
20. U.S. EPA. 2004. Guidelines for Water Reuse, EPA-625/R-04-108, U.S. Environmental Protection Agency U.S. Agency for International Development, Washington, DC. 450p.
21. WHO. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2. Wastewater use in agriculture. World Health Organization, Geneva (Suiza). - xxii, 196p.

Recibido: Septiembre 21 de 2010

Aceptado: Marzo 2 de 2011

MEDICIÓN Y ESTIMACIÓN DE LOS ALBAÑILES, UN APOORTE A LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA

MEASUREMENT AND ESTIMATION OF BRICK LAYERS, A CONTRIBUTION TO MATHEMATICS EDUCATION

Miller Freddy Rey Muñoz¹, Armando Aroca Araújo²

¹ Licenciado en Educación Básica con énfasis en Matemáticas. Profesor Colegio Campestre Anglo Hispano. Estudiante de 5° semestre de Recreación en la Universidad del Valle. millerfreddy@yahoo.es ² Licenciado en Matemáticas y Física. Magíster en Educación Matemática. Profesor TC – Universidad Santiago de Cali. aaroca@usc.edu.co, aroca@etnomatematica.org

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 137 - 147, 2011

RESUMEN

El presente artículo es el resultado de una investigación, cuya actividad de campo se desarrolló alrededor de seis meses, en el Distrito de Agua Blanca de Cali y en el barrio de las Américas de Palmira, Valle del Cauca, Colombia. El propósito fue determinar cómo eran algunos procesos de medición y de estimación en los albañiles. Se presentan algunas reflexiones sobre los aportes de este grupo de trabajadores a la Educación Matemática. Doce albañiles, con bajo grado de escolaridad y no coordinados por Ingenieros, colaboraron con la información. Las edificaciones que se visitaron fueron construcciones para vivienda (construcción de dos pisos o un segundo piso) y la construcción de una iglesia. Para analizar dichos procesos cognitivos, se hicieron pruebas controladas, se experimentaron situaciones reales en el oficio y conversaciones reales entre Oficiales y Ayudantes y, se estudiaron algunas herramientas artesanales, propias del ejercicio de la albañilería, como la flejadora, la grifa, la cimbra y la manguera de nivel. Solo se presenta una pequeña parte de ese ambiente de construcción etnomatemática, importante para el desarrollo arquitectónico de un pueblo, fecundo de discursos lógicos y gestuales y herramientas dispersas por doquier.

Palabras clave: Etnomatemática, medición, estimación, albañiles.

SUMMARY

This article is the result of a research activity realized during six months at the district of Agua Blanca (Cali) and in the suburb Americas (Palmira), Valle del Cauca, Colombia. The

purpose was to determine some mason's measurements and estimation processes. Reflections about the contributions of this working group to the Mathematical Education are presented. Twelve masons, with low schooling levels and not coordinated by engineers, helped with information. The constructions visited were houses (two-story buildings or the structure of a second floor) and a church. To analyze these cognitive processes controlled trials were executed; real situations in the office and actual conversations between officers and assistants were witnessed, and some proper masonry craft tools such as the strap, the faucet, the form and plummet were studied. Only a small part of building environment related to ethnomatematics, important for the architectural development of a, fertile of logical speeches and gestures and tools scattered everywhere, nation.

Key words: Ethnomatematics, measurement, assessment, brick layers.

INTRODUCCIÓN

La albañilería es una práctica social que tiene diversos matices en el territorio colombiano, es decir, sus técnicas y sus materiales pueden variar según la región. Es una actividad muy poco documentada, desde el análisis sistemático en sus prácticas y saberes y sus posibilidades en la educación matemática; sin embargo, en Brasil, se pueden encontrar algunas investigaciones que analizan estas perspectivas, como las de Delfino da Silva (2007), Glavam (2003), Truzzi (2006) y Pardal (2008).

En la albañilería, se presenta una jerarquía, por lo menos en el Valle del Cauca, definida descendientemente así: Maestro

de Obra: “No se unta”, coordina toda la construcción, entrega materiales; Oficial: “Sabe de todo, por ejemplo, arma cajones de las vigas y columnas y así...”; Ayudante Práctico: “Sabe armar castillos y así...” y Ayudante: “Ese es el que mezcla, carga ladrillos, bultos y eso...”. Iniciarse en la albañilería implica un aprendizaje por medio de una tradición oral y empírica o de la copia de modelos ya construidos y culturalmente valorizados, sobre los cuales son introducidos variantes, sin duda originales (Knijnik, 2006).

La albañilería data desde tiempos remotos; los primeros ladrillos o bloques fueron usados en Babilonia y en el antiguo Egipto, esto significa que el aprendizaje y la construcción de nuevos significados y heurísticas que, por lo general, dependen de las condiciones geográficas o de las materias primas que el medio provea, han tenido un tiempo suficiente para ser perfeccionados, como las estimaciones al ojo, las medidas con la cuarta o dedos o la nivelación a partir de una “burbuja” de agua, como sucede con la Manguera de Nivel, la suavización de superficies inclinadas o planas con la Llana Metálica o con la Llana de Madera o Platacho, con Codales o el doblaje angular de varillas de hierro, con la Flejadora o la división de superficies planas verticales u horizontales, con la Cimbra (Figura 1).

Dar una definición de albañilería podría ser fácil, pero facilitarla sobre la etnomatemática de este grupo laboral es complejo; para el caso, se puede analizar el diálogo entre Monteiro, Orey y Do Carmo, en Machado *et al.* (2004), donde se presentan tres enfoques diversos sobre la etnomatemática. Sobre la pluralidad en las significaciones del programa de etnomatemática, Lunkes (2004) concluye que, así como, se debe tener una noción de qué es cultura, la etnomatemática merece un mismo tratamiento conceptual. Para tener, entonces, una noción sobre las etnomatemáticas, vale la pena tener en cuenta a D’Ambrosio, en Blanco (2008). En ella, D’Ambrosio manifiesta que la definición de etnomatemática es compleja y que la definición que él tiene es de carácter etimológico, “como tres raíces, una de ellas es etno y por etno yo comprendo los diversos ambientes social, cultural, natural, la naturaleza, todo eso. Después hay otra raíz, que es una raíz griega que llama mathema y el griego mathema quiere decir explicar, entender, enseñar, manejarse; y un tercer componente es ethica que yo introduzco ligado a la raíz griega tecni que es artes, técnicas...”. Otro referente sobre el particular es Bishop (1999, 2005), donde se encuentran las seis prácticas, que él determina como universales y que generan pensamiento matemático: contar, medir, jugar, diseñar, localizar y explicar. En este mismo sentido existe una fundamentación sobre dicho campo, en Machado *et al.* (2004) y, tal vez, el más reciente análisis sobre las etnomatemáticas, François & Kerkhove (2010), muestra un panorama alentador. En la

actividad de la albañilería, se encuentra con significativa expresión las actividades de diseñar y medir, procesos muy documentados, pero no tan contextualizados en la actividad escolar. Según Bishop (1999), medir es importante para el desarrollo de ideas matemáticas y se ocupa de comparar, de ordenar y de cuantificar cualidades que tienen valor e importancia. La actividad de medir, incluyendo el proceso de estimación, son actividades culturales de la humanidad que se practican de manera implícita y explícita en diversas tareas cotidianas. La importancia de esto radica que existen actividades reales, a la vuelta de la esquina de los colegios y que ellas, pueden ser llevadas al currículo matemático para el desarrollo del pensamiento métrico, dejando así de lado algunos ejemplos estériles, que no satisfacen las perspectivas o están ligados con el background cultural de los estudiantes (Skovsmose, 2004).

Los lineamientos curriculares del Ministerio de Educación Nacional (MEN) (1998) mencionan que, en la medida, los énfasis están en comprender los atributos medibles (longitud, área, capacidad, peso) y su carácter de invarianza, dar significado al patrón y a la unidad de medida y a los procesos mismos de medición; desarrollar el sentido de la medida (que implica la estimación) y las destrezas para medir, involucrar, significativamente, aspectos geométricos, como la semejanza en mediciones indirectas y los aspectos aritméticos, fundamentalmente, en lo relacionado con la ampliación del concepto de número. Con respecto a la noción de *estimación*, se puede considerar lo expuesto por Bright (1976), citado por el MEN (1998), quien define la estimación de magnitudes como el proceso de llegar a una medida sin la ayuda de instrumentos. Para el caso de los albañiles existen estimaciones “al ojo”, el uso de instrumentos no graduados representados por partes del cuerpo, como la mano o el paso. Por su parte, Posada (2007) argumenta que el proceso de estimar es de vital importancia, pues permite acceder a complejas técnicas de medición. La estimación, entonces, como proceso de aprendizaje de otras nociones, juega un papel importante en la escuela, donde una de sus aplicaciones más importantes es la de usarse después de haber comprendido el sistema métrico decimal, debido a que es indispensable, dar medidas aproximadas sin utilizar instrumentos (Chamorro & Belmonte, 1994); no obstante, esta afirmación tendría sus reservas con aquellos grupos que no son escolarizados, como indígenas tradicionales o aquellos que no usan el sistema métrico, como comunidades de pescadores. En síntesis, la estimación es una actividad social y cultural practicada por todas las personas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó la aplicación del pensamiento métrico de doce




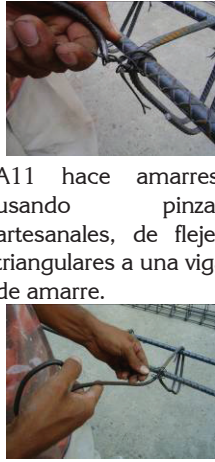





 <p>A7 muestra una cuerda y su distancia que sirve como patrón de medida, según él es un metro.</p>	 <p>A6 mide comparando una parte de una baldosa, marca y luego corta. Enchape de un piso.</p>	 <p>A12 toma como referencia el ancho de un trozo de una baldosa para armar el borde de un lavadero.</p>	 <p>A11 hace amarres, usando pinzas artesanales, de flejes triangulares a una viga de amarre.</p>
 <p>A4 mide usando su cuarta.</p>	 <p>A5 toma como referencia la altura de su ombligo.</p>	 <p>A6 nivela con un codal una reconstrucción de una vieja pared.</p>	
 <p>A10 repella con un Codal la superficie inferior de una placa. Lo deja de usar cuando no vea "lucecitas" entre la placa y el Codal.</p>	 <p>A8 hace dos mediciones, arriba y abajo, desde la pared hasta la cuerda de la Plomada, para constatar si son las mismas.</p>		

Figura 1: Algunas formas de medición o estimación.

albañiles, de bajo grado de escolaridad, en el desempeño de sus labores en algunos barrios de la ciudad de Cali, en el Distrito de Agua Blanca, particularmente, en los barrios Mojica y Comuneros y, en la ciudad de Palmira, en el barrio las Américas, durante periodos de 2009B y 2010A. La tabla 1, muestra más detalles sobre el particular.

Los nombres de los albañiles fueron cambiados y se nombraron A1, haciendo referencia al primer albañil y, así sucesivamente. Se tuvo en cuenta a Goetz & LeCompte (1998), y se empleó la metodología que admitiera la utilización de una pluralidad de instrumentos (entrevistas, grabaciones, fotos digitales, apuntes de campo), permitiendo así la recolección de datos y posibilitando la construcción y la reconstrucción de hipótesis, además de precisar, modificar y profundizar en el objeto de investigación. Por cada albañil entrevistado, se hacían las correcciones para abordar el próximo albañil, pues el Oficial temía en ciertas ocasiones por la llegada del Maestro de Obra y por el retraso

a la construcción que podía implicar dar la entrevista; los Ayudantes, por su parte, en ciertas ocasiones, delegaban la “verdad” al Oficial. El trabajo fue de carácter etnográfico; se usaron entrevistas semi estructuradas, la observación fue participante, salvo en aquellos casos donde no fue posible; algo similar a lo establecido por Pardal (2008).

La metodología concuerda con lo mencionado por Ubiratan D'Ambrosio, en la entrevista concedida a Blanco (2008), donde afirmó que un método de trabajo en etnomatemática es la observación de prácticas de grupos naturales diferenciados; intenta ver qué hacen, lo qué hacen, que ellos hagan una narrativa de sus prácticas y, luego, un análisis del discurso. Para obtener elementos de análisis sobre la estimación y la medición de longitudes, se les interrogó y se les observó sobre situaciones acordes a su propio contexto. Se analizaron aquellos contextos donde no se usaba herramienta de medida, como la cinta métrica; un grupo de albañiles fue interrogado sobre la funcionalidad y la creación

Tabla 1: Algunos datos de los albañiles entrevistados.

ALBAÑIL	CARACTERÍSTICAS
Albañil No. 1 (A1): Omar	Edad: 53 años. Experiencia: 25 años. Escolaridad: Quinto de primaria. Dirección de la obra: Barrio Mojica II, Cali. Trabajo realizado: Enchape de templo cristiano. Fecha y tiempo de entrevista: 17/07/09. 1h 40´
Albañil No. 2 (A2): Fernando Ruíz	Edad: 48 años. Experiencia: 25 años. Escolaridad: Quinto de primaria. Dirección de la obra: Barrio Mojica II, Cali. Trabajo realizado: Enchape de templo cristiano. Fecha y tiempo de la entrevista: 17/07/0. 1h 40´
Albañil No. 3 (A3): José	Edad: 50 años. Experiencia: 15 a 18 años. Escolaridad: Quinto de primaria. Dirección de la obra: Barrio El Morichal, Cali. Trabajo realizado: Construcción de antejardín. Fecha y tiempo de la entrevista: 31/07/09. 1h 30´w
Albañil No. 4 (A4): Mateo	Edad: 33 años. Experiencia: 15 años. Escolaridad: Quinto de primaria. Dirección de la obra: Barrio Mojica II, Cali. Trabajo realizado: Obra blanca de una casa. Fecha y tiempo de la entrevista: 14/08/09. 1h 10´
Albañil No.5 (A5): Jesús	Edad: 35 años. Experiencia: Más de 15 años. Escolaridad: Cuarto de primaria. Dirección de la obra: Barrio Las Granjas, Cali. Trabajo realizado: remodelación de un techo. Fecha y tiempo de la entrevista: 24/08/09. 1h 20´.
Albañil No.6 (A6): Pedro	Edad: 42 años. Experiencia: 25 años. Escolaridad: cuarto de primaria. Dirección de la obra: Barrio El Guabal, Cali. Trabajo realizado: Reconstrucción de una casa. Fecha y tiempo de la entrevista: 01/09/09. 1h 30´
Albañil No.7 (A7): Miguel	Edad: 48 años. Experiencia: 25 años. Escolaridad: Sexto. Dirección de la obra: Barrio El Jardín, Cali. Trabajo realizado: Remodelación de un segundo piso. Fecha y tiempo de la entrevista: 07/09/09. 1h 20´
Albañil No.8 (A8): Luis	Edad: 56 años. Experiencia: 20 años. Escolaridad: Desconocida. Rango: Oficial. Dirección de la obra: Barrio las Américas, Palmira. Trabajo realizado: Construcción de una casa de dos pisos. Fechas y tiempos de entrevistas: 03,05/02/10. 1h, 1h 20´ (respectivamente).
Albañil No.9 (A9): Sebastián	Experiencia: 25 años. Escolaridad: Quinto de primaria. Rango: Oficial. Dirección de la obra: Barrio las Américas, Palmira. Trabajo realizado: Construcción de un segundo piso de una casa. Fecha y tiempo de entrevista: 05/02/10. 30 (explicación del uso de la Cimbra).
Albañil No. 10 (A10): El señor Martín	Edad: 45 años. Tiempo de experiencia: 20 años. Escolaridad: Sin estudio. Rango: Oficial. Dirección de la obra: Barrio las Américas, Palmira. Trabajo realizado: Construcción de una casa de dos pisos y esquinera. Fecha y tiempo de entrevista: 03/02/10. 20´ (explicación del uso de un codal)
Albañil No.11 (A11): Dailer	Edad: 32 años. Tiempo de experiencia: 6 años. Escolaridad: Noveno. Rango: Ayudante práctico. Dirección de la obra: Barrio las Américas, Palmira. Trabajo realizado: Construcción de una casa de dos pisos y esquinera. Fechas y tiempos de entrevista: 03,05/02/10. 1h 20´
Albañil No. 12 (A12): Armando	Edad: 60 años. Tiempo de experiencia: 32 años. Escolaridad: Primaria. Rango: Oficial. Dirección de la obra: Barrio las Américas, Palmira. Trabajo realizado: Construcción de una casa de dos pisos y esquinera. Fechas y tiempos de entrevista: 05,08/02/10. 1h 30´ (explicación de enchape).

de algunas herramientas artesanales de medición. El análisis de las conversaciones entre los albañiles fue un elemento que aportó, de forma significativa, para el alcance de los objetivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sobre algunas herramientas de los albañiles: La flejadora, la grifa, la cimbra y la manguera de nivel: Los albañiles emplean herramientas graduadas y no graduadas: llaves de amarre, la flejadora, la manguera de nivel, el nivel de mano, la cinta métrica, la cimbra, la escuadra y otras, que son medios de estimación, como el nylon, el martillo, la carretilla, la pala, la tenaza de mano, el palustre, entre otros. No hay lugar a dudas que la herramienta de medida graduada más explotada por ellos es la cinta métrica de 5 u 8m de longitud. Pero hay cuatro de ellas que llamaron mucho nuestra atención, como la flejadora, la grifa, la cimbra y la manguera de nivel o el nivel de manguera; tal vez sean estos los instrumentos más artesanales e ingeniosos del oficio de la albañilería. Todos son objetos que sirven para medir, pero la estimación se involucra a cada momento. Cada uno de ellos, se aplica de forma diferente y en situaciones diversas. Se describirá a

continuación, tanto su forma de creación como su empleo y, en lo posible, se harán algunas conclusiones sobre la lógica empleada en su utilización. Son estos pues instrumentos que escapan de la estandarización de instrumentos geométricos que propone el sistema escolar y de un “lenguaje universal”, como lo plantea Truzzi (2006).

La flejadora y la grifa: La flejadora, se elabora con cuatro láminas gruesas de hierro, llamadas platinas, dos planas y dos angulares rectas. Las planas son separadas paralelamente a 50cm (mediciones no estándares) y las platinas angulares se colocan sobre ellas perpendicularmente y se sueldan. A las planas, se les hace un orificio en cada extremo, para ser clavadas temporalmente a una tabla gruesa. Al soldarse, la separación de las platinas superiores forman un canal no muy ancho, donde se meten las varillas para ser dobladas con el *tubo de flejar*. Previamente, a una de las platinas angulares se le practica unos *carcaones* o muescas, que sirven para hacer los doblajes estimados, que producen simetría. Para hacer los carcaones, se miden y se hacen las marcas con lápiz rojo y luego son cortadas con segueta. Cada carcaón, se coloca a distancias de 10, 15, 20, 25, 30 y 35cm. Estas distancias, entonces, serán heredadas por las longitudes de los *flejes*, que se han de usar para columnas o vigas



Figura 2. Uso de la flejadora para hacer flejes o estribos triangulares. Trabajo de un Ayudante práctico A11.

de diversos grosores. Con una flejadora, se pueden hacer flejes o estribos (triángulos, eses (*nervios*) y cuadrados), al doblar segmentos de 50cm de varillas de 1/4 o 3/8. Como la varilla de 1/2 (media) no entra en la flejadora, pues se debe garantizar que las varillas de 1/4 y 3/8 no queden flojas o no tengan “juego” para optimizar su doblaje, entonces, se dobla con una grifa. El doblaje inicial, a veces, se hace hasta con tres varillas, que permite acelerar el proceso. La grifa, se hace con un metro de una varilla de una pulgada; en sus puntas hay una U, que si las uniéramos formarían un ángulo recto; esta gruesa varilla es doblada en un taller metalúrgico. Tanto la flejadora como la grifa tienen sus propios tubos de flejar. La figura 2 muestra el uso de la flejadora.

La elaboración de un fleje, de cualquier forma, implica un proceso que mezcla, tanto la medición como la de estimación, pues las longitudes de los lados de flejes triangulares o rectangulares son estándares y los da la flejadora, pero el ángulo de doblaje depende del cálculo referencial a un punto cualquiera de la base de la flejadora y esto se hace por estimación; eso se ve, por ejemplo, en los flejes en ese.

La cimbra: Es un instrumento geométrico semi ejecutable, que sirve para trazar rectas de 3 hasta de 20m, que tiene una extraordinaria diferencia de una regla o codal y es que “ella misma”, a partir de una tensión a la cuerda que incluye, marca la línea sobre paredes o pisos. En una clase de geometría, el compás es el único instrumento semi ejecutable, pero la diferencia radica en que éste solo permite trazos curvos

y, la cimbra, rectos. Sin duda alguna, la diferencia de los dos instrumentos radica en el tipo de superficies de trabajo, pues el compás, generalmente, se emplea sobre hojas, mientras que la cimbra sobre paredes o pisos. Esto motiva para preguntar: ¿acaso no es posible trasladar la clase de geometría a otras superficies u otros lugares? La figura 3 muestra el proceso de cómo marcar una línea roja sobre una superficie cualquiera, usando la cimbra.

El papel que juega la cimbra en una construcción es vital, pues está en juego, si la cimbrada es en la pared, las construcciones a nivel de las placas de concreto que soportarán los pisos sucesivos. Un desnivel en las placas puede, incluso, repercutir en la caída parcial de la misma obra. Cuando la cimbra es empleada para cimbrar pisos, el propósito es para hacer el trazo de los pasillos internos de una vivienda. Es así, como se consigue que paredes o entradas a cuartos, cocinas, salas de estudio, queden sobre una línea. La elaboración de la cimbra, cuando es de carácter artesanal, es muy simple como ingeniosa (Figura 3).

La manguera de nivel: Esta se usa, básicamente, para levantar una pared. Ella es un instrumento muy sencillo: una manguera delgada y transparente llena de agua en casi su totalidad. La frase “*viejo Jairo dame un nivel*”, se puede explicar con un caso particular: Hay tres columnas en la parte frontal de una casa, que apenas se construye, entonces, no hay pared, por tanto, se recurre a la manguera de nivel para trasladar una medida de la primera a la segunda columna.



Figura 3. Funcionalidad de la cimbra.

Inicialmente, se hace una marca que servirá de referencia; luego, una persona hace coincidir la “burbuja” (que no existe, pero es uno de los extremos del agua que está al interior de la manguera) con dicha marca, no sin antes de que esta burbuja se haya movido varias veces de arriba a abajo y viceversa; entonces, el Ayudante también sube y baja la manguera de nivel hasta que coincida, tanto la burbuja como la marca de referencia; cuando esto pasa, el Ayudante le hace una señal al Oficial, quien hace una segunda marca en la segunda columna y, justo allí, queda una marca que está a nivel de la primera. Este proceso puede durar alrededor de 40 segundos. Cuando el Oficial hace la marca toma el nivel de mano y traza, sobre dicha marca, una línea sobre la columna. La figura 4 muestra el proceso de transferir una medida de una columna a otra.

Medir con la manguera de nivel es una forma más de la versatilidad que tienen los albañiles para tomar y trasladar medidas. También, es posible transferir una medida de esta forma de una columna a un codal, el cual, serviría de esquinero para levantar una pared, donde no hay una columna. Después de esto, la plomada es usada para dar *plomo* a la pared, es decir, rectitud. Luego, aparece el nylon para ir levantando cada hilera de ladrillos (toletes) o farol (un ladrillo de altura de 20cm); las marcas que se hacen en el codal estarán, entonces, separadas por 22cm: 20cm que ocupa el farol y 2cm de mezcla. Toda esta creatividad y diversas formas de medir para levantar una pared, más el lenguaje propio de la albañilería, no deja de sorprender. Al entrar en una construcción, lo que se puede concluir es que ese es uno de los espacios por excelencia de la expresión de los lenguajes matemático y geométrico del saber local, de un grupo socio-culturalmente diferenciado; es un ambiente

único de lógica y de abstracción. Transferir una medida por manguera de nivel es un aporte más a la educación matemática, pues para que este proceso sea posible, se involucran, como mínimo, dos personas. La medida se construye de manera grupal.

Se encontraron tres patrones o características similares aplicadas como métodos de estimación de longitudes extensas; estos métodos son: “**Al ojo**”, que se basa, esencialmente, en la observación de la longitud que se desea estimar, después de mirar y de calcular la posible medida; se hace una aproximación y se da una respuesta. Cabe anotar que el éxito de este tipo de estimación, se centra en la experiencia de los albañiles. Se privilegia mucho esta forma de estimación cuando el tiempo apremia o hay que hacer algún cálculo contable. “**El paso largo**”, donde el uso de partes del cuerpo, para hacer estimaciones, juega un papel importante. Este tipo de método consiste en contar los pasos que hay de un punto a otro dentro de un espacio determinado, teniendo presente que no son pasos normales, sino un poco más alargados al momento de darlos, donde cada uno de éstos mide, según todos los albañiles, un metro, independientemente de la altura de ellos.

Los puntos o lugares de referencia son métodos o procesos de estimación, que se fundamenta en tener puntos o lugares que sirvan como referencia para estimar la posible medida de una longitud, aclarando que, en algunos casos, se debe conocer, con antelación, la medida de los lugares, la cual, debe ser de una menor medida, de tal forma que se le pueda calcular con mayor facilidad su longitud y ser utilizada como de referencia, para estimar una longitud más extensa.



Primera persona en el sitio inicial.



Segunda persona en el sitio donde se desea transferir la medida.



Segunda persona marcando el punto donde indica el nivel del agua, con respecto al primer sitio.

Figura 4. Trasladando medidas (“tirando nivel”), con la manguera de nivel. A3 y Ayudante. Inicio del levante de una pared divisoria.

Referente a la estimación de longitudes menores a un metro, se hallaron sólo dos métodos similares en la gran mayoría de los albañiles entrevistados: “**La cuarta**”, que es la longitud que existe desde el dedo meñique al dedo pulgar de la mano cuando ésta se tiene abierta en su totalidad; conocida así, porque en promedio equivale a la cuarta parte de un metro, es decir, aproximadamente, 25cm. Este método de medida es aplicado en longitudes cortas, por su nivel de confiabilidad para cada albañil, pues el patrón de referencia es su propia mano, indistintamente que algunos de ellos tengan manos grandes o pequeñas. **Los objetos de referencia** es un método que consiste en la utilización de algún tipo de herramienta que le sea provechoso para medir una longitud corta; para ello debe conocer la medida de estos elementos para realizar una buena estimación. En los casos concretos, se encuentran ciertas herramientas, como el nivel de nano y codales; sin embargo, la creatividad juega un papel esencial en esta parte, para crear o para utilizar cualquier elemento que sirva para dicho propósito.

En la identificación de patrones de estimación por parte de los albañiles, se registra que el primer método es la **observación de la distancia**, “*al ojo*”. Como segunda forma, se halló que **utilizan el cuerpo como una herramienta confiable para realizar algún tipo de estimación** y lo hacen por medio de “*pasos*” o “*pasos largos*”. Este método tiene un margen de error pequeño o poco significativo; no obstante, se debe apuntar que un elemento importante en este método es la diferencia de estaturas entre los albañiles, por ejemplo, los albañiles A2 y A3 eran personas más bajas que los demás albañiles, en especial A2, donde el margen de error fue mayor (20cm). Tal vez por estas diferencias corporales, los albañiles tienen, inicialmente, un preconcepto de una longitud, a partir de una estimación, para hacer cálculos o cuentas, pero al momento de construir se mide con herramientas. Dentro de este aspecto analizado, se percibe también **la utilización de lugares u objetos de referencia para realizar otro tipo de estimaciones**, elemento que se puede apreciar en los aportes realizados por A1, cuando calculó el número de baldosas que se emplearía para hacer el piso del salón de una iglesia cristiana, uso una de ellas como referencia; A3, contaría el número de casas que había desde el punto en el que se encontraba y la esquina, sabiendo que el frente de cada casa en el barrio que estaba trabajando medía 4,5m; A5 y A7, compararían el espacio que les solicitan que estimen con otros lugares donde ya han laborado y conocen las medidas, por tal motivo, es claro que el uso de este tipo de sistemas (lugares u objetos) de referencias potencializa el proceso de estimación.

Al igual que en la estimación del primer tipo de longitudes, se puede observar la aproximación que obtienen los albañiles en el cálculo de medidas. Cinco de los albañiles acudieron al empleo de su cuerpo para volver a estimar longitudes,

específicamente, utilizaron lo que se conoce como “la cuarta”, para medir longitudes cortas o menores a un metro, considerando que el rango de la posible medida de la cuarta para los cinco albañiles que la utilizaban era el mismo, entre 20 y 25cm. Por medio de su cuerpo estiman, no solo visualmente, pues existen texturas y pesos; un ejemplo, recurriendo a los dedos, para distancias más pequeñas, como para colocar un clavo, cuyo punto de entierro puede ser marcado por una uña o la separación entre ellos, por el grosor del índice. Con la observación no estiman distancias sino contexturas: la de una mezcla o la lisura de una superficie. Lo particular es que el sistema escolar tiene prohibido o no usa la percepción o partes del cuerpo: el uso de los dedos cuando se pregunta por las tablas de multiplicar, puede ser objeto de burla. Pero ¿cómo hace la gente para calcular cuántos meses hay desde mayo hasta noviembre?

¿Tiene alguna incidencia la altura o fisiología del albañil en la construcción? No, porque como se ha dicho previamente, una cosa es la estimación, como proceso de ubicación y de manejo previo del espacio y el plano y, otra es la medición como proceso de garantía de una certeza. Otro apunte para resaltar en este análisis es lo que hacía el ayudante de A5 (AA5) al momento de formar los castillos o las estructuras de hierro, que sirven de soportes en los cimientos, porque usaba “la cuarta” para lograr que hubiese la misma distancia entre cada uno de los flejes de “los castillos”, es decir, se puede observar que se practica de forma implícita una transformación geométrica, como la traslación de medidas, aprovechando la mano. En esto cree toda la sociedad, hasta el dueño de la casa, menos la escuela.

Otro de los aportes que se puede percibir es el ejercicio realizado por A2, al momento de estimar longitudes cortas, porque no recurre a partes de su cuerpo sino a la aplicación de un elemento externo, pues tomó un pedazo de papel de bolsa de cemento y lo superpuso sobre la cerámica hasta obtener la longitud de uno de sus lados, argumentando que así podría llevar esa medida donde él quisiera. La versatilidad al usar el papel “embaldosado” implica obtener medidas precisas y de forma rápida, pues basta con doblarlo simétricamente. Se logró advertir que una de las primeras opciones de instrumentos de medidas no graduadas eran objetos o herramientas que, a pesar de no ser tasadas, se les conoce su longitud o medida; por ejemplo, los obreros nombraban utensilios, como codales, reglas de repello, entre otros, de tal manera que éstos les permite realizar la estimación de longitudes, contornos o superficies planas.

De igual manera, en A3 se apreció un aspecto interesante cuando mencionó el uso de una cuerda, a la cual, se le transfiere la longitud que hay desde la pinza que hace el dedo pulgar con el índice, teniendo el brazo estirado hasta el

centro del pecho; esto, según A3, mide un metro y de hecho, en Colombia, esto es una creencia popular. Esta cuerda tendría ventajas con respecto a un cordal de un metro, ya que es de fácil manejo y mayor movilidad, porque se obtiene 50cm muy fácilmente al doblar la cuerda por la mitad y así sucesivamente. Aquí se encuentra un proceso diferente, pues el cuerpo sirve como referencia para transferir una medida no graduada a un objeto.

Uno de los elementos más significativos en esta investigación es la construcción implícita, por partes de los albañiles, de las nociones de medir y de estimar, que se evidenció no sólo por las aclaraciones y las afirmaciones de ellos al momento de realizar ciertas estimaciones o medidas, sino también en el desarrollo de algunas actividades de su oficio. Relativo a las noción de estimar, los albañiles usaban expresiones, entre muchas otras, como “le falta un poquito de...”, “no está bien”, “no es exacto”, “más o menos”, “casi”, “aproximadamente”, “es un promedio”, “ahí quedó bien”, “ahí”, “listo”, “ya”. Relativas al concepto de medir expresaron: “medir es comparar una cosa con otra”, “usar el metro”, “pues es saber cuánto hay, por ejemplo, de allí a allá” y “cómo sabe cuánto hay?”, “Pues... uso el metro” y “cómo lo hace con la arena para una mezcla?”, “uso la pala y uno ya sabe como es la cosa, o...”.

Con base en los análisis de los elementos determinados y lo expuesto por D'Ambrosio, en la entrevista señalada con anterioridad, cuando asegura que uno de los grandes objetivos de la etnomatemática es llevar esas prácticas a la escuela y contribuir a una enseñanza mejor, se puede deducir que los aspectos que se deben considerar para la elaboración de una situación problema en búsqueda de la construcción de la noción de estimación por parte de los estudiantes de grados sexto y séptimo de la educación secundaria son los siguientes: retomar lo mencionado por el profesor Ubiratan D'Ambrosio donde sustenta que el trabajo de la Etnomatemática no es pasar al alumno las teorías matemáticas existentes, que están congeladas en los libros para que él las repita, no. Debe ser una práctica, una cosa viva, hacer matemáticas dentro de las necesidades ambientales, sociales, culturales y dar un espacio para la imaginación, para la creatividad. Entonces, se utiliza literatura, juegos, cinema, todo eso, para ver en ellos componentes matemáticos, en otras palabras y a juicio de los autores de este artículo, se puede decir que las actividades que se presenten en la situación problema deben ir más allá del aula de clase, es decir, crear un buen ambiente de aprendizaje, donde los estudiantes sean motivados para la construcción del objeto que se desea movilizar, también teniendo en cuenta lo expuesto por Obando & Múnera (2003), que dicen que *una situación problema la podemos interpretar como un contexto de participación colectiva para el aprendizaje, en el que los estudiantes, al interactuar*

entre ellos mismos, y con el profesor, a través del objeto de conocimiento, dinamizan su actividad matemática, generando procesos conducentes a la construcción de nuevos conocimientos. Todo esto conlleva a plantear algunas preguntas en torno a la educación: ¿Por qué los estudiantes no tienen la posibilidad de crear instrumentos de medición diferentes a los tradicionales que se presentan en las clases de geometría?, ¿por qué en las clases de geometría o matemáticas los estudiantes no pueden usar partes de su cuerpo para medir o hacer estimaciones, cuando en la cotidianidad sí lo hacen?, acaso ¿no es posible establecer equivalencias o relaciones con patrones de medidas escolares y aquellos que se emplean en el saber popular?, ¿no es posible hacer una clase de geometría donde se involucre la medición y la estimación solo con el lenguaje verbal, es decir, que se privilegie la matemática oral, como sucede en la calle?

La etnomatemática de los albañiles no aporta solamente elementos de reflexión para la construcción de la noción de estimación y de medición sino, también, para otros objetos matemáticos, en los cuales, se puede desarrollar los otros tipos de pensamiento matemáticos. Lo que aquí se ha ilustrado es apenas una muestra de la complejidad de la lógica de construcción que los albañiles emplean en ese entramado de gestos, de expresiones a medias y de la utilización de herramientas comerciales y artesanales. Al tener en cuenta el tema de los albañiles, valdría la pena analizar la siguiente pregunta: ¿Cómo se respondería a la pregunta, para qué sirven las matemáticas? Por lo general, se responde que ayudan a pensar, a razonar, a mejorar la abstracción, a organizar un discurso de manera lógica. Esto es correcto y más cuando leemos a Duval (1999). Pero no es suficiente.

A partir de los aportes de las etnomatemáticas, se puede agregar, a esta respuesta, que las matemáticas permiten el reconocimiento del otro por medio de su forma de interpretar cosmológicamente su mundo, que las matemáticas son limitadas porque tienen su propio contexto, hace que grupos sociales o culturales o prácticas sociales creen sus propios lenguajes, símbolos, expresiones gestuales y hace que todos los seres humanos seamos iguales, porque somos capaces de desarrollarla. Las matemáticas, se crean porque el medio socio-cultural de un individuo así lo exige. En este sentido, uno de los aspectos más importantes es determinar cuáles son los significados que construyen los estudiantes en la clase y la relación que los conceptos escolares tienen con el entorno socio-cultural de éste.

Se puede decir, entonces, que la Educación Matemática colombiana sigue a espaldas de su entorno socio-cultural. Los ejemplos y “significados” de situaciones repetitivas, se

marcan a cada momento y se cree que el mejor estudiante de la clase es aquel que sabe aplicar a la perfección las leyes, las propiedades o los teoremas. Es muy fácil escuchar en problemas de aplicación “una partícula que se mueve...”, pero ¿qué entenderá el joven con la palabra partícula? Tampoco se trata de llevar a las aulas de clase la sub-realidad de las cosas, es decir, si estamos en el departamento de Boyacá, no se trata de colocar ejemplos con papas o, en el Valle del Cauca, con la caña de azúcar o, en Pasto, con el cuy, se trata de llevar, junto con la magnitud del ejemplo, su raíz, su significado social y cultural, su historia y sus valores. Es eso a lo que apunta el Programa de etnomatemática, una educación matemática más arraigada con la cotidianidad, explicada desde allá, partiendo de la lógica de construcción que genera cada situación, poniéndose así más al alcance de las niñas y niños, para que ellos puedan acercarse mucho a las matemáticas escolares, que solo son escritas. Esto es apenas el comienzo de una mejor y más profunda discusión sobre las relaciones de esas matemáticas externas, que algunos llaman no didácticas o no académicas, con la educación matemática escolar.

Conflicto de intereses: Los nombres de los albañiles fueron cambiados para proteger su identidad. Financiación: La financiación de esta investigación corrió por cuenta de los investigadores. Se considera que ella pudo llegar a \$100.000, por concepto de transporte.

BIBLIOGRAFÍA

1. CHAMORRO, M.; BELMONTE, J. 1994. El problema de la medida: Didáctica de las magnitudes lineales. Edi. Síntesis S.A. Serie: Matemáticas: Cultura y Aprendizaje. Nº 17. (Madrid). 152p.
2. BISHOP, A. 1999. Actividades relaciones con el entorno, y cultura matemática. En: Enculturación matemática, la educación matemática desde una perspectiva cultural. Edi. Paidós Ibérica S.A. p.39-84
3. BISHOP, A. 2005. Aproximación sociocultural a la educación matemática. Ed. Merlin I.D. Universidad del Valle. Instituto de Educación y pedagogía. (Cali). 199p.
4. BLANCO, H. 2008. Entrevista al profesor Ubiratan D'Ambrosio. Rev. Latinoamericana de Etnomatemáticas. 1(1):21-25.
5. DELFINO DA SILVA, M.A. 2007. A Etnomatemática em uma sala da eja: a experiência do pedreiro. Disponible desde Internet en: http://www.pucsp.br/pos/edmat/mp/SILVA_maria_aparecida_delfino.html (con acceso el 14/03/11).
6. DÜVAL, R. 1999. Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales. Traducción: Myriam Vega Restrepo. Origen: © Peter Lang S.A. Universidad del Valle. Instituto de Educación y Pedagogía. Colombia. 310p.
7. FRANÇOIS, K.; KERKHOVE, B. 2010. Ethnomathematics and the philosophy of mathematics (education). En: Löwe, B.; Müller, T. (eds.) PhiMSAMP. Philosophy of Mathematics: Sociological Aspects and Mathematical Practice. College Publications. (London). Texts in Philosophy. 11. p.121-154.
8. GLAVAM, C. 2003. Etnomatemática, currículo e práticas sociais do “mundo da construção civil”. Disponible desde Internet en: http://cimm.ucr.ac.cr/ciaem/memorias/xi_ciaem/223_etnomatematica.pdf (con acceso el 20/03/11).
9. GOETZ, J.; LeCOMPTE, M. 1998. Etnografía y Diseño Cualitativo en Investigación Educativa. Ed. Morata. (Madrid). 280p.
10. KNIJNIK, G. 2006. Educacao matemática, culturas e conhecimento naluta pela terra. EDUNISC. (Santa Cruz do Sul). 239p.
11. LÜNKES, A. 2004. Etnomatemáticas: sobre a pluralidade nas significacoes do programa etnomatemática. Em: Machado, J.; Santos, M. Ferreira, R. eds. Etnomatemática: Papel, valor e significado. 1ª edición. Zouk (San Pablo). p.75-87.
12. MACHADO, J.; SANTOS, M.; FERREIRA, R. 2004. Etnomatemática: Papel, valor e significado. Zouk. (San Pablo). 287p.
13. Ministerio de Educación Nacional (MEN). 1998. Serie lineamientos curriculares. Disponible desde Internet en: <http://www.mineducacion.gov.co> (con acceso el 10/03/10).
14. OBANDO, G.; MÚNERA, J. 2003. Las situaciones problema como estrategia para la conceptualización matemática. Rev. Educación y Pedagogía. (Medellín). 15(35):183-199.
15. PARDAL, E. 2008. Um estudo de etnomatemática: a matemática praticada pelos pedreiros. Disponible

- desde Internet en: <http://repositorioaberto.univab.pt/bitstream/10400.2/1359/1/U.A.A%20Matem%C3%A1tica%20Praticada%20pelos%20PedreirosEug%C3%A9nia%20Pardal.pdf> (con acceso el 14/03/11).
16. POSADA, F. 2007. Pensamiento Métrico y sistemas de medidas: Módulo 3. Secretaría de Educación para la Cultura de Antioquia, Universidad de Antioquia. (Medellín). 129p.
17. SKOVSMOSE, O. 2004. Foreground dos educandos e a política de obstáculos para aprendizagem. En: Machado, J.; Santos, M.; Ferreira, R. eds. Etnomatemática: Papel, valor e significado. Zouk. (San Pablo). p.103-122.
18. TRUZZI, A. 2006. Estudo da Utilização de Medidas Não-Oficiais em uma Comunidade de Vocação Rural. Disponible desde Internet en: http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137031P7/2006/mauso_apt_me_rcla.pdf (con acceso el 14/03/11).
- Recibido: Septiembre 21 de 2010
Aceptado: Marzo 30 de 2011

EL ROL DEL ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO EN LA SELECCIÓN DE MODELOS DE REDES NEURONALES

ROLE OF THE TRAINING ALGORITHM IN MODEL SELECTION ON NEURAL NETWORKS

Paola Sánchez¹, Juan Velásquez²

¹Ph.D. (c). Escuela de Sistemas. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Carrera 80 No. 65 – 223. Medellín, Colombia. Autor para Correspondencia. E-mail: pasanche@unal.edu.co ²Ph.D. Escuela de Sistemas. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. E-mail: jvelasq@unal.edu.co.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 14(1): 149 - 156, 2011

RESUMEN

La capacidad de ajuste de una red neuronal se ve a menudo afectada por la configuración usada, en especial, en relación al número de neuronas ocultas y de variables de entrada, toda vez que, a medida que el número de parámetros del modelo aumenta, se favorece el aprendizaje de la red y, por tanto, el ajuste es mejor. Teóricamente, un proceso constructivo de adición de parámetros debería conducir a reducciones sistemáticas en el error, siempre y cuando, los modelos sean anidados en cada paso del proceso. En este trabajo, se valida la hipótesis que la adición de neuronas ocultas en modelos anidados debe conducir a reducciones en el error, sin importar el algoritmo de entrenamiento usado; para ejemplificar la discusión, se usaron la serie de pasajeros en líneas aéreas y de manchas solares de Box & Jenkins y los métodos de entrenamiento de Regla Delta y RProp. La evidencia experimental demuestra que los métodos de entrenamiento evaluados exhiben comportamientos diferentes a los teóricamente esperados, incumpliendo el supuesto de reducción del error.

Palabras clave: Redes Neuronales, Algoritmo de Entrenamiento.

SUMMARY

The Neural net's fit ability is often affected by the network configuration, particularly the number of hidden neurons and input variables. As the size of these parameters increases, the learning also increases, then the fit of network is better. Theoretically, if parameters are increasing regularly, the error should be reduced systematically, provided that the models

are nested for each step of the process. In this work, we validated the hypothesis that the addition of hidden neurons in nested models lead to systematic reductions in error, regardless of the learning algorithm used; to illustrate the discussion we used the number of airline passengers and Sunspots in Box & Jenkins, and RProp and Delta Rule as learning methods. Experimental evidence shows that the evaluated training methods show different behaviors as those theoretically expected, it means, not fulfilling the assumption of error reduction.

Key words: Artificial neural networks, training algorithm.

INTRODUCCIÓN

El pronóstico de series de tiempo es un área que ha despertado el interés de investigadores en diversos campos del conocimiento. Esta motivación ha conducido al surgimiento de una amplia gama de modelos, donde las redes neuronales artificiales, vistas como una técnica no paramétrica y no lineal de regresión, han demostrado un enorme potencial, debido a sus capacidades de adaptabilidad, generalización, aprendizaje y capacidad para representar relaciones no lineales (Zhang *et al.* 1998; Velásquez *et al.* 2008). El creciente interés en el desarrollo de aplicaciones de pronóstico con redes neuronales, se denota con la publicación de más de 5000 artículos de investigación presentes en la literatura (Crone & Kourentzes, 2009; Adya & Collopy, 1998).

Si bien, existen muchos reportes exitosos sobre el uso de las redes neuronales en el pronóstico de series de tiempo, también y tal como lo enuncian Zhang *et al.* (1998), se han reportado resultados que contradicen estas evidencias, generando así

inconsistencias sobre este tópico. Una explicación aceptada de las razones que conducen a resultados inconsistentes está relacionada con el elevado número de factores determinantes en el proceso de construcción del modelo. Dicho proceso de construcción incluye:

- La selección del algoritmo de aprendizaje o entrenamiento utilizado y de los valores de sus parámetros, los cuales, impactan, directamente, aspectos, como el tiempo de convergencia, el valor de los estadísticos de ajuste y la robustez del modelo final (Hagan *et al.* 1996; Fahlman, 1989; Tang & Koehler, 1994).
- La selección del número adecuado de neuronas en la capa oculta (Zhang *et al.* 2001; Murata *et al.* 1994).

Se sabe que estos aspectos están interrelacionados y que influyen en la bondad del modelo para ajustarse a los datos, así como en su capacidad de generalización. Qi & Zhang (2001) analizan la influencia del número de neuronas ocultas en el ajuste del modelo, pero no presentan resultados concluyentes; por lo que no existe, una visión clara, coherente y comúnmente aceptada sobre esta interrelación. La multiplicidad de criterios en cada una de las fases del proceso de construcción del modelo hace que la técnica sea inestable, ya que cualquier cambio en un solo criterio conduce a grandes cambios en el ajuste. Consecuentemente, un análisis del comportamiento de estos factores es de especial interés a la hora de implementar un modelo de red neuronal.

Se sabe que un proceso adecuado para la estimación de los parámetros de una red neuronal es el punto de partida para determinar la forma del modelo, toda vez que se parte del supuesto que dicha estimación es óptima. Con respecto a esto, se ha demostrado que las redes neuronales artificiales son aproximadores universales de funciones, tal como lo establecen Hornik *et al.* (1989), basado en el teorema de superposición de Kolmogorov, un perceptrón multicapa con un número suficiente de neuronas ocultas puede aproximar, con un nivel arbitrario de precisión, cualquier función continua definida en un espacio finito; sin embargo, la demostración matemática no da indicios de cómo se deben estimar los parámetros de la red neuronal tal que el error se pueda llevar arbitrariamente a cero; igualmente, tampoco presenta indicios que indiquen si el error de ajuste para un modelo más complejo (con más neuronas de entrada o más neuronas ocultas), respecto a un modelo más simple, debería aumentar, disminuir o permanecer igual. Uno de los intereses de este artículo es mostrar que el error de ajuste a la muestra de entrenamiento debe disminuir o, a lo sumo, permanecer igual, cuando se aumentan las neuronas de la capa oculta o de la capa de entrada; no obstante, este aspecto no es discutido profundamente en la literatura.

El primer objetivo de este artículo fue analizar las implicaciones teóricas y conceptuales de esta propiedad y los requerimientos que de ella se derivan, los cuales, deberían ser cumplidos por las diferentes metodologías de estimación de modelos de redes neuronales artificiales.

Se debe anotar, que pareciera que la comunidad científica diera por cierto que siempre es posible obtener un modelo que cumpla con el grado de precisión deseado en el ajuste, de tal forma que, el primer objetivo planteado, careciera de importancia real. Así, la contribución realizada en esta investigación consiste en analizar este aspecto, para determinar sus implicaciones sobre el proceso de obtención de un modelo de redes neuronales, con el fin de demostrar que se presentan consideraciones conceptuales con profundas implicaciones prácticas, que no han sido contempladas.

Por otra parte, se sabe que una de las razones del desempeño pobre de una red neuronal está relacionada con las fortalezas y las falencias del algoritmo de entrenamiento utilizado para calcular sus pesos o parámetros; esto es, su capacidad para eludir los mínimos locales de la función de error de ajuste y la facilidad de calibración de sus parámetros, para aplicarlo a cada caso particular. Este aspecto ha motivado el planteamiento de muchos algoritmos novedosos, para la optimización que realizan una búsqueda computacionalmente más rápida del óptimo o que permitan encontrar óptimos de mejor calidad (mejor ajuste del modelo), que otros métodos disponibles; no obstante, en el desarrollo de dichos algoritmos no se tienen en cuenta las implicaciones prácticas que las redes sean aproximadores universales de funciones y de la reducción del error de ajuste, a medida que se aumentan neuronas en la capa oculta.

El segundo objetivo de este trabajo fue analizar, de forma empírica, si dos de los principales algoritmos de optimización usados para entrenar redes neuronales —regla delta generalizada y *resilient back propagation* (Rprop)— cumplen con las implicaciones derivadas en el primer objetivo, en términos de la reducción del error de ajuste. Existen dos aportes fundamentales en la consecución de este objetivo: primero, el tipo de análisis planteado nunca ha sido realizado en la literatura técnica, de tal forma que, muchas razones que se podrían dar, en principio, para rechazar este objetivo son basadas en la experiencia práctica más que en un proceso riguroso de experimentación, por lo que este rechazo carecería de fundamentos sólidos. Y segundo, se presenta una nueva perspectiva del problema avalada por resultados experimentales que corroboran el análisis efectuado.

El análisis derivado de las conclusiones que se pueden lograr de los dos objetivos anteriores tiene profundas e importantes

implicaciones conceptuales, teóricas y prácticas del proceso de selección del modelo, esto es, sobre las diferentes metodologías que se han desarrollado para determinar el número adecuado de neuronas en la capa oculta. El tercer objetivo de esta investigación es realizar dicho análisis.

La originalidad, importancia y relevancia de este trabajo está basada en los siguientes aspectos:

1. Se evalúan aspectos teóricos de la construcción de modelos de redes neuronales, tales como el cumplimiento del supuesto de reducción del error en un proceso de adicción de neuronas ocultas y la inferencia del método de entrenamiento en los resultados.
2. Se establecen criterios que deben ser considerados a la hora de construir una representación de series de tiempo con redes neuronales, que son obviados en su implementación y se discute cómo estos afectan el modelo final obtenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El perceptrón multicapa: En la figura 1, se presenta el esquema representativo de una red perceptrón multicapa. Este tipo de arquitectura de red neuronal consta de:

- Una capa de entrada, donde existe una neurona por cada valor rezagado de la serie de tiempo y_t , con un número de P retardos.
- Una o más capas ocultas. En el caso particular analizado, se consideró únicamente una capa oculta con H neuronas. Cada neurona de la capa oculta transforma su entrada neta usando una función no lineal $g(\cdot)$, conocida técnicamente como función de activación o de transferencia, y la envía hacia la siguiente capa, a través

de las conexiones β_h .

- Una capa de salida. Para este caso, la capa de salida consta de una sola neurona, que corresponde al valor actual de la serie de tiempo y_t .

Tanto las capas ocultas como la capa de salida reciben un pulso unitario de una neurona que no recibe entradas, la cual, es notada en la figura 1, con la letra B . Las conexiones por las que se transmite este pulso son notadas como ω_h , para la capa oculta y, como η , para la neurona de la capa de salida.

Así, el valor actual de una serie de tiempo es una función no lineal de sus valores pasados y_{t-1}, \dots, y_{t-p} , la cual, se define como:

$$y_t = \eta + \sum_{h=1}^H \left\{ \beta_h \times g \left[\omega_h + \sum_{p=1}^p \alpha_{p,h} y_{t-p} \right] \right\} + e_t$$

donde e_t representa los errores o residuos del modelo que son independientes e idénticamente distribuidos (iid) con media cero y varianza constante σ_e^2 .

Con el diseño de una red neuronal artificial, se pretende conseguir que, para ciertos valores rezagados de la variable explicada, ésta sea capaz de aproximar el valor actual de la serie de tiempo con una precisión deseada (Zhang *et al.* 1998). Para ello, además de una estructura adecuada (determinada por los valores escogidos de P y H), se requiere de un proceso de aprendizaje, que permita modificar los valores de los pesos asociados a las distintas conexiones [$\eta, \omega_h, \beta_h, \alpha_{p,h}$ para $h = 1, \dots, H$ y $p = 1, \dots, P$], también conocidos como parámetros del modelo. Tal como lo

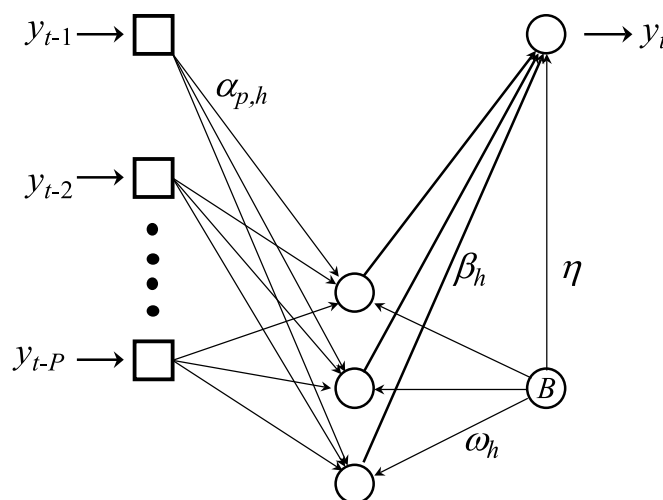


Figura 1. Esquema de un perceptrón multicapa con una capa oculta de procesamiento.

exponen Qi & Zhang (2001) existe una estrecha relación entre el desempeño del modelo y la selección de los valores de P y H . La importancia primaria de hacer una selección adecuada radica en las dificultades de convergencia del algoritmo de aprendizaje, que puede acarrear el incluir retardos irrelevantes y obtener un modelo final con pobre desempeño en ajuste y en generalización.

La literatura muestra el desarrollo de métodos constructivos, que permiten la selección del número de neuronas ocultas dentro del proceso de entrenamiento, mediante una evaluación de la conveniencia de adicionar o no un nuevo parámetro a la red, según éste disminuya el término del error. El desarrollo bajo el esquema constructivo exige que el error disminuya a medida que se adicionan parámetros al modelo; sin embargo, la base conceptual y las implicaciones prácticas de dicha reducción no son tenidas en cuenta a menudo.

Complejidad del modelo y reducción del error de ajuste:

Existen varios trabajos teóricos que demuestran que una red neuronal, tipo perceptrón multicapa, es un aproximador universal de funciones; un ejemplo es el trabajo de Hornik *et al.* (1989). En esta sección, se muestra que el error de ajuste debe disminuir o, en el peor caso, permanecer igual, cuando se adicionan neuronas ocultas o de entrada. El razonamiento es el siguiente:

- Sea un perceptrón multicapa con H neuronas en la capa oculta y que usa como entradas los primeros P rezagos de la serie. Se aplica la notación MLP (P, H), para representar este modelo.
- Los parámetros del modelo MLP (P, H) fueron estimados minimizando alguna función de error medida sobre un conjunto fijo de patrones de entrenamiento. Este error es notado como $E(P, H)$.
- Sea un perceptrón multicapa con una neurona oculta adicional; esto es, MLP ($P, H + 1$). Se cumple que $E(P, H) \geq E(P, H + 1)$, lo cual, se puede demostrar usando una contradicción. Supóngase que $E(P, H) < E(P, H + 1)$, en teoría esta situación no se puede dar. El modelo MLP ($P, H + 1$), se puede obtener del modelo MLP (P, H), al agregar una neurona oculta adicional; si se conservan los valores de los pesos del modelo MLP (P, H) y se hace cero la conexión β_{H+1} (independientemente de los pesos de las conexiones de la capa de entrada a la capa oculta), se tiene que $E(P, H) = E(P, H + 1)$, sin aplicar ningún proceso de optimización para ajustar los parámetros del modelo con una neurona adicional. Consecuentemente, el error debe permanecer igual o reducirse al agregar neuronas en la capa oculta.
- Sea un perceptrón multicapa con una entrada adicional; esto es, MLP ($P + 1, H$). Se cumple que $E(P, H) \geq E(P + 1, H)$. Al igual que en el caso anterior, el modelo MLP

($P + 1, H$), se puede obtener del modelo MLP (P, H) al agregar una nueva neurona de entrada para el rezago $P + 1$; si se conservan los valores de los pesos del modelo MLP (P, H) y se hacen cero las conexiones $\alpha_{P+1, h}$ para $h = 1, \dots, H$, se tiene que $E(P + 1, H) = E(P, H)$, sin aplicar ningún proceso de optimización para ajustar los parámetros del modelo con una entrada adicional. Consecuentemente, el error debe permanecer igual o reducirse al agregar nuevas entradas al modelo.

Lo anterior implica que un proceso de adición de neuronas ocultas va permitir (al menos teóricamente) una reducción secuencial del error de ajuste del modelo hasta un nivel arbitrariamente cercano a cero; en otras palabras, un modelo con más neuronas ocultas se debería ajustar mejor a los datos de entrenamiento que un modelo con menos neuronas ocultas; sin embargo, usualmente, los algoritmos de optimización no tienen en cuenta, dentro de su especificación, que se garantice dicha mejora, sugiriendo que la optimización, para cada posible modelo, se realiza de forma independiente.

En la literatura estadística, la reducción del error de ajuste al aumentar la complejidad del modelo es un concepto muy conocido; Hamilton (1994) es un ejemplo. El modelo MLP (P, H) es llamado modelo restringido, sub-modelo o modelo anidado respecto a los modelos MLP ($P, H + 1$) y MLP ($P + 1, H$), que son conocidos como completos. De aquí en adelante, el modelo completo, se refiere a MLP ($P, H + 1$), a menos que se especifique lo contrario. La comparación entre el modelo completo y el restringido es usada en el contraste del radio de verosimilitud, para determinar si una neurona oculta adicional es estadísticamente significativa —una explicación extensa es presentada por Hamilton (1994)—.

En conclusión, para un perceptrón multicapa y bajo un esquema constructivo de adición de neuronas ocultas, se debería presentar una reducción sistemática del error de ajuste, cada vez que se agrega una neurona en la capa oculta, hasta un nivel de precisión del ajuste arbitrariamente cercano a cero.

Información utilizada: Con el fin de validar empíricamente la reducción de del error de ajuste, se desarrollaron experimentos con dos diferentes conjuntos:

1. Uso de la serie del número mensual de pasajeros en líneas aéreas (Airline), la cual, consta de 144 observaciones que equivalen a los datos mensuales, entre 1949:01 y 1960:12. Para la serie Airline, se siguieron los lineamientos señalados por Faraway & Chatfield (1998) y Ghiassi *et al.* (2005), transformando la serie, mediante la función logaritmo natural, antes de llevar a cabo la experimentación.

2. Uso de la serie anual de manchas solares (SunSpots), que corresponde a 221 datos, en el periodo 1700 y 1920. Los datos de la serie Sunspots no fueron transformados.

Experimento 1: Se pretende evaluar si el ajuste de la serie es el mismo sin depender del algoritmo de entrenamiento que se use. Para ambas series, se consideraron configuraciones de red neuronal fijas, las cuales, se especifican por sus respectivos valores de P y H , y se estimaron los valores óptimos de los parámetros empleando los algoritmos de entrenamiento regla delta generalizada y Rprop. El método de la regla delta fue elegido por ser el algoritmo más comúnmente usado en las aplicaciones descritas en la literatura técnica para el entrenamiento de redes neuronales, mientras que el algoritmo RProp fue seleccionado por ser considerado uno de los algoritmos con más alto nivel de desempeño, velocidad de convergencia y robustez (Anastasiadis *et al.* 2003).

Para evitar la dependencia de los puntos iniciales y garantizar aleatoriedad en los resultados, cada proceso fue repetido 50 veces y se conservaron los valores de los pesos, que presentaron el menor error de ajuste.

Experimento 2: El objetivo fue evaluar si a medida que se adicionan neuronas en la capa oculta y manteniendo un número de entradas fijas, se produce una reducción del error de ajuste de los modelos a la serie de tiempo.

El experimento fue conducido de la siguiente forma:

- Para la serie Airline, se consideraron, como entradas, los rezagos 1, 12 y 13 (parámetros usados por Faraway & Chatfield, 1998). Para la serie Sunspots, las entradas elegidas fueron los rezagos 1 al 4 (parámetros empleados por Cottrell *et al.* 1995).
- Se consideraron modelos que varían desde una hasta diez neuronas en la capa oculta.
- Cada modelo fue optimizado separadamente, con los algoritmos de regla delta generalizada y Rprop.
- Para cada modelo considerado (que se obtiene variando la cantidad de neuronas en la capa oculta), se obtuvo modelo con el menor error cuadrático medio, elegido tras repetir cada proceso 50 veces, donde cada punto de inicio se eligió de manera aleatoria.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados obtenidos Experimento 1: En la tabla 1, se exhiben la configuración de red neuronal usada en el experimento y los errores obtenidos con cada algoritmo de entrenamiento. Estos, igualmente, son exhibidos en la figura 2. En la figura 2a, se presenta el gráfico de la serie Airline y su respectivo ajuste con los algoritmos Regla Delta y RProp. La figura 2b, ilustra el mismo proceso para la serie Sunspots.

Las figuras 2a y 2b demuestran que los ajustes obtenidos por ambos algoritmos (regla delta y RProp), bajo iguales condiciones de la red neuronal, son altamente diferentes. Esto demuestra la incidencia que tiene en la práctica el método de entrenamiento utilizado.

Resultados obtenidos Experimento 2: En la figura 3, se grafican los respectivos MSE obtenidos con la ejecución del experimento para cada algoritmo de entrenamiento considerado versus la cantidad de neuronas en la capa oculta para la serie Airline (3a) y Sunspots (3b). En ambos paneles, se observa que el algoritmo de Regla Delta no es la mejor opción de entrenamiento, toda vez que el MSE obtenido siempre es mayor que el logrado usando RProp. Si bien, al aumentar el número de neuronas en la capa ocultase da un mejor ajuste a las muestras de calibración; el comportamiento teórico secuencialmente decreciente no es evidente siempre en éste método. Este comportamiento es opuesto a lo evidenciado teóricamente.

Por su parte, el algoritmo RProp permite encontrar errores secuencialmente decrecientes en apariencia; sin embargo, a partir de determinada neurona no existe una disminución notable en el error de ajuste, por lo que no se alcanza la meta de cero; incluso, manifestando aumentos leves en el error calculado.

La evaluación empírica del desempeño de los métodos de entrenamiento regla delta generalizada y Rprop permiten concluir que no se puede garantizar el cumplimiento del criterio de reducción del error de ajuste a medida que se aumenta la complejidad del modelo, adicionando neuronas en la capa oculta. Ambos algoritmos fallan al no presentar reducciones constantes en el error de ajuste y exhibir un equilibrio en

Tabla 1. Relación de Parámetros de Red y Errores de ajuste, para series Airline y Sunspots.

Serie	Entradas (P)	Neuronas Ocultas (H)	MSE Regla Delta	MSE RProp
Airline	1, 12, 13	2	0,0504	0,0035
SunSpots	1, 2, 3, 4	4	645,88	149,42

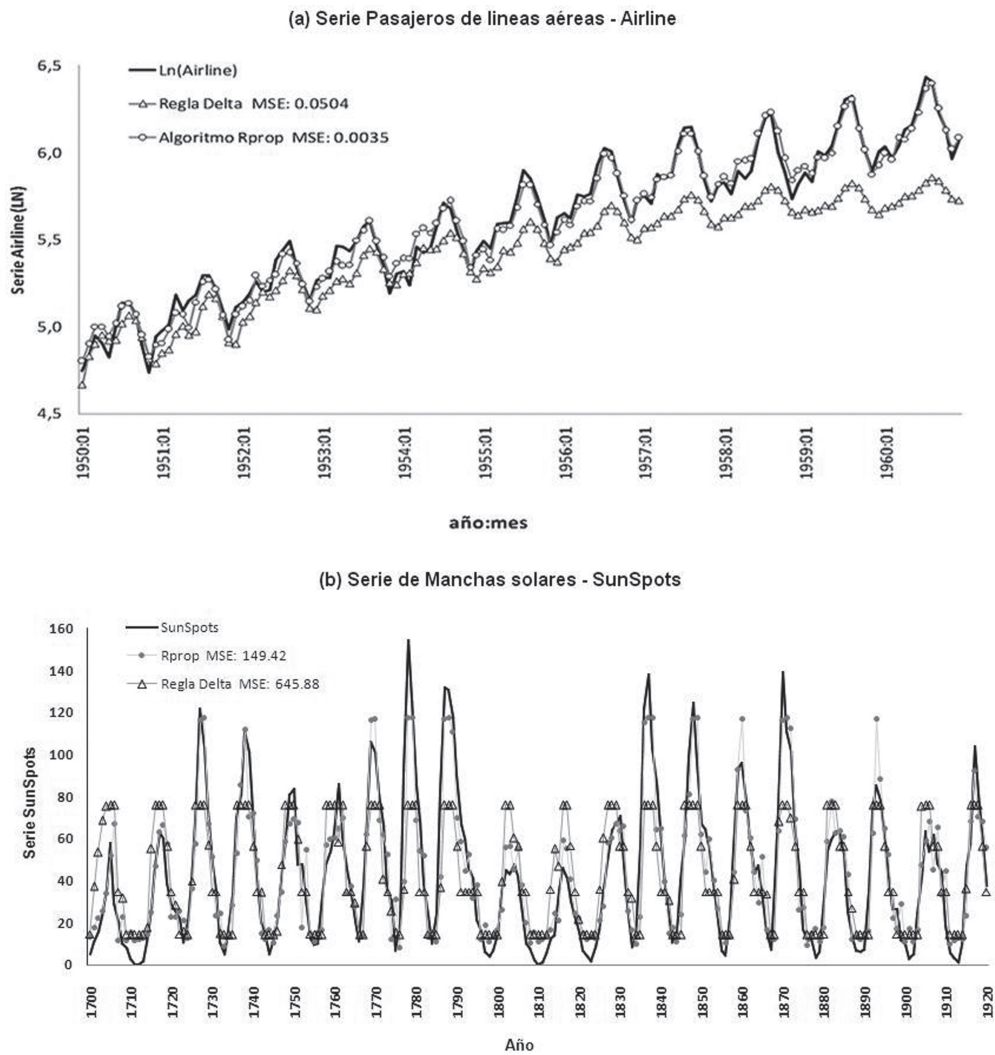


Figura 2. Ajuste de la serie Airline (a) y SunSpots (b), usando redes neuronales entrenadas con Regla Delta y Rprop.

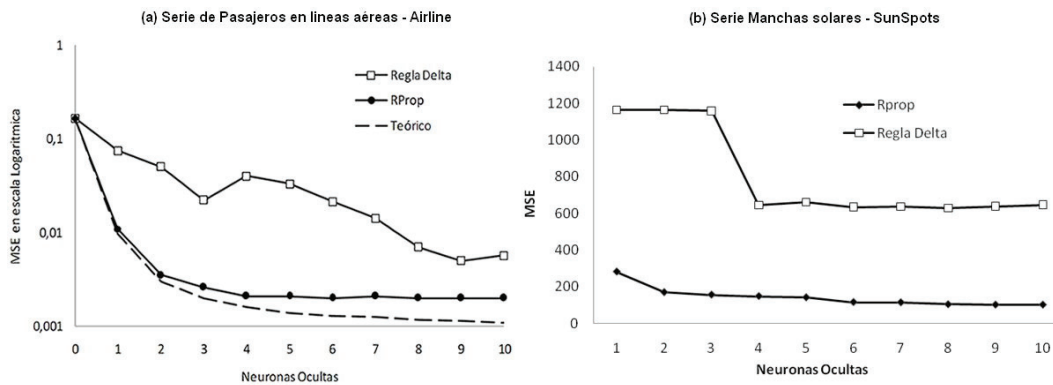


Figura 3. Comportamiento del MSE en serie Airline (a) y SunSpots (b), para modelos con entradas fijas y neuronas ocultas de 1 a 10.

un valor diferente a cero para el MSE, manifestando así, un comportamiento diferente al teóricamente planteado. Este resultado infiere, directamente, el proceso de construcción del modelo y, por ende, la selección adecuada del mejor modelo, toda vez que no se podría garantizar que no haya un modelo con mejor ajuste que el elegido.

Si bien, la falta de cumplimiento del supuesto se puede deber a otros factores, como implementación incorrecta del modelo de red neuronal, configuración de red inadecuada para las características de los datos o métodos de entrenamiento inadecuados, se descarta que dichos factores sean los causantes en este caso, puesto que, en primer lugar, los modelos de red neuronal adoptados son sugeridos como mejores modelos en los trabajos de Faraway & Chatfield (1998) y Cottrell *et al.* (1995); y en segundo lugar, se siguió un protocolo estándar para la especificación, la construcción y la selección del modelo, el cual, fue replicado una cantidad suficiente de veces, para descartar aleatoriedad en los resultados.

Implicaciones en la selección de entradas relevantes: La selección de las variables de entrada depende, en gran medida, del conocimiento que posea el modelador acerca de la serie de tiempo y es tarea de éste elegir, según algún criterio previamente fijado, la necesidad de cada variable dentro del modelo. La importancia primaria de hacer una selección adecuada radica en las dificultades de convergencia en el aprendizaje que puede acarrear el incluir entradas irrelevantes y el pobre desempeño del modelo.

Las metodologías para la selección de entradas relevantes, se basan en el supuesto que el algoritmo de optimización esta adecuadamente desarrollado, lo que degenera en consecuencias relacionadas con el incumplimiento de este supuesto, donde no se puede garantizar que la selección de las variables sea correcta y más aún que no se incluyan variables irrelevantes.

Implicaciones en la selección de neuronas ocultas: El incumplimiento del supuesto de reducción del error imposibilita un proceso constructivo de selección de variables, toda vez que, no se puede garantizar que el error disminuya al adicionar una nueva entrada. Más aún, esto degenera en las siguientes dificultades:

- Falta de convergencia de la red: el error no siempre alcanza el nivel deseado o el tiempo para hacerlo es alto.
- Pobre generalización: a menudo, algunos algoritmos, como el de la regla delta generalizada, presentan dificultades para replicar comportamientos, manifestando un amplio rango de valores del error, incluso, al comprender muchas variables.
- Selección errónea de variables: las dificultades en convergencia y generalización pueden conducir a la

inclusión de variables irrelevantes en el modelo, con el afán de alcanzar un nivel del error deseado y esto, a su vez, conduce a modelos altamente complejos (muchas variables).

Implicaciones en la construcción del modelo: El incumplimiento del supuesto de reducción del error influencia el proceso general de construcción del modelo, afectando el desempeño de la red en convergencia, capacidad de generalización o ajuste, selección adecuada de criterios de parada y robustez, toda vez que:

- No es posible, a partir de los resultados obtenidos, extraer reglas de comportamiento que nos conduzcan a una selección acertada de las variables y parámetros del modelo.
- No es posible seguir una metodología y proceso de modelado replicable.
- Conduce a una pobre generalización afectando, directamente, procesos orientados a la predicción, en la medida que se dificulta replicar comportamientos, siendo acentuado en patrones desconocidos.

Estos aspectos y otros tantos mencionados anteriormente, justifican estudios posteriores de la temática, orientados a la evaluación sistemática de diferentes métodos de entrenamiento, que permitan extraer tales reglas de comportamiento, con miras a una adecuada especificación del modelo de red neuronal.

Implicaciones metodológicas y conceptuales: El incumplimiento del supuesto de reducción del error, se puede ver como una explicación coherente de los resultados inconsistentes que, a menudo, se encuentran en la literatura acerca del desempeño de los modelos de redes neuronales. Las pruebas sobre los algoritmos de entrenamiento, se limitan a verificar la minimización del error, su capacidad de convergencia y generalización; sin embargo, aspectos como la verificación de los supuestos de reducción del error no son tenidos en cuenta a la hora de evaluar las bondades de su uso.

Si se garantiza la convergencia del error es posible encontrar redes neuronales con un mejor de ajuste y una mejor generalización, mientras que, usando los métodos tradicionales, se puede producir un estancamiento en cierto valor del error de tal forma que aunque se aumente la complejidad del modelo no es posible llegar a errores más bajos.

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

BIBLIOGRAFÍA

1. ADYA, M.; COLLOPY, F. 1998. How effective are neural networks at forecasting; prediction? A review; evaluation. *J. Forecasting (USA)*. 17:481-495.
2. ANASTASIADIS, A.D.; MAGOULAS, G.D.; VRAHATIS, M.N. 2003. An Efficient Improvement of the Rprop Algorithm. *Proceedings of the First International Workshop on Artificial Neural Networks in Pattern Recognition. University of Florence (ITALY)*. p.197-201.
3. COTTRELL, M.; GIRARD, B.; GIRARD, Y.; MANGEAS, M.; MÜLLER, C. 1995. Neural modeling for time series: a statistical stepwise method for weight elimination. *IEEE Transactions on Neural Networks (USA)*. 6(6):1355-1364.
4. CRONE, S.; KOURENTZES, N. 2009. Input-variable Specification for Neural Networks - An Analysis of Forecasting low and high Time Series Frequency. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN'09 (USA)*. p.619-626.
5. FAHLMAN, S. 1989. Faster-learning variations of back-propagation: An empirical study. En: Touretzky, D., Hinton, G.; Sejnowski, T. (eds) *Proceedings of the 1988 Connectionist Models Summer School (USA)*. p.38-51
6. FARAWAY, J.; CHATFIELD, C. 1998. Time series forecasting with neural networks: a comparative study using the airline data. *Appl. Statist. (USA)*. 47:231-250.
7. GHIASSI, M.; SAIDANE, H.; ZIMBRA, D.K. 2005. A dynamic neural network model for forecasting time series events. *International J. Forecasting (USA)*. 21:341-362.
8. HAGAN, M.T.; DEMUTH, H.B.; BEALE, M.H. 1996. *Neural Network Design*. Ed. PWS Publishing, Boston: MA(USA).
9. HAMILTON, J.D. 1994. *Time Series Analysis*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press (USA). 820p.
10. HORNIK, K.; STINCHICOMBE, M.; WHITE, H. 1989. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators. *Neural Networks (USA)*. 2(5):359-366.
11. MURATA, N.; YOSHIZAWA, S.; AMARI, S. 1994. Network information criterion-determining the number of hidden units for an artificial neural network model. *IEEE Transactions on Neural Networks (USA)*. 5:865-872.
12. QI, M.; ZHANG, P.G. 2001. An investigation of model selection criteria for neural network time series forecasting. *European J. Operational Research (NORWAY)*. 132:666-680.
13. TANG, Z.; KOEHLER, J.G. 1994. Deterministic global optimal FNN training algorithms. *Neural Networks (USA)*. 7:1405-1412.
14. VELÁSQUEZ, J.D.; DYNER, I.; SOUZA, R.C. 2008. Modelado del precio de la electricidad en brasil usando una red neuronal autorregresiva. *Ingeniare. Rev. Chilena Ingeniería*. 16(3):394-403.
15. ZHANG, P.G.; PATUWO, B.E.; HU, M.Y. 1998. Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. *International J. Forecasting (USA)*. 14(1):35-62.
16. ZHANG, G.P.; PATUWO, B.E.; HU, M.Y. 2001. A simulation study of artificial neural networks for non linear time-series forecasting. *Computers & Operations Research (USA)*. 28(4):381-396.

Recibido: Noviembre de 12 de 2010

Aceptado: Marzo 28 de 2011