
EDITORIAL

EXPERIENCIAS EN LA GENERACIÓN DE MODELOS DE INTERNACIONALIZACIÓN A LA MEDIDA

La Rectoría de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A considera que este aporte, tan sustancialmente valioso, se debe comunicar y compartir con los lectores de la Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, puesto que es un proyecto de análisis y de estudio sobre la Internacionalización de la Universidad que, en su fase determinante y concluyente, fue diseñado por la directora del Departamento de Relaciones Internacionales, Ximena Cardoso Arango, con base en contribuciones de todos los miembros del subsistema académico de la U.D.C.A. Es importante, igualmente mencionar, que este proyecto fue concebido con referentes y experiencias regionales, nacionales e internacionales y de varias Instituciones de Educación Superior, de la ciudad de Bogotá.

Para los universitarios, interesados en nuestra Revista Científica, considero que este documento será de gran utilidad e impacto y los invito para que lleven a cabo un análisis de su contenido y construyan sus propias conclusiones, con miras a fortalecer los procesos de internacionalización, fundamental hoy en día, para la excelencia académica, de todas las Universidades.

Durante el 2009 y el 2010, la Red Colombiana para la Internacionalización de la Educación Superior RCI, el Ministerio de Educación Nacional y la Asociación Colombiana de Universidades ASCUN, implementaron un proyecto para fortalecer la internacionalización de la Educación Superior en Colombia, consistente en la construcción de capacidades y de competencias institucionales y en la generación de modelos de internacionalización “a la medida”, en Instituciones de Educación Superior de todo nivel y carácter, con características diferentes de ubicación, de contexto y de condiciones institucionales. El producto final del proyecto *Acción para el fortalecimiento de la Internacionalización de las IES Colombianas* fue la generación de políticas y de planes estratégicos institucionales de internacionalización aterrizados a las realidades, necesidades, expectativas y particularidades de cada una de las 29 IES beneficiarias del proyecto, además de una notable sensibilización sobre la importancia de la internacionalización, su carácter transversal y el rol de todos los estamentos de una IES en su implementación.

La Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, como líder del grupo gestor de las fases I y II de este proyecto de construcción de procesos propios, realistas y sustentables a partir de propia su trayectoria institucional en internacionalización, presentó su experiencia, en el Congreso de las Américas sobre Educación Superior CAEI, en Río de Janeiro, el 27 de abril de 2012.

La internacionalización: factor fundamental de calidad y de fortalecimiento institucional

La internacionalización de la Educación Superior es un fenómeno que inicia con fuerza en Colombia y, en general, en los países de América Latina y el Caribe, en los años 90 y que toma mayor reconocimiento en 1998, una vez que la Conferencia Mundial de Educación Superior de la UNESCO, explicita la dimensión internacional en su declaración mundial, lo cual, se corrobora y se potencia en la declaración de la Segunda Conferencia, casi diez años después, en 2009, en París.

A dicha dimensión internacional se le identifica como un **elemento intrínseco de la calidad**, que redundando en el establecimiento de redes de conocimiento, en la vinculación de comunidades académicas, en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación y en la promoción de lazos de cooperación, fundamentada en la ayuda mutua y la solidaridad.

En términos generales, la internacionalización tiene unos objetivos generales, que conducen a beneficios para las sociedades:

- Promover la calidad de la Educación Superior
- Impulsar la movilidad de los miembros de las comunidades académicas y su inserción en un mundo globalizado, muy especialmente, en el caso de los egresados
- Fomentar la competitividad de las IES de un país o región
- Facilitar la transferencia del conocimiento y la innovación
- Responder a la globalización sin perder en el intento, y, por el contrario, convirtiendo en oportunidades las amenazas que conlleva

En la actualidad, la internacionalización de la educación superior plantea un nuevo reto y es el de la **compatibilidad y comparabilidad de los sistemas nacionales de educación superior**, ejercicio de convergencia basado en principios de calidad y de confianza; para alcanzar estas dos condiciones, la internacionalización de la Educación Superior debe proponer un trabajo institucional en doble vía: *“por una parte, la internacionalización constituye un objetivo y un proceso que se manifiesta especialmente hacia el interior de la institución y, por otra, la internacionalización constituye una estrategia para difundir su oferta educativa y de investigación en un espacio supranacional”* (SEBASTIÁN, Jesús. 2004. Cooperación e internacionalización de las universidades. Editorial Biblos, España. p.15). De esta manera, y ante las exigencias de la globalización respecto a la formación de profesionales comprometidos con su entorno y con las realidades de las sociedades, la internacionalización en las IES se constituye en un complejo reto que obliga a una **reflexión institucional**, promovida desde sus directivas, que posibilite una cultura de la internacionalización que permita proyectar sus actividades y funciones sustantivas.

La internacionalización, como proceso, requiere de unos lineamientos claros, que resulten **coherentes y pertinentes** con la identidad y naturaleza de las instituciones, fundamentado en una política de carácter transversal y en la definición de una estrategia consolidada en un plan de acción, como única alternativa para definir caminos y medios, según los intereses y las condiciones de cada institución.

El desarrollo de una internacionalización **ajustada a las realidades de la institución y articulada** con los demás procesos institucionales, contribuye al fortalecimiento institucional como un todo y a alcanzar logros duraderos en los objetivos de las tres funciones sustantivas -docencia, investigación y proyección social. Adicionalmente, en el espacio supranacional, se accede a la posibilidad de abrir nuevos espacios, de articularse al contexto mundial y de ampliar las oportunidades para los miembros de su comunidad educativa.

Antecedentes y evolución de un trabajo de construcción nacional

Un estudio realizado en 2007 por la RCI y liderado por la U.D.C.A y la Universidad de La Sabana, sobre el estado del arte de la internacionalización en Colombia, evidenció lo que se anticipaba sobre la heterogeneidad y la asimetría en el desarrollo de este proceso en las IES del país. Con una participación superior al 50% de las instituciones, el estudio dejó entrever las brechas existentes entre las IES colombianas, según su localización (capital-región), su tamaño y su tipo (universidades/instituciones universitarias-Instituciones Téc-

nicas y Tecnológicas) y la diversidad en la interpretación sobre lo que conlleva un proceso de internacionalización. Vale la pena mencionar que los resultados de este estudio, se constituyeron en la base para la construcción de los planes de acción del Ministerio de Educación Nacional y de la RCI y condujeron a un mayor trabajo conjunto entre ambas organizaciones a partir de la fecha, a lo cual, se sumaría ASCUN, como socio natural de la RCI.

En el 2008, ante la necesidad identificada de brindar herramientas a las instituciones para iniciar o consolidar sus procesos de internacionalización, se realizaron dos talleres de capacitación, donde se socializó una serie de experiencias exitosas, en diferentes ámbitos de la internacionalización. Ello se planteó como una actividad inicial de una dinámica de construcción de competencias y conocimientos institucionales en internacionalización y favoreció el trabajo en red a nivel regional e intrarregional.

En concordancia, en el 2009, se inicia la implementación de la *Acción para el Fortalecimiento del Proceso de Internacionalización de las IES Colombianas*, que se basa en la necesidad que tienen las IES de hallar **modelos propios** para emprender una cultura internacional y llevar a la práctica una estrategia de internacionalización, fundamentada en la acción conjunta al interior de las instituciones y en una verdadera política institucional, como pilar del proceso. Esta iniciativa estaba orientada a la construcción de capacidades institucionales para la internacionalización a partir dos componentes: el primero, la realización de una serie de actividades de **capacitación** dirigidas a todos los miembros de las comunidades académicas de las IES del país y, el segundo, un **programa de acompañamiento** para la creación de políticas y de planes específicos a la medida de las IES seleccionadas, tras una convocatoria abierta.

Ante los resultados obtenidos y la identificación de un número creciente de IES interesadas en iniciar o avanzar en sus procesos de internacionalización, en el 2010, se implementó una segunda fase de esta iniciativa, que incluyó entre las beneficiarias a las instituciones técnicas y tecnológicas.

Al finalizar dos fases, el balance presentaba resultados contundentes y tangibles: 29 IES contaban con una política institucional y un plan de internacionalización, construidos con la participación de sus directivas y comunidades universitarias; la RCI creció en número de miembros y en participación de las regiones; se generó un espacio nacional de internacionalización con proyección en América Latina y el Caribe que ha agrupado en un solo espacio anual los esfuerzos y compromiso de diferentes actores (RCI, ASCUN, MEN, Cancillería, ICETEX) en torno a un tema común; se habían realizado 2 Ruedas de Alianzas con IES de América Latina

y el Caribe en colaboración con la Cancillería, y se dio una indudable consolidación del tema de la internacionalización de la Educación Superior, como aspecto ineludible, en el marco de los procesos de calidad y de fortalecimiento institucional. Otros resultados, menos palpables, pero tanto o más importantes, de este proyecto en sus dos fases iniciales, fueron la generación de una “democratización” de la internacionalización; la reafirmación que no existe un modelo ideal para la implementación del proceso sino que puede haber tantos esquemas como instituciones y que los paradigmas importados solo funcionan si son adaptados a las realidades del entorno nacional y local y, finalmente, la identificación de las falencias y las debilidades del contexto y otras relacionadas con la gestión de las instituciones, que obstaculizan una eficiente inserción en la dinámica de la internacionalización.

A partir de 2011, el proceso de fortalecimiento nacional se ha concentrado en el Programa de Acompañamiento, a partir de un nuevo diseño, que busca aprovechar la experiencia de las universidades colombianas que cuentan con acreditación institucional de alta calidad y favorecer un ambiente de colaboración de aquellas con otras IES de menor desarrollo relativo, con la finalidad de cerrar brechas y promover la creación de lazos interinstitucionales e incrementar el trabajo en red, especialmente en las regiones.

Hacia la construcción de modelos propios de internacionalización

El programa de acompañamiento implementado en 2009 y 2010, surgió en respuesta a la necesidad de contar con una asesoría experta para el fortalecimiento del proceso de internacionalización, teniendo en cuenta, que es común que las iniciativas que se derivan de este objetivo obedecen a acciones aisladas y son producto de las circunstancias o de las voluntades personales de miembros de las instituciones.

A partir de su propia experiencia institucional y del intercambio de información frecuente en el seno de la RCI sobre el ejercicio de la internacionalización en otras IES, la U.D.C.A lideró el grupo gestor de la *Acción para el Fortalecimiento de la Internacionalización en las IES Colombianas*, que incluía entre sus componentes el Programa de Acompañamiento. Para ello, se tuvieron en cuenta **cinco premisas** fundamentales, a fin de generar la construcción y posterior consolidación de modelos PES (**P**ertinentes-**E**ficientes-**S**ostenibles):

1. **No existe un modelo único** para la gestión de la internacionalización en una IES, toda iniciativa debe estar acorde a la naturaleza e identidad de cada institución y responder a sus necesidades y proyecciones,

aprovechando fortalezas, potenciando capacidades y adaptando debilidades, de manera positiva, es decir, debe ser pertinente y realista.

2. La internacionalización **no es asunto exclusivo de una unidad** o dependencia, es un proceso que se construye con la concurrencia de todos o casi todos los actores institucionales, es transversal y debería ser intrínseca a la gestión de todos los funcionarios, académicos y administrativos, en el marco de la política y el plan de desarrollo institucionales.
3. La construcción de un proceso de internacionalización, se debe sustentar en una **autoevaluación** y una dinámica de **autoconocimiento** institucional, que permita sustentar la definición de lineamientos y de orientaciones en ese ámbito, que correspondan coherentemente a la institución y a las realidades propias y de su entorno.
4. Es indispensable que se garantice la sostenibilidad del proceso de internacionalización, así como su coherencia y su contribución al logro de las metas institucionales, con la generación de una **política de carácter institucional** que alinee todos los esfuerzos bajo un mismo derrotero y garantice la voluntad y el compromiso de la institución en su adopción e implementación.
5. La internacionalización para que resulte eficiente y tenga un objetivo establecido, se debería considerar como un **medio para el logro de los objetivos institucionales** y no como un fin de su gestión.

A partir de este trabajo, se definieron dos fases centrales del programa:

Fase I: Acondicionamiento. Comprende: i) La sensibilización, respecto al tema de los miembros de la comunidad institucional y la socialización de temáticas y de las etapas propias del proceso de construcción institucional; ii) La autoevaluación y diagnóstico de las condiciones de la institución, tanto en su proceso de internacionalización *per sé* (si había tal) como de las realidades institucionales frente a los objetivos y los mecanismos de la internacionalización y iii) la definición por parte de la institución, de manera que se asegurara la correspondencia con la identidad, la naturaleza y las proyecciones institucionales.

Fase II: Asimilación y Apropiación. Con base en las recomendaciones y los aspectos resultantes de la Fase I, se formuló una propuesta de lineamientos de política institucional de internacionalización y la posterior construcción de un plan de internacionalización de la institución. Como parte crucial de este trabajo, se llevó a cabo una evaluación de la unidad de relaciones internacionales, de fondo y de forma, con la generación de sugerencias para su reorganización y su fortalecimiento. En el plan de acción, se incluyeron metas e indicadores de gestión, así como el compromiso de implementar una estrategia de autoevaluación de los avances del proceso de internacionalización, con el objeto

de introducir mejoras y hacer seguimiento a su desarrollo, así como una retroalimentación permanente.

El Programa de Acompañamiento para la generación de procesos viables de internacionalización, enfrentó obstáculos importantes para su implementación y para la consecución de los productos, que suponía su desarrollo. Algunos de los más frecuentes fueron:

- Las instituciones tenían una noción generalizada de la internacionalización.
- Existencia de una creencia que la internacionalización, para que sea eficiente, debía contemplar todas las manifestaciones, mecanismos y actividades posibles, sin tomar en cuenta las condiciones y las capacidades de las instituciones para su implementación.
- Las IES en sus procesos de internacionalización tenían, como únicos referentes, los modelos de las universidades más desarrolladas en este sentido.
- La internacionalización, se percibía como una acción limitada a la movilidad académica y las unidades de relaciones internacionales, como agencias que apoyaban los viajes hacia el exterior.
- Se consideraba que las acciones de internacionalización eran responsabilidad exclusiva de una sola unidad al interior de las IES.
- Suponían que la implementación de un proceso de internacionalización era garantía inmediata en la consecución de recursos de financiación no reembolsable.
- Las instituciones percibían la internacionalización como una mera estrategia de venta de servicios en el exterior.
- Noción de la internacionalización, como un fin de la gestión institucional y no como un medio para la consecución de objetivos.

Diversidad de modelos, diversidad de instituciones

Después de dos años de trabajo conjunto para la construcción de capacidades institucionales y la generación de modelos de internacionalización a la medida de las instituciones, se identificaron diversos modelos y tendencias de internacionalización, de acuerdo con tres categorías: Objeto, Relacionamiento y Administración.

Según el objeto de la internacionalización. El “QUÉ” entiende la institución como internacionalización a partir de su identidad y su naturaleza; el “QUÉ” se pretende desarrollar en el corto, mediano y largo plazo y el “PARA QUÉ” se acomete los esfuerzos y se plantean los objetivos. Asumir todos los ámbitos de la internacionalización (movilidad, investigación, currículo, internacionalización en casa, exportación de servicios, gestión de recursos y otros) u orientar esfuerzos hacia las áreas y mecanismos, que resultan estratégicos para la institución y para los que existen

las condiciones necesarias de implementación. Como resultado, se generan modalidades distintas acopladas a la realidad y a las finalidades establecidas por cada institución, algunas de las cuales -las más representativas-, se enuncian a continuación:

1. Internacionalización basada en la función de Docencia
2. Internacionalización basada en la función de Investigación
3. Internacionalización basada en la función de Extensión
4. Internacionalización basada en la Exportación de Servicios
5. Internacionalización basada en la Gestión de Recursos

Según la política de Relacionamiento. Una vez sentadas las bases de lo que se entiende por internacionalización, sus implicaciones y connotaciones, sus alcances y objetivos institucionales, es necesario definir las prioridades de la institución, en lo que se refiere al establecimiento de sus lazos y vínculos de colaboración, el “CON QUIÉN” y las motivaciones de la decisión (“POR QUÉ”). En este sentido, se identifican varias modalidades diferentes, que no son excluyentes, pero que sí trazan un sendero que facilita la gestión de la internacionalización y le otorga a cada institución un sello, a la vez, que un derrotero claro:

1. Por prioridad geográfica
2. Por tipo de institución
3. Por tipo de relación
4. Por tipo de acuerdo

Según la administración del proceso de internacionalización. Como factor fundamental en la gestión eficiente del modelo de internacionalización y sus productos y elementos es imprescindible la definición de “QUIÉN” liderará el proceso al interior de la institución y coordinará su asimilación y apropiación para que, en efecto, se trate de un esfuerzo institucional, transversal y constructivo. En virtud de lo anterior, las IES definen diferentes modelos de administración del proceso de internacionalización, resultando los más frecuentes los siguientes:

1. Por tipo de estructura
2. Por tipo de gestión
3. Por ubicación en el organigrama

Reflexiones finales

Producto del trabajo en la generación de proceso de internacionalización en IES de todo tipo e índole en Colombia, se indicaron las siguientes consideraciones

- Una internacionalización eficiente debe servir a los objetivos institucionales y, en consecuencia, debe ser flexible para adaptarse a las necesidades de la institución, sin perder el norte fijado en la política de internacionalización.
- Una institución solo debe implementar aquellos mecanismos o estrategias que se adapten a su política

institucional y a sus condiciones y capacidades presentes y proyectadas. No es aconsejable asumir nuevos programas o proyectos en función únicamente de las tendencias internacionales, pues ello puede ir en detrimento de la sostenibilidad del proceso y del logro de objetivos planteados en los planes de acción institucionales.

- La internacionalización no se puede convertir en un asunto de “moda” y sus directrices e implementación han de estar arraigados en el proyecto educativo institucional, como un instrumento de generación de oportunidades, condiciones y escenarios para el cumplimiento de objetivos.
- Una institución podría generar sus propias estrategias y mecanismos, ya que está en permanente construcción y evolución. Además, como se ha mencionado, al ser la internacionalización un medio para el fortalecimiento

institucional, se tendría que pensar en función del cumplimiento de las metas de desarrollo de la institución y, por tanto, y en virtud de su cualidad de flexibilidad, sería casi inevitable que cada modelo contara con algunos mecanismos propios y originales o, al menos, con adaptaciones muy particulares de los esquemas originales.

- No existe un modelo único para la internacionalización.
- Probablemente, si todos los ejercicios de implantación tendieran a procesos PES (**P**ertinentes-**E**ficientes-**S**ostenibles), habría tantos modelos de internacionalización como IES.

Si quiere consultar el documento completo, ingrese a la Página Web de la Universidad (<http://www.udca.edu.co/es/rectoria/noticias.html>) y háganos llegar sus comentarios al correo electrónico: ganzola@udca.edu.co o relint@udca.edu.co.

UNA MIRADA AL MUNDO ÉTICO DE LA VIDA A PARTIR DE LA EXPERIENCIA DEL DOLOR CLÍNICO

A VIEW OF THE ETHICAL LIFEWORLD FROM EXPERIENCE OF CLINICAL PAIN

Luis Guillermo Jaramillo¹, Juan Carlos Aguirre²

¹Doctor en Ciencias Humanas y Sociales – Educación, Universidad del Cauca Ciudadela Campestre La Rioja, Casa i-2 Popayán, Cauca, Colombia. E-mail: ljaramillo@unicauca.edu.co ²Magíster en Filosofía, Universidad del Cauca Ciudadela Campestre La Rioja, Casa i-7 Popayán, Cauca, Colombia. E-mail: jcaguirre@unicauca.edu.co.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 9 - 17, 2012

RESUMEN

El artículo explora el fenómeno del dolor a la luz de las consideraciones éticas de Emmanuel Levinas. Para ello, se exponen algunos postulados fenomenológicos acerca del mundo de la vida; posteriormente, se despliega la propuesta de la conciencia no-intencional vista en relación con el fenómeno del dolor y, finalmente, tanto la tesis del mundo de la vida como la de la conciencia no-intencional sirven como soportes para analizar el fenómeno del dolor clínico. El artículo presenta unas conclusiones que permitirán reflexionar sobre la ética médica frente al dolor, en el mundo de la vida.

Palabras clave: Dolor, paciente, empatía, comunicación, conciencia.

SUMMARY

This paper explores the phenomena of pain based on the ethical considerations of Emmanuel Levinas. For this purpose, some phenomenological postulates about the world of life are exposed; later, the proposal of the non-intentional consciousness in relation with the phenomena of pain is unfolded; finally, both the thesis of world of life as the non-intentional thesis are considered useful as base to analyze the clinical phenomena of pain. This article presents some conclusions that allow to reflect about the medical ethics in front of pain in the world of life.

Key words: Pain, patient, empathy, communication, consciousness.

INTRODUCCIÓN: LEBENSWELT O MUNDO DE LA VIDA

Antes de establecer la relación entre Lebenswelt o Mundo de la vida y Ética de la vida es preciso enmarcar la Lebenswelt dentro del pensamiento del fenomenólogo Edmund Husserl, toda vez que es, en este marco, donde tendrá lugar la presente discusión. No se hará una exégesis detallada del concepto, sino que se resaltarán los puntos a los que se aludirá con mayor énfasis; tampoco se agotará la literatura sobre el tema, la cual, es bastante amplia (a modo de ejemplo, los trabajos de Gadamer, 1993; Habermas, 1987; Ströker, 1997; Iribarne, 2008; Walton, 1993), sino que nos limitaremos al parágrafo 10 de “Experiencia y Juicio” (Husserl, 1980), titulado: “El retroceso a la evidencia de la experiencia como retroceso al mundo vital [Lebenswelt]. Destrucción de las idealizaciones que cubren el mundo vital”. Valga aclarar que Husserl (2008b) abordó con detalle y sumo cuidado estas cuestiones.

Al fenomenólogo le interesa indagar acerca de los cimientos de la experiencia, tratando de buscar cómo tal experiencia se da a nosotros de manera evidente, es decir, clara, sin lugar a dudas. Es sabido que todo conocimiento evidente adquiere la forma de una proposición, Husserl habla de juicios predicativos o enunciados afirmativos, en otras palabras, la forma S es P, donde S es el sujeto y P el predicado; por ejemplo: Juan está enfermo, María cuida a sus pacientes. Esos enunciados alcanzan su plena exposición cuando se enuncian como “juicios”. Ahora bien, la búsqueda que inicia el fenomenólogo se dirige a dejar clara la relación entre lo que se afirma en P acerca de S, o sea, la forma como el juicio se relaciona con la experiencia que enuncia; en definitiva, cuál es el suelo del que brota el juicio.

Hablar de suelo es plantear la premisa que, a lo largo de los años, los juicios han ido acumulando sentidos que es preciso develar si se quiere encontrar cuál fue la fuente de su origen. El método fenomenológico tendrá que recurrir al análisis genético, es decir, génesis u origen, de modo que se despejen las diversas idealizaciones que se han ido tejiendo alrededor de la experiencia, ocultándola o haciendo que aparezca confusa. Después de este proceso, quedaríamos con el mundo de la experiencia, con el mundo vital en el que siempre hemos vivido, en el terreno sobre el que se asienta todo conocimiento y toda ciencia.

El propio Husserl reconoce que esta tarea no es fácil, pues no se trata solamente de “remontarnos, a partir de algunos juicios particulares que podemos tener a la vista como ejemplos, a la manera como se dan previamente los objetos-sustratos” (Husserl, 1980), sino de comprender el complejo horizonte, en el que cada una de las funciones de experiencia, se confunden de modo inseparable. Este entretrejimiento de funciones, oculto en la formulación definitiva del juicio, siempre ha estado circundándonos y nos lo hemos ido apropiando, “mediante comunicación, aprendizaje o tradición” (Husserl, 1980), en otras palabras, este mundo nos ha sido pre-dado en nuestra familiaridad y, a su vez, en él se nos ha señalado de antemano el sentido con el que todo objeto es determinable, en general, como lo-que-es.

Husserl (1980) plantea que el pre-darse de lo-que-es permite el actuar de la ciencia y sus métodos: “el estilo de esta manera de conocer se ha hecho tan paradigmático que de antemano existe la convicción de que los objetos de nuestra experiencia están determinados en sí, y que la función del conocimiento es justo descubrir en una aproximación estas determinaciones existentes en sí y fijarlas de manera “objetiva” como son en sí”. Es obvio que las ciencias físico-matemáticas toman el mundo de nuestra experiencia y determinan en él lo-que-es en sí, de manera objetiva. En el mundo espacio-temporal, las ciencias experimentan y establecen leyes causales: “con la misma obviedad se presupone que el nexa causal de lo-que-es, tal como se da en la experiencia, es el mismo que se determina posteriormente con exactitud y objetividad en la ciencia objetiva, como aquel nexa a que se refieren las leyes causales exactas” (Husserl, 1980). Según lo anterior, el mundo de la experiencia se ve reflejado en las idealizaciones del mundo de la ciencia, por ejemplo, la idealización del espacio conduce al espacio exacto de la geometría; sin embargo, valga aclarar, que tales idealizaciones se basan en los datos previos de nuestra experiencia inmediata (el punto cumbre del desarrollo de esta idea se encuentra en Husserl (2008a).

Se puede decir, entonces, que el conocimiento científico hunde sus raíces en contextos vitales o mundo de la vida, como punto de partida para la elaboración de conceptos

y de categorías, sobre los cuales, la ciencia dará cuenta como saber sistemático y verdadero, en otras palabras, la ciencia toma sus problemas del mundo cotidiano o cotidianidad de la vida y los resultados de ese proceso de elaboración de conocimiento nuevo se revierten sobre esas estructuras de la vida social; de este modo, podemos decir que la praxis social es génesis y, a la vez, punto de llegada de los procesos de investigación científica (una explicación detallada de este proceso, se encuentra en San Martín, 2010). Ahora bien, el pensamiento moderno, caracterizado por lo que Husserl llama: la matematización de la naturaleza, “sustituyó el mundo de nuestra experiencia por el mundo exacto, olvidándose completamente de preguntar por las operaciones originarias, dadoras de sentido; con ello se pasó por alto que ese método de la idealización, a fin de cuentas, no logra más que una anticipación ampliada hasta el infinito de lo que cabe esperar de la experiencia” (Husserl, 1980). Aguirre & Jaramillo (2010a) exponen una presentación detallada de este proceso de idealización. Según ellos, la idealización es vista por Husserl como un ejercicio de arropar la experiencia cotidiana, como un cubrir la experiencia pura. Lo complejo de la situación es que cuando se intenta descubrir los fundamentos de lo que es en sí, de los fundamentos del conocer, se toma a la naturaleza arropada, idealizada, es decir, se hace uso de la arquitectónica de las ciencias, de sus proposiciones y leyes. Esto, a decir de Husserl, ha conducido al olvido de la experiencia originaria y a la entronización del conocimiento exacto, como único tipo de conocimiento posible; por ello, la formulación de la *Lebenswelt* es un esfuerzo de Husserl por integrar en la explicación de la naturaleza de la ciencia elementos que, de no tenerse en cuenta, conducirían a una imagen unívoca, pero irreal del fenómeno científico.

Finalmente, Husserl propugna por lo que él llama: la justificación de la doxa, lo cual, consiste en integrar el saber exacto de la ciencia y el saber de la experiencia pre-predicativa dadora desde el mundo de la vida. Doxa, en este contexto, significa “el ámbito de las evidencias últimas y originarias aún no exactas ni idealizadas físico-matemáticamente” (Husserl, 1980). Tal justificación de la doxa, necesariamente, exigirá buscar la experiencia del mundo vital, deshaciéndose, así sea metodológicamente, como cuando se practica la *epojé*, de las idealizaciones.

El retorno al mundo vital no es una mera defensa del empirismo ingenuo, no es una simple aceptación del mundo tal y como se nos da, sino que involucra la historicidad, durante, la cual, los sentidos se han ido sedimentando. Muy a pesar de lo que algunos creen, la *Lebenswelt* no es un programa que se pretenda convertir en ciencia autónoma, una especie de exclusividad de lo que Maffesoli (1993, 1997) denomina “Conocimiento Ordinario”, es más bien un

ejercicio que tiene como fin “esclarecer el camino por el que debe llegarse a las evidencias en niveles superiores y de los presupuestos ocultos en los que estas evidencias se fundan y los que determinan y limitan su sentido” (Husserl, 1980). Con base en lo anterior, podemos decir que los procesos vitales del ser humano, en este caso su salud, desbordan las pretensiones teórico-asistenciales de la ciencia médica (Gadamer, 1996); por lo general, el concepto de salud-enfermedad se ha entendido como la asistencia que se dirige desde un sujeto que porta un saber especializado y exacto, hacia un otro necesitado que ignora los motivos y los orígenes de su dolor y su enfermedad. El mundo de la experiencia o mundo vital en el que el paciente siempre ha vivido, no es determinante, por cuanto se precisa un diagnóstico “veraz” acerca de la enfermedad; en tal sentido, la medicina no alcanza a comprender cómo en el complejo horizonte de las experiencias del paciente, se entretajan, de modo inseparable, unidades de sentido que dan cuenta de su enfermedad. Por el contrario, la linealidad de la ciencia médica, se asienta en la lógica de la evidencia que porta el profesional de la salud y que “suele manifestarse como un distanciamiento y objetivación del otro en la formalización del lenguaje, haciendo del otro-paciente un extraño y un subordinado” (Bohórquez & Jaramillo, 2004). Esta relación de distancia no es más que el alejamiento tematizante y objetivo del otro, con el fin de ir a la constatación de un saber que se ha previsto de antemano; como consecuencia, en medicina se aprende lo desconocido del otro, paciente, con la ayuda de lo conocido o saber médico del mismo. Frente a esta negación del otro, veamos a continuación cómo el filósofo Emmanuel Levinas propone una apertura ética del Otro, desde el mundo de la vida en la relación médico-paciente (advertimos que estas temáticas no son exclusividad del pensamiento de Levinas; ver al respecto los trabajos de Canguilhem, 1982). Posición que está en correspondencia con otros autores, como Thoresen *et al.* (2011), quienes consideran que el mundo de la vida puede ayudar a los profesionales a ser conscientes de las dimensiones significativas y relevantes que vivencian las personas que están cercanas a la experiencia de la muerte.

EL MUNDO DE LA VIDA COMO APERTURA A UNA RELACIÓN ÉTICA MÉDICO-PACIENTE. Antes de presentar las líneas generales del pensamiento de Levinas es necesario hacer la siguiente salvedad: se ha dicho que más que Fenomenología existen fenomenologías (Herrera, 2007; Aguirre & Jaramillo, 2009); en el caso de Levinas, la ruptura con la ortodoxia husserliana intentó enmarcarla en su propuesta de la conciencia no-intencional. En el artículo “La conciencia no-intencional” (Levinas, 1991), el autor refina su posición con respecto a la intencionalidad husserliana, destacando que ella es una deuda que tiene con Husserl; para Levinas, el gran aporte de la fenomenología consiste en que “lo pensado –objeto, tema, sentido– remite

al pensamiento que lo piensa, pero determina también la articulación subjetiva de su aparecer: el ser determina sus fenómenos” (Levinas, 2004); esto anuncia una nueva forma de desarrollar conceptos no reducida a lo empírico ni a deducciones analíticas, sintéticas o dialécticas.

Reconocida su deuda con el fundador de la fenomenología y expuesto su aporte en el proceso del conocimiento, Levinas pasa a cuestionar las tesis husserlianas, a las que acusa de privilegiar lo teórico, es decir, la representación, el saber, el sentido ontológico del ser (una crítica similar, se puede encontrar en Sartre, 2003). Levinas ve en la consideración husserliana de la “intencionalidad no teórica”, en el *Lebenswelt*, incluso en los análisis del cuerpo ampliamente desarrollados por otros autores, como Merleau-Ponty (1976), vanos intentos por salir de la esfera teórica del marco de la experiencia, pues esta intencionalidad mentalista propone sustituir el ser por la conciencia, transformando el “en sí” del mundo por la objetividad de un mundo dado para el sujeto, a partir de sus representaciones (Gaitán, 2010).

Para Levinas, Husserl (1995) coloca la intencionalidad como a priori de todo conocimiento teorizante; aquí la conciencia es punto de partida, en tanto es conciencia de... e inseparable del objeto intencional. De este modo, el objeto se presenta como re-presentación de todo acto objetivante, siendo para la misma conciencia objeto de... Husserl (1995) a través de la intencionalidad, invita a que nos preguntemos hacia dónde tiende la conciencia, dándose una tematización del otro, en el orden fenoménico del aparecer.

Por consiguiente, Levinas sintetiza sus críticas contra lo que para la tradición filosófica es la fuente de sentido, a través de los siguientes planteamientos: la correlación conocimiento y ser: “la correlación conocimiento-ser, la temática de la contemplación, significa una diferencia y, a la vez, una diferencia sobrepasada en lo verdadero donde lo conocido es comprendido y, de este modo, apropiado por el saber y como eximido de su alteridad” (Levinas, 2006). Para Levinas, lo único que podría romper lo teórico sería la relación con el otro, la cual, no se puede dar plenamente sino en el marco de la conciencia no-intencional; precisamente, se pregunta si el pensamiento, entendido como saber desde la ontología de la filosofía primera, agota los posibles de la significancia del pensamiento y si, tras el saber y su dominio sobre el ser, no surge una sabiduría más urgente.

Para responder esta pregunta, Levinas (2004) establecerá la distinción entre la conciencia intencional y la conciencia no reflexiva o pre-reflexiva y se preguntará: “¿Sabe en sentido estricto el «saber» de la conciencia pre-reflexiva?” Esta conciencia pre-reflexiva será un saber que, lejos de anclarse en la claridad y en la distinción, se debe comprender como

un desvanecimiento u ocultamiento de la presencia. Levinas denominará esta conciencia pre-reflexiva mala conciencia, caracterizada por carecer de intenciones, enfoques, nombre, situación, títulos; determinada por estar desnuda de todo atributo; desnudez que no se consigue a partir del develamiento o el descubrimiento de su verdad (en Totalidad e Infinito dirá: verdad plena que sólo puede brotar de la revelación); conciencia pre-reflexiva que, lejos de ser actividad del *yo puedo*, brota de la pasividad: “en la pasividad de lo no-intencional se pone en cuestión la justicia misma de la posición en el ser que se afirma en el pensamiento intencional, saber y dominio de la manu-tención: ser como mala conciencia; estar en cuestión, pero también ser interrogado, tener que responder: nacimiento del lenguaje”.

Sin embargo, esta respuesta no se puede dar en el tribunal del psiquismo como un ejercicio de autocritica en el que, el pensador, siempre apoyado en alguna argucia, saldría bien librado. Tener que responder nos sitúa en lo más exterior, en lo que no se deja reducir, debido a su infinitud, a mi interioridad; la respuesta no se da a una ley anónima sino al temor por los demás: “Temor por todo aquello que mi existir, a pesar de su inocencia intencional y consciente, puede representar de violencia y muerte. Temor que se remonta más allá de mi «conciencia de sí», por muy fuerte que sea la recuperación de la buena conciencia de la pura perseverancia en el ser. Temor que me llega desde el rostro del Otro (*Autru*). Rectitud extrema del rostro del prójimo que desgarrar las formas plásticas del fenómeno. Rectitud de una exposición a la muerte, sin defensa; y, antes de todo lenguaje y de toda mímica, una demanda que se dirige a mí desde el fondo de una soledad absoluta; una llamada o una orden, cuestionamiento de mi presencia y de mi responsabilidad” (Levinas, 2004).

En este párrafo, que bien se podría considerar como la condensación de toda la búsqueda levinasiana, se pueden entrever las críticas a la conciencia representacional: en primer lugar, sólo la presencia del otro, absolutamente Otro, da pleno sentido al concepto de verdad, en la medida en que el otro jamás podrá ser reducido al mismo (representado, intencionado); en segundo lugar, más que adoptar posturas comprensivas frente al otro, lo que lo ubicaría en el plano de la tematización, el Otro exige respuesta, actitud que sólo se puede entender en la esfera de lo pre-reflexivo; finalmente, si el acceso al Otro se da en términos de lenguaje, éste no será retórica que pretenda algo, asentimiento o persuasión, ni texto, obra (pues el decir jamás podrá encerrarse en lo dicho) sino en exposición (Aguirre & Jaramillo, 2010b). Respecto a la relación médico-paciente podríamos decir que el Otro-enfermo no es el constituido a la conciencia de un profesional de la salud que puede pre-decir su patología o lesión orgánica por su representación teórica que se tiene de la enfermedad; por el contrario, el Otro-enfermo se remonta a una vulnerabilidad y desnudez que pone en cuestión el saber del experto, al

instalarse, más bien, al remontarse por encima del campo de una conciencia fenomenológica. El paciente, a pesar de su padecer, se retrae a la correlación ser-saber porque demanda un llamado al saber-experto del médico; llamado a la responsabilidad por el destello de su rostro; rostro-paciente que se revela/rebela –por su vulnerabilidad– como prójimo, el cual, no se puede comprender sólo desde análisis de laboratorio o anamnesis impersonales sino en un plano eminentemente ético (Clifton-Soderstrom, 2003; Carel, 2011).

Lamentablemente, los procesos de relación médico-paciente se han caracterizado por una relación que engloba el saber del paciente en la totalidad omni-comprensiva del médico, ligado a la formación que éste ha tenido en los claustros universitarios, donde se va arrojando su mundo vital o cotidiano por el mundo teórico de la medicina. En este sentido, para el médico, su formación es un conocer más desde su profesión como capacitación que como formación, que llama a un encuentro con el Otro: hay una escisión en la educación médica que disocia capacitación y formación, sobrevalorando la capacitación y desconociendo la formación; así, el médico tiende a anteponer su rol profesional al ser personal, por tanto, subroga su ser al proceder, al enfatizarse la formación en la capacitación, es valorada desde una racionalidad técnica y a intereses profesionales; como consecuencia, se subvaloran los sujetos que participan en ella y al contexto (Bohórquez & Jaramillo, 2004).

Anteponer capacitación a formación es reducir al médico a sujeto-productor de un saber que lo faculta sobre un sujeto que padece y necesita de su predicción anatómico-funcional; saber que se aleja del encuentro ético de la responsabilidad y la capacitación como ejercicio de poder-médico que ubica en la correlación padecer-conocer, y que hace del médico un ser que comprende en la soledad del encuentro con el otro que sufre; paciente que toca desde un diagnóstico, pero que ignora en la indefensión de su rostro. Por consiguiente, o bien el médico sigue tratando al otro (paciente-objeto) como fuente de datos o lo asume como Otro al abordarlo desde el infinito de su desnudez en el padecimiento y en el dolor de su enfermedad; sólo podemos ver el infinito del otro que sufre cuando lo asumimos como radicalmente Otro (Jaramillo *et al.* 2004), pretensión que se intentará en el siguiente apartado.

SUFRIMIENTO, DOLOR E IRREDUCTIBILIDAD EN LA RELACIÓN MÉDICO-PACIENTE. El sufrimiento desborda toda contención de la conciencia intencional; sin embargo, se podría intentar ver el sentido del sufrimiento apelando a una razón explicativa: “Ya en el interior de una conciencia aislada, el dolor de sufrir puede adquirir el sentido de una pena que merece y espera un salario, y parece perder así de diversos modos su modalidad de inútil” (Levinas, 1993). En

el plano individual, el sufrimiento templaría el carácter o, al menos, serviría como indicador fisiológico, un síntoma que alerta de los peligros de una enfermedad. En el plano social, el sufrimiento de una comunidad permite llamados de atención que se deben suplir en pro del bienestar del cuerpo colectivo; en este caso, la utilidad del sufrimiento sería recogida por el poder para que, de modo pedagógico, emprendiera acciones de formación, de dirección y de represión. Asumiendo razones personales o sociales, el sufrimiento adquiere un sentido: “es esta, en verdad, una teleología política fundada en el valor de la existencia, en la perseverancia de la sociedad y del individuo en el ser, en su bienestar admitido como fin último y supremo” (Levinas, 1993).

La búsqueda del sentido del sin-sentido del sufrimiento es nominada por Levinas como Teodicea; en este caso, el sufrimiento se torna “un dolor que por tanto tiene sentido, que está subordinado de una u otra forma a la finalidad metafísica adivinada por la fe o por la creencia en el progreso. ¡Creencias todas ellas presupuestas por la teodicea! Esta es la gran idea necesaria para la paz interior de las almas en nuestro aquejado mundo. La invocamos para hacer comprensibles los sufrimientos de este mundo” (Levinas, 1993). El sentido, en este caso, fundaría un orden justo que comprende y tolera el sufrimiento, merced a su función depuradora para lograr el Bien, siempre y cuando los derechos del hombre aún se preserven, es decir, hasta el sufrimiento queda regulado y adquiere un estatus dentro del orden establecido; sin embargo, ¿cómo justificar el dolor de otro?, ¿cómo solicitarle que encuentre un sentido, así sea persuadiéndolo con los más nobles ideales? En este punto Levinas concluye que “la justificación del dolor del prójimo es ciertamente el origen de toda inmoralidad” (Levinas, 1993; Aguirre, 2010).

Si algo reclama Levinas en su filosofía es la inaplazable urgencia del rostro concreto del otro, en especial del desplazado, de la viuda, del enfermo; rostros tan fáciles de abstraer en la totalidad y de situarlos en categorías asépticas (Jaramillo & Aguirre, 2010), por tanto, en vez de hablar del dolor, del sufrimiento, situémonos en el caso concreto de la relación médico-paciente y, a partir de lo considerado, tanto por Husserl sobre el mundo de la vida como por la Ética de Levinas, encontremos modos concretos de asumir una ética de la vida. Para esto, nos apoyaremos en algunas investigaciones del profesor Stan van Hooft, de la Universidad de Deakin, Australia (aunque podríamos citar trabajos más recientes como, por ejemplo, los de Orange, 2011). Para Hooft (1998), “el sufrimiento es una de las experiencias humanas más profundas y perturbadoras. La misma palabra sufrimiento tiene una resonancia que se relaciona con el sentido que damos al significado de nuestra vida y con la amenaza que lanza el sufrimiento a nuestro afán

de felicidad”. Ahora bien, el sufrimiento no sólo se relaciona con las enfermedades, los dolores y las dificultades a las que debemos enfrentarnos; también involucra las crisis y las amenazas, que constituyen una degradación o alienación de nuestro propio ser; Wolcher (2003) plantea, en términos levinasianos, que el sufrimiento no admite justificaciones en tanto está más allá del ser; sin embargo, es en los primeros casos en los que palpamos, de manera más urgente y cotidiana, bajo las formas del dolor, cómo el sufrimiento del enfermo interrumpe la estabilidad de su vivir.

El alivio del dolor es considerado una disciplina científica administrada por expertos basados en consideraciones objetivas, más que en las necesidades y deseos de los pacientes. Quizá una de las causas para esta aproximación es que el dolor es asumido como algo no directamente comunicable; como resultado, los clínicos deben usar un modo de juzgar que brota de un diagnóstico objetivo; los tratamientos que prescriben, se basan sólo en tales juicios, más que en la comunicación del dolor por parte del paciente (Hooft, 2003). La cuestión primordial aquí es que si el dolor se enfoca, desde Levinas, como algo que no se puede tematizar, como propio de la esfera no-intencional, ¿cómo hace el médico para comprender el dolor del paciente, cómo hace éste para expresar su dolor? En este sentido, el problema se ubica en la comunicabilidad del dolor.

La definición de dolor, que asume Hooft, es la siguiente: “una experiencia sensorial y emocional asociada con daño actual o potencial de un tejido o descrita en términos de tal daño” (Hooft, 2003). Esta definición subraya varios aspectos: en primer lugar, el carácter desagradable del dolor: preferiríamos estar sin dolor; en segundo lugar, que el dolor es una experiencia: no tendría sentido decir que una persona tiene un dolor pero que no lo siente; en tercer lugar, la definición apunta al cuerpo: el dolor siempre es sentido como si estuviera localizado en una porción específica del cuerpo, es decir, “parece que a todo dolor le acompaña una experiencia física” o, dicho en otras palabras, “no resulta posible pensar el dolor sin un acompañante físico” (Vargas, 2005). En cuarto lugar, el dolor es una experiencia sensible: no se quiere decir que se vea o se toque, lo que se quiere enfatizar es que el dolor es sentido y experimentado en el cuerpo más que en el pensamiento. Finalmente, el dolor es una experiencia emocional: reaccionamos negativamente frente a él (Hooft, 2003).

Se puede considerar ahora otra idea agregada al concepto de dolor: su carácter de privacidad. Como modo de la subjetividad, el dolor es intensamente privado, es decir, es radicalmente mío; no existe objetivación que pueda permitirle al otro compartir mi dolor. Es tal vez esa la característica que haga difícil al médico aproximarse a mi dolor; a lo sumo

podrán comprender que el dolor que tengo es un llamado a una respuesta médica; sin embargo, si hemos partido de la premisa que el dolor es intensamente privado, ¿cómo es posible una respuesta?

Hooft cita a este respecto una frase de Virginia Wolf: “El inglés que puede expresar los pensamientos de Hamlet y la tragedia de Lear no tiene palabras para el escalofrío o el dolor de cabeza” (Hooft, 2003). A lo sumo, las palabras nos transmiten metáforas del dolor sentido; de ahí se concluiría, seguramente también Wolf, que el dolor no se puede transmitir en un lenguaje literal, sino que sólo tendríamos un acceso metafórico y, por tanto, impreciso, lo que a la larga implicaría un desconocimiento; no obstante, tal desconfianza con respecto a la metáfora carece de justificación: ¿cómo no es usual que describamos metafóricamente nuestras experiencias?, ¿la experiencia que tengo de disfrutar un hermoso atardecer no se puede compartir? Si bien mi descripción puede que no salga tan poética o metafórica como yo la percibo, puedo comunicar la mayoría de mi sentimiento con relación a ese atardecer.

Hooft se pregunta si esto no sucede igual con el dolor. Éste hace mención al cuestionario del dolor de McGill, desarrollado por Melzack & Torgerson (1971), el cual, “explora las connotaciones, relaciones, contrastes y similitudes entre las metáforas usadas al describir el dolor y sus relaciones con las enfermedades actuales”. Con esto quedaría desvirtuado el hecho que el dolor es incomunicable. Ahora bien, pongamos un caso extremo, dolores que ni siquiera pueden dar alguna articulación metafórica; un dolor expresado en gemidos o llanto. Concluye Hooft que, pese a que ese lenguaje es incapaz de articularse verbalmente, esto no significa que no pueda articularse de ningún modo (Hooft, 2003).

Pero lo que en la actitud natural se puede ver tan fácil de subsanar, en la actitud filosófica plantea serias cuestiones a la comunicabilidad del dolor: en primer lugar, el dolor es no-intencional: “Yo puedo describir mi ira al decir lo que me molestó. Puedo describir mi miedo al decir lo que me atemorizaba. Pero no puedo describir mi dolor de este modo. Puedo referirme a esa parte de mi cuerpo en la que el dolor está localizado, pero esto no es identificar un objeto intencional de dolor así como su sitio” (Hooft, 2003). En segundo lugar, el dolor derrota al lenguaje, en tanto la función del lenguaje es referirse a objetos; ahora bien, esto se extiende a que en ausencia de objetos a los cuales referirse el lenguaje, se deben recurrir a criterios objetivos para la adscripción de tales términos; así, “debo ser capaz de aplicar el criterio público para adscribir un estado subjetivo a mí mismo del modo en el que he aprendido a adscribirlo a otros” (Hooft, 2003). Ambos argumentos se podrían desvanecer usando un argumento del sentido común: ambas premisas olvidan

que la mayoría de nuestras charlas cotidianas no tienen la intención de informarnos acerca del mundo, sino de conservar o crear la intersubjetividad. Introduzcamos, finalmente, otro desafío a la comunicabilidad del dolor: el dolor aísla: “Para quien sufre dolor su mundo se reduce, en proporción a la severidad de su dolor, a su propia y aislada realidad. El mundo cesa de contar para esa persona. No es capaz de olvidarse de sí misma y estar plenamente en contacto con el mundo. Su atención está centrada en sí mismo. Está obsesionado con los estados de su cuerpo. No se trata sólo de que su experiencia es propia o que es incomunicable. No es que no se tengan las palabras para describir su dolor, como algunos sostienen. Es que no se es capaz de escapar de la prisión del auto-envolvimiento que su dolor ha creado a su alrededor. No hay realidad para ellos más que su propio sufrimiento (Hooft, 2003).

Siguiendo a Levinas, Hooft analiza el dolor como un reto ético. Para sustentar su conclusión, parte de las siguientes premisas: a) pese a que en fenómenos cotidianos como, por ejemplo, la conversación, se dan en términos de lenguaje, hay elementos, una mirada, un gesto, un silencio, que no pueden ser leídos como temas; b) el misterio y el infinito del Otro no se pueden asir conceptualmente; c) el Otro siempre es Otro en el sentido radical en que no puede ser apropiado por mí ni en la comprensión ni en la percepción; d) el modo de acceso al Otro es fundamentalmente ético: “si lo clasifico y lo pongo en una categoría predefinida, si me relaciono con él, tal y como lo he estructurado por esa clasificación, entonces actúo sin ética. Si me relaciono con un empleado sólo como un funcionario de mi empresa, o si me relaciono con mi paciente como un problema por resolver, entonces mi comportamiento no es ético” (Hooft, 2003).

Según esto, si bien existen argumentos para demostrar que el dolor es comunicable es más importante considerar que el dolor es radicalmente privado y no se puede compartir; posición planteada por Vargas (2005), cuando considera que “el dolor del otro es experimentado en la posición de la subjetividad como tal y en cuanto tal. El otro, sujeto, me motiva, hesitando mi posibilidad de existencia de estar en su lugar”. El dolor es, entonces, un misterio para quien lo observa desde fuera, es parte de la naturaleza incomprensible e infinita del Otro. La razón teórica de esto radica en que, según Hooft (2003), “para mí, tu dolor no es un fenómeno, no es un precepto. Es una modalidad de tu subjetividad, es una condición de tu misterio, de tu otredad, de tu infinitud. Aunque tú me transmitas mucho mediante las cosas que dices, las metáforas que usas o los gestos de tu cuerpo, permaneces en *tu* dolor. Aún en los niveles más profundos del encuentro, no puedo entenderlo ni clasificarlo. Si lo compartimentalizara como parte de un diagnóstico o tratamiento, no podría tomar posesión de él, ni hacerlo mío”.

En resumen, el reto ético del que habla Hooft, específicamente, en el caso del paciente, se comprime en que el encuentro del otro como Otro exige reabrir el mundo del paciente y romper su aislamiento al que ha sido forzado por su dolor y que es tematizado, a través de una escala de valores numéricos, llamada umbral de dolor. En el contexto clínico, la empatía o la compasión es la forma de responder a este reto y hacer posible la comunicación de y acerca del dolor. Obviamente, no estamos hablando de una comunicación factual y de información pragmática que lleve a responder a preguntas como: ¿dónde te duele? o ¿cómo sientes esto?, estamos hablando del establecimiento de la intersubjetividad, un encuentro entre dos yos.

CONCLUSIÓN: La ética médica frente al dolor en el mundo de la vida. El dolor revela al otro en su vulnerabilidad y desborda las representaciones que el mismo posee en su conciencia; fuera de toda intencionalidad comprensiva, el dolor del otro-paciente duele al mismo de la medicina desde el infinito de su trascendencia e irreductibilidad. El paciente que sufre, a pesar de su dolencia, no llama a sentir por él una compasión lastimera, ni la conmisericordia de querer ocupar su lugar como doliente; tampoco al pseudo-altruismo abnegado que se enmascara como caridad. Más allá de cualquier mistificación humanitaria, el médico, en sí mismo, experimentará el dolor desgarrado de no querer apresarse al paciente, a través de los roles tipificadores de su conciencia (Jaramillo & Aguirre, 2010). Ahora bien, tampoco se trata de contrarrestar el dolor del otro haciendo de la insensibilidad e indiferencia de saber que el que sufre es el otro y no el mismo. Por el contrario, tanto en la tipificación del dolor como en su negación; el paciente que sufre demanda e invoca una responsabilidad que obliga al saber médico a sentirlo en la hospitalidad de la acogida. Por ello, quien niega el dolor o lo enmascara no lo hace por las fallas o aciertos del intelecto; más allá de todo psiquismo, será por fallas del espíritu (Das, 2008). Espíritu que revela el grito ensordecedor de un sufrimiento que impide que el paciente, más allá de su dolor físico, padezca también el dolor infinito de su trascendencia; por ello: “quizás lo espiritual no muestre –no revele– su especificidad más que cuando se interrumpe la rutina del ser: en la extrañeza de unos humanos ante los otros, que sin embargo son capaces de una sociedad cuyo vínculo ya no es la integración de las partes en un todo.

Quizás, el vínculo espiritual resida en la no-indiferencia de unos hombres para con los otros que también se llama amor, pero que no reabsorbe la indiferencia de la extrañeza y que no es posible más que a partir de una palabra o de una orden que viene, a través del rostro humano, de muy alto fuera del mundo” (Levinas, 2002).

Quizás, la irreductibilidad del dolor en la relación médico-paciente sea uno de los retos que más debe afrontar el ser humano en el acontecer de su cotidianidad; el quebrantamiento de una humanidad que se hace piel en su dolor y enfermedad está propensa a ser re-absorbida por la representación de la conciencia intencional del saber médico. El recorrido hecho a lo largo de este escrito nos ha permitido entablar diálogo con la propuesta husserliana de la *Lebenswelt*. El retorno al mundo pre-dado, al mundo no cubierto, aún por el abrigo de la teoría, nos descubre las entreveradas relaciones que se tejen científicamente alrededor del dolor y las justificaciones que brotan acerca de la posibilidad de su comunicación, bien sea en palabras o en gestos, llevando a los especialistas del dolor a confiar en sus diagnósticos. El énfasis puesto por Levinas en la conciencia no-intencional libera al mundo de la vida de las pretensiones teóricas y omnicomprensivas, típicas del naturalismo y sitúa el dolor “de espaldas” a la conciencia. En este sentido, el mundo de la vida es un resituar el olvidado mundo en el que acaece lo auténticamente humano, un descentrar las pretensiones de *mathesis universalis* que justifican todo a partir de la conjunción conocer-ser y, un entronizar la ética como filosofía primera. Así, en el caso concreto del dolor que sufre un paciente y las relaciones que se tejen con el médico, se puede establecer la prolijidad del mundo de la vida en pro de la cada vez más urgente formulación de la Ética de la vida, permitiendo ampliar las fronteras del cuidado de la salud (Nortvedt, 2003).

Agradecimientos: Los autores desean expresamente dar crédito y mención a la Universidad del Cauca, por brindar los espacios y los tiempos necesarios para madurar las reflexiones aquí consignadas; también queremos agradecer a nuestros colegas de los Departamentos de Filosofía y Educación Física, por las discusiones que se han ido adelantando al interior de estas unidades académicas. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados esperados. Finalmente, queremos resaltar que algunas ideas contenidas en este trabajo se encuentran en Giraldo & Aguirre (2009).

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, J.C. 2010. Sufrimiento, verdad y justicia. *Alpha* 30:169-180.
2. AGUIRRE, J.C.; JARAMILLO, L.G. 2010a. La ciencia y el sentido común: por la enseñanza de un sentido común crítico. *Educ. Educad.* 13(3):477-494.

3. AGUIRRE, J.C.; JARAMILLO, L.G. 2010b. Críticas de Levinas al primado husserliano de la conciencia intencional". *Rev. Filos.* 66:51-70.
4. AGUIRRE, J.C.; JARAMILLO, L.G. 2009. La relación entre Merleau-Ponty y Gurwitsch en torno a la fenomenología de Husserl: ¿progreso o ruptura?" *Acta Fenomenológica Latinoamericana, Volumen III.* México / Lima: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo / Pontificia Universidad Católica del Perú, p.483-498.
5. BOHÓRQUEZ, F.; JARAMILLO, L. 2004. El diálogo como encuentro: aproximación a la relación ética médico-paciente. *Hacia la promoción de la salud.* 9:79-91.
6. CANGUILHEM, G. 1982. *Lo normal y lo patológico.* Siglo XXI (México). 242p.
7. CAREL, H. 2011. Phenomenology and Its application in medicine. *Theoret. Med. Bioeth.* 32(1):33-46.
8. CLIFTON-SODERSTROM, M. 2003. Levinas and Patient as Other: The Ethical Foundation of Medicine. *J. Med. & Philos.* 28(4):447-460.
9. DAS, V. 2008. Lenguaje y Cuerpo: transacciones en la construcción del dolor. Ortega, F. (ed.). *Sujetos del dolor, agentes de dignidad.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p.343-374.
10. GADAMER, H.G. 1993. *Verdad y Método I.* Sígueme (Salamanca). 697p.
11. GADAMER, H.G. 1996. *El estado oculto de la salud.* Gedisa (Barcelona). 192p.
12. GAITÁN, C. 2010. Sentido de la epistemología en las Ciencias Sociales. *Itinerantes.* 5:10-17.
13. GIRALDO, J.; AGUIRRE, J. 2009. Mundo de la vida y ética de la vida. *Asedios fenomenológicos II. Mundo de la vida y ciencias humanas.* Universidad del Cauca (Popayán). p.1-21.
14. HABERMAS, J. 1987 *Teoría de la Acción Comunicativa I.* Taurus (Madrid). 520p.
15. HERRERA, D. 2007. "Fenomenología". Jesús Antonio Serrano Sánchez (comp.) *Filosofía actual en perspectiva latinoamericana.* Bogotá: San Pablo. p.19-46.
16. HOOFT, S. 1998. The Meanings of Suffering. *The Hastings Center Report.* 28(5):13-19.
17. HOOFT, S. 2003. Pain and Communication. *Med., Health Care Philos.* 6:255-262.
18. HUSSERL, E. 1980. *Experiencia y Juicio: investigaciones acerca de la genealogía de la lógica* (redacción y edición de Ludwig Langrebe) UNAM (México). 482p.
19. HUSSERL, E. 1995. *Investigaciones Lógicas. Volumen II.* Altaya (Madrid). 777p.
20. HUSSERL, E. 2008a. *Crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental.* Prometeo (Buenos Aires). 304p.
21. HUSSERL, E. 2008b. *Die Lebenswelt. Auslegungen der vorgegebenen Welt und ihrer Konstitution. Texte aus dem Nachlass (1916-1937).* Springer (Dordrecht). 1044p.
22. IRIBARNE, J. 2008. *Estudio Preliminar. Husserl, E. Crisis de las ciencias europeas y la fenomenología trascendental.* Prometeo (Buenos Aires). 304p.
23. JARAMILLO L.G.; AGUIRRE, J.C. 2010. Rostro y alteridad: de la presencia plástica a la desnudez ética. *Rev. Latinoam. Cienc. Soc., Niñez y Juv.* 8(1):175-188.
24. JARAMILLO, L.G.; PINILLA, C.A.; DUQUE, M.I.; GONZÁLEZ, L. 2004. Percepción del paciente y su relación comunicativa con el personal de la salud en el servicio de agudos del Hospital de Caldas. *Index Enf.* 46:29-33.
25. LEVINAS, E. 2006. *Ética como filosofía primera. A parte rei,* 43:1-21.
26. LEVINAS, E. 2004. *Entre nous. Le livre de poche* (Paris). 252p.
27. LEVINAS, E. 2002. *Fuera del sujeto.* Caparrós (Madrid). 172p.
28. LEVINAS, E. 1993. *Entre Nosotros; ensayos para pensar en otro. Pre-textos* (Valencia). 289p.
29. LEVINAS, E. 1991. *La Conscience non-intentionnelle. Entre-nous: Essais sur le penser-à-l'autre* (Paris). 150p.

30. MAFFESOLI, M. 1993. El conocimiento ordinario: compendio de sociología. Fondo de Cultura Económica (México). 216p.
31. MAFFESOLI, M. 1997. Elogio de la razón sensible. Paidós (Barcelona). 270p.
32. MELZACK, R.; TORGERSO, W. 1971. On the language of pain. *Anesthesiol.* 34:50-59.
33. MERLEAU-PONTY, M. 1976. *Phénoménologie de la Perception.* Gallimard (Paris). 531p.
34. NORTVEDT, P. 2003. Levinas, justice and health care. *Med., Health Care Philos.* 6:25-34.
35. ORANGE, D. 2011. *The suffering stranger. Hermeneutics for Everyday Clinical Practice.* Routledge (New York). 267p.
36. SAN MARTÍN, J. 2010. El pluralismo desde la "razón" fenomenológica. *Anuario Colombiano de Fenomenología, Volumen IV.* Universidad del Cauca (Popayán). p.263-274.
37. SARTRE, J.P. 2003. *La trascendencia del ego: esbozo de una descripción fenomenológica.* Síntesis (Madrid). 111p.
38. STRÖKER, E. 1997. *The Husserlian foundations of Science.* Kluwer Academic Publishers (Dordrecht). 304p.
39. THORESEN, L.; WYLLER, T.; HEGGEN, K. 2011. The significance of lifeworld and the case of hospice. *Med., Health Care Philos.* 14(3):257-263.
40. VARGAS, G. 2005. Descripción fenomenológica del dolor de la experiencia intropática del dolor. En: Vargas, G. (ed.) *Fenomenología y Literatura.* Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá). p.99-108.
41. WALTON, R. 1993. *Husserl, mundo, conciencia y temporalidad.* Almagesto (Buenos Aires). 193p.
42. WOLCHER, L. 2003. Ethics, justice, and suffering in the thought of Levinas: the problem of the passage. *Law Critique.* 14:93-116.

Recibido: Septiembre 29 de 2011

Aceptado: Marzo 1 de 2012

ASPECTOS MOTIVACIONALES DE DONANTES VOLUNTARIOS DE SANGRE EN UN MÓVIL DE RECOLECCIÓN DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ, COLOMBIA

MOTIVATIONAL ASPECTS OF VOLUNTARY BLOOD DONORS IN A COLLECTION POINT OF THE CITY OF BOGOTA, COLOMBIA

Harold Fabián Cruz¹, Jorge Enrique Moreno², Adriana Angarita Fonseca³, Claudia Yaneth Calderón Serrano⁴, Mónica Patricia Restrepo Sierra⁵

¹ Enfermero, Especialización en Estadística Aplicada. Director de Investigación. Fundación Hematológica Colombia FUHECO. Bogotá - Colombia. harolduelbosque@yahoo.es – investigacion@fuheco.org.co ² Magíster en Ciencias de la Actividad Física. Docente de la Facultad de Enfermería y Rehabilitación. Universidad de la Sabana. Chía - Colombia. jorge.moreno2@unisabana.edu.co ³ Magíster en Epidemiología. Universidad de Santander, Bucaramanga - Colombia. adriangarita@udes.edu.co ⁴ Bacterióloga, Supervisora Nacional de Reclutamiento. Fundación Hematológica Colombia. Bogotá - Colombia. ccalderon@fuheco.org.co ⁵ Comunicadora Social, Subdirectora nacional de promoción de la donación. Fundación Hematológica Colombia. Bogotá – Colombia. mrestrepo@fuheco.org.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 19 - 26, 2012

RESUMEN

La demanda de sangre hace que la donación sea una actividad constante, por lo cual, conocer la motivación para realizarla, se convierte en determinante para la formulación de estrategias que aumenten los donantes y fortalezcan los programas de la donación. El objetivo de este estudio fue establecer los principales motivos para la donación voluntaria en una población que asistió a un punto de recolección de Bogotá (Colombia). Se diseñó un estudio trasversal descriptivo en una muestra de 500 adultos ($28,8 \pm 10,4$ años), 58% mujeres. La recolección de la información, se realizó aplicando una encuesta. Las variables recolectadas en el estudio fueron edad, sexo, estrato socio-económico, lugar de residencia en los últimos cinco años y principal motivo para donar sangre. Se realizó un análisis descriptivo y uno bivariado, aplicando la prueba chi². Los principales motivos de la población donante fueron la promoción de la donación (18% IC95% 14,7-21,7) y salvar vidas (14,4% IC95% 11,4-17,8). Las personas de 25 años o más, donan sangre en mayor proporción por salvar vidas (27,7%), mientras que, los menores de 25 años lo hacen principalmente como hábito saludable (26,9%). Las personas de nivel de estrato socio-económico I y II donan motivados, principalmente, por la promoción de la donación (33,0%), mientras que las de estratos III, IV y V lo hacen por salvar vidas (38,4%).

La población de estudio tiene información clara sobre los aspectos que los motivan a realizar la donación voluntaria y altruista, como la promoción de la donación, salvar vidas, entre otras.

Palabras clave: Promoción, donación de sangre, estrato socio-económico, bancos de sangre.

SUMMARY

The demand for blood donation makes it a constant activity, whereby knowing the motivational aspects for its implementation becomes a determinant in the formulation of strategies for the increase of donors and to strengthen the donation programs. The aim of this study was to establish the main motivations for voluntary donation in the population that attended a gathering point of Bogotá (Colombia). A descriptive transversal study was designed with a sample of 500 adults (28.8 ± 10.4 years), 58% female. A survey was done for data collection. The variables used were age, sex, socioeconomic status, residence for the last five years and main motive for blood donating. A descriptive and a bivariate analysis applying the chi² test were executed. The software used was Stata 11.0. The main motives for donation were the promotion (18% CI 95% 14.7-21.7) and to save lives (14.4% CI 95% 11.4-17.8). People coming from socioeconomic

levels I and II donated mainly motivated by the promotion (33.0%) and those from the socioeconomic levels III, IV and V donated mainly to save lives (38.4%). The interviewed population gave clear information about the aspects that motivated voluntarily and willingly blood donation, as to promote more donations and save lives, among others.

Key words: Promotion, blood donation, socioeconomic level, blood bank.

INTRODUCCIÓN

La donación de sangre consiste en extraer una cantidad de 450 mililitros de sangre directamente de una vena del donante a una bolsa con anticoagulante destinada para el procesamiento de la misma. Los donantes tienen que realizar primero una entrevista de selección para descartar factores de riesgo y de antecedentes de salud; el procedimiento, según lo estipulado en el manual de normas técnicas y administrativas en banco de sangre para Colombia, determina que el periodo mínimo de tiempo establecido entre cada donación es de tres meses para hombres y cuatro meses para las mujeres, con una edad de 18 a 65 años, según lo señalado por la Organización Panamericana de Salud (1999), como población apta para donar sangre (Gallego *et al.* 2000).

El proceso de donación de sangre, a través del tiempo, se ha comportado como un hecho social precedido por una actitud hacia éste, en el cual, inciden todo tipo de convicciones, que influyen o motivan al sujeto a realizar la donación de una manera voluntaria y altruista (Hosain *et al.* 1997; Fernández, 2001). Se ha demostrado que una alta población de donantes que realizan el proceso dentro del programa de donación voluntaria y altruista está asociado con una baja tasa de resultados positivos en las pruebas realizadas, como tamizaje serológico de agentes infecciosos, situación explicada por la motivación explícita del sujeto y los aspectos propios que influyen en la realización de procedimiento; esta actitud frente a la donación permiten al momento de realizar la entrevista de selección del donante, detectar factores de riesgo y situaciones potencialmente peligrosas antes de procesamiento de la sangre (Dodd, 1989; Munde *et al.* 1995; Boulware *et al.* 2002; Carrazzone *et al.* 2004).

Por lo anterior, las estrategias de captación de donantes de sangre establecidas en la actualidad por los bancos de sangre se centran en reclutar donantes voluntarios y altruistas. Los grupos de promoción de la donación determinan que una de las estrategias propuestas de abordaje comunitario es contar con información sobre el proceso de donación de sangre desde la percepción que tiene la población acerca del procedimiento.

Existen varios factores socio-culturales que influyen al momento de la donación de sangre, tales como las motivaciones frente a la realización del proceso y los diversos limitantes del mismo. Existen mitos frente a la donación, como subir o bajar de peso, el miedo a las agujas, la comercialización de los productos sanguíneos, entre otros. De esta manera, al poder conocer esta información, los grupos encargados de promocionar la donación pueden plantear estrategias eficaces que abarquen todos los aspectos psicológicos y sociales del individuo y aumentar, de esta forma, la recolección de sangre en la población (Cruz *et al.* 2011).

En tal sentido, antes de desarrollar una estrategia de reclutamiento de donantes de sangre, es necesario conocer los aspectos que motivan directamente al donante a realizar el procedimiento, con el propósito de orientar estrategias y alcanzar una donación voluntaria, basada en el altruismo y abandonar otras fuentes de donación, como la familia o las donaciones dirigidas a un paciente en especial que las requiere por su estado de salud, en los cuales, el acto de la donación está ligado principalmente con la necesidad (Fernández, 2001).

Se hace necesario, entonces, plantear modelos de intervención social y comunitaria, que permitan analizar las relaciones entre las variables que explican el comportamiento de los donantes y los aspectos que influyen directamente en la realización del proceso de donación voluntaria y altruista de sangre (Hupper *et al.* 2005; Belda *et al.* 2004).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación fue conocer los aspectos motivacionales relacionados con la donación voluntaria de sangre en una muestra de donantes repetitivos, en un banco de sangre Categoría A, de la ciudad Bogotá, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio no experimental de tipo transversal descriptivo, en el cual, no hubo manipulación de variables ni estas requerían un control; de igual manera, se permitió describir, a partir de la aplicación de un instrumento, una encuesta, los principales aspectos motivacionales de los individuos que acceden a los servicios de donación de sangre, de la ciudad de Bogotá. La recolección de la información, se realizó en un solo periodo de tiempo, comprendido entre enero a junio de 2011, en un banco de sangre, de Bogotá-Colombia. La selección de la muestra fue no probabilística; como criterio de inclusión, se estableció ser donante de sangre y tener entre 18 y 64 años, edad establecida por la Organización Mundial de la Salud, como población apta para donar sangre. Se excluyeron los

individuos que no participaron voluntariamente en el estudio (Hernández, 2007).

Con el fin de validar los datos y evitar sesgos, la encuesta se diligenció mediante entrevista individual, que constaba de seis variables, descritas de la siguiente manera: edad, sexo, lugar donde vive actualmente, lugar donde vivió en los últimos cinco años, estrato socio-económico, el cual, hace referencia a una clasificación socio-económica (I al VII) y, por último, se indagó por el principal motivo de donación de sangre. Se desarrolló una prueba piloto con 20 individuos, donde se aplicó el ejercicio de sensibilización al tipo de pregunta y los ajustes pertinentes.

En el análisis descriptivo, se aplicaron medidas de tendencia central y de dispersión para las variables cuantitativas y frecuencias absolutas y relativas e intervalos de confianza del 95% (IC95%), para las variables cualitativas. En el análisis bivariado, se usó la prueba χ^2 , para comparar los principales motivos para donar sangre, según sexo, edad y estrato socio-económico. La variable edad, se categorizó en dos grupos, usando la mediana, como punto de corte. La variable estrato socio-económico, se agrupó en dos categorías: la primera, que contiene la población de estudio con estrato socio-económico I y II y, la segunda, incluyó los sujetos con estrato III, IV y V; no se evidenciaron sujetos con nivel de estrato VI y VIII. El nivel alpha usado fue 0,05. Previamente los datos fueron digitados en Excel versión 2007 y el procesamiento de los datos, se realizó en el programa Stata 11.0.

El desarrollo de la investigación contó con el aval de la institución y el departamento de promoción de la donación de sangre y se enmarcó en la categoría de investigación sin riesgo, según la resolución No. 008430 de 1993, del Ministerio de Salud de Colombia, que establece las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación, se observaron los principales aspectos motivacionales relacionados con la donación voluntaria de sangre de donantes repetitivos, en un banco de sangre Categoría A, de la ciudad de Bogotá, Colombia.

Características socio-demográficas: La población de estudio estuvo conformada por 500 adultos (58% mujeres), con una edad promedio de $28,8 \pm 10,4$ años. El 52,4% de la población tenía 25 años o más y el 63,4% pertenecía al estrato socio-económico II (Tabla 1).

La edad descrita en el estudio tiene un comportamiento similar con estudios relacionados con población donante de sangre (Vásquez *et al.* 2007). En general, la población tiene aspectos positivos frente a la donación de sangre, como se evidencia en diversos estudios realizados en comunidades específicas, como universitarios de Inglaterra, de Chile y de Tailandia (Vásquez *et al.* 2007; Wiwanikit, 2002). Estos resultados son esperados, teniendo en cuenta la cultura de donación que se ha impulsado en el ámbito universitario,

Tabla 1. Características socio-demográficas de la población de estudio.

Variable	n (%)		IC95%
Sexo			
Mujer	290	(58,0)	53,5-62,4
Hombre	210	(42,0)	37,6-46,5
Edad			
< 25 años	238	(47,6)	43,2-52,1
≥ 25 años	262	(52,4)	47,9-56,9
Estrato socio-económico			
I	62	(12,4)	9,6-15,6
II	317	(63,4)	59,0-67,6
III	67	(13,4)	10,5-16,7
IV	44	(8,8)	6,5-11,6
V	10	(2,0)	1,0-3,7

creando conciencia en las poblaciones jóvenes. En cuanto al nivel de estrato socio-económico de la población, la disposición de tiempo es un factor determinante, para acceder al proceso de donación.

La población de estudio reside al momento de la encuesta, principalmente, en las siguientes localidades, de la ciudad de Bogotá: Suba (12,0%) y Kennedy (11,2%) como los datos más significativos (Figura 1) y en los últimos cinco años, el

76,6% de los participantes refirió vivir en la ciudad de Bogotá, mientras que el resto de la población residió en otros lugares de Colombia (Figura 2). De acuerdo al comportamiento de la información suministrada por la población en relación a la tendencia en la participación, según la ubicación geográfica en los procesos de donación, la procedencia no genera información de relevancia para generalizar sobre la población de donantes de la ciudad de Bogotá, pero sí se comporta similar a un estudio realizado en esta ciudad (Cruz *et al.* 2011).

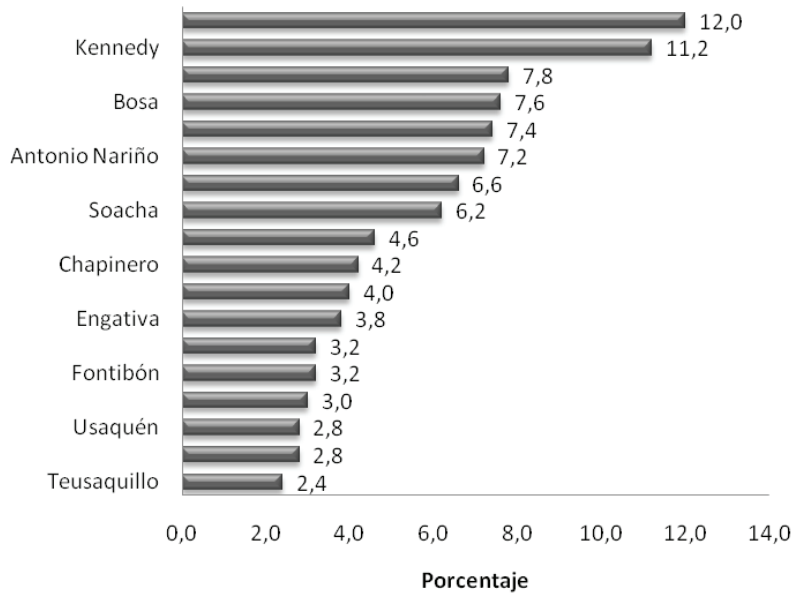


Figura 1. Lugar donde vive actualmente la población de estudio, 2011.

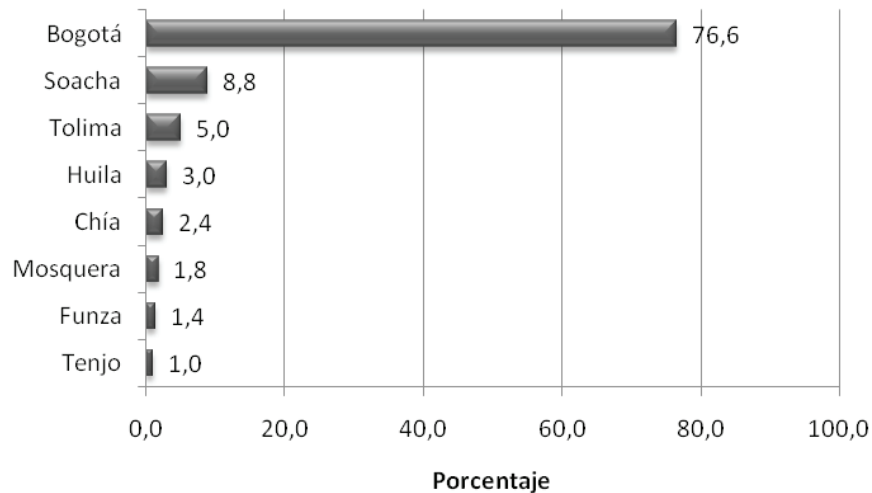


Figura 2. Lugar de residencia en los últimos cinco años de la población de estudio.

Motivaciones frente a la donación de sangre: Dentro de los motivos para donar sangre, se resaltan las jornadas de promoción de la donación, con el 18%; salvar vidas, con el 14,4% y considerar que es un hábito saludable, con el 13,8% (Tabla 2). Las campañas de promoción de la donación deben tener en cuenta los aspectos motivacionales encontrados, según el sexo. En relación a lo anterior, diversos estudios establecen que, en la actualidad, los hombres y las mujeres identifican claramente aspectos en común frente a la donación voluntaria y altruista de sangre (Fernández. 2001; Vásquez *et al.* 2007; Boulware *et al.* 2002; Buciuiniene *et al.* 2006). En relación a los aspectos contemplados en promoción de la donación, la población establece claramente que ésta es la principal motivación que los direcciona hacia

la realización de la donación de sangre de manera voluntaria y altruista, por lo cual, la información proporcionada por este estudio puede llegar a ser útil, en la medida que los bancos y los grupos encargados de promoción de la donación y de mercadeo social fortalezcan los mecanismos de abordaje a los potenciales donantes de sangre (García *et al.* 2003; Beltrán & Guzmán, 2002). En este sentido, se recomienda articular las campañas de donación de sangre con los motivos para la donación de la misma (Moore, 1991; Marantidou *et al.* 2007). Por experiencia de nuestro grupo de promoción de la donación, se ha trabajado en las necesidades de los donantes potenciales, buscando abordarlos desde la forma en que ellos desean que las campañas promocionales los aborden en este tipo de temáticas.

Tabla 2. Principales motivos para donar sangre en la población de estudio, 2011.

Motivo para donar sangre	n	%	IC95%
Promoción de la donación	90	(18,0)	14,7-21,7
Salvar vidas	72	(14,4)	11,4-17,8
Hábito saludable	69	(13,8)	10,9-17,1
Curiosidad ante el proceso	66	(13,2)	10,4-16,5
Tipo de sangre es escaso	47	(9,4)	7,0-12,3
Compromiso social	33	(6,6)	4,6-9,1
Invitación a donar diferente a promoción de la donación	33	(6,6)	4,6-9,1
Estilo de vida	31	(6,2)	4,3-8,7
Voluntad de donar, donante frecuente	26	(5,2)	3,4-7,5
Generosidad	25	(5,0)	3,3-7,3
Colaboración, ayuda y cultura	8	(1,6)	0,7-3,1

Por otra parte, se encontró que los motivos para donar sangre no son estadísticamente diferentes entre hombres y mujeres, como se evidenciaba anteriormente, en donde las mujeres eran quienes acudían principalmente a los procesos de donación de sangre. En contraste, se observaron diferencias estadísticamente por edad ($p=0,001$). Las personas de 25 años o más donan sangre en mayor proporción por salvar vidas, con un 27,7%, comparado con los menores de 25 años, en donde esta motivación es del 13,1%, mientras que los menores de 25 años, lo hacen, principalmente, como hábito saludable, con un 26,9%, comparado con el 14,1%, de las mayores de 25 años (Tabla 3). En general, los jóvenes se encuentran generando nuevos estilos de vida, entre los que encontramos los hábitos relacionados con el cuidado de la salud; en general, los jóvenes se constituyen hoy en una población que hay que explorar en temas relacionados con donación de sangre.

Así mismo, se observaron diferencias estadísticamente

significativas por estrato socio-económico ($p=0,000$). Las personas de nivel de estrato I y II donan motivados, principalmente, por la promoción de la donación, con un 33,0%, a diferencia de los estratos III, IV y V, en donde esta motivación es del 5,8%. Por el contrario, las personas de estratos III, IV y V donan, principalmente, por salvar vidas, con un 38,4%, comparado con el 15,1%, de las personas de estratos I y II (Tabla 3). Estos resultado son esperados para nuestros objetivos de promoción de la donación, en los cuales, los procesos educativos van encaminados hacia poblaciones que no conocen sobre el proceso de la donación.

La población encuestada señaló aspectos sociales, como salvar vidas, como una de las principales motivaciones hacia la donación, situación enmarcada en varios estudios relacionados con banco de sangre (Cruz *et al.* 2011; Hupper *et al.* 2005; Vásquez *et al.* 2007; Wiwanikit, 2002). De la misma manera, el altruismo que genera la donación de

Tabla 3. Principales motivos para donar sangre en la población de estudio según sexo, edad y estrato socio-económico.

Variable	Motivos para donar sangre en los participantes					Subtotal	Valor p*
	Promoción de la donación	Salvar vidas	Hábito saludable	Curiosidad al Proceso	Tipo de Sangre Escaso		
Sexo							
Masculino	n	43	23	27	30	17	0,263
	%	(30,7)	(16,4)	(19,3)	(21,4)	(12,2)	
Femenino	n	47	49	42	36	30	
	%	(23,0)	(24,0)	(20,6)	(17,7)	(14,7)	
Edad							
< 25 años	n	41	21	43	36	19	0,001
	%	(25,6)	(13,1)	(26,9)	(22,5)	(11,9)	
≥ 25 años	n	49	51	26	30	28	
	%	(26,7)	(27,7)	(14,1)	(16,3)	(15,2)	
Estrato socio-económico							
I y II	n	85	39	46	50	38	0,000
	%	(33,0)	(15,1)	(17,8)	(19,4)	(14,7)	
III, IV y V	n	5	33	23	16	9	
	%	(5,8)	(38,4)	(26,7)	(18,6)	(10,5)	

*Prueba Chi2

sangre ha sido un tema bastante estudiado en la adopción de conductas sociales deseadas en la población (Fernández, 2001; Zaller & Nelson, 2005; Misje *et al.* 2005; Marantidou *et al.* 2007).

En general, los participantes en el estudio informan las motivaciones para realizar el proceso de donación de sangre, aunque es difícil obtener participación de personas con algunos grupos sanguíneos. Fue evidente una notable conciencia social frente a la necesidad de la población, puesto que la sangre es un recurso vital. De igual manera, la curiosidad ante el procedimiento y el tipo de sangre escaso, como un motivo para la donación, se puede ver influenciada por conocimientos previos acerca de la necesidad de sangre en la actualidad (Beltrán & Guzmán, 2002).

Este estudio aportó información acerca de aspectos que motivan a realizar la donación de sangre; así mismo recolectó y analizó información sobre el tema, que permite al departamento de promoción de la donación de la Fundación Hematológica Colombia y demás bancos de sangre interesados en el tema propuesto para la información y comunidad en general, contar con un acercamiento frente a información proporcionada por la comunidad. Una de las

limitantes del estudio es no poder hacer una generalización de los hallazgos, por las características del diseño y el tipo de selección de la muestra, la cual, es de tipo no probabilística, con una selección por conveniencia y no representa a toda la población de donantes de Colombia.

Este estudio genera como conclusiones, que la población objeto tiene información clara sobre los aspectos que los motivan a realizar la donación voluntaria y altruista de sangre; de la misma manera, se establece que no hay diferencia entre donantes de sangre por sexo, como se habla en estudios previos respecto a este tema. Información que cambia la perspectiva que se tenía en relación a los donantes de sangre, donde se consideraba que las mujeres eran quienes, principalmente, accedían a los puntos de recolección de sangre.

La mayoría de la población realiza la donación basada en procesos de educación en salud brindados por la promoción de la donación, pero también son importantes los aspectos propios del ser humano, los cuales, no se ven direccionados por este tipo de procesos de marketing social. Se requiere realizar investigaciones en otro tipo de población, para construir datos significativos, acerca del tema. Las

investigaciones en Colombia sobre donación de sangre han sido centradas, fundamentalmente, sobre las causas, por las cuales, no se ejecuta esta práctica y no se ha indagado sobre los aspectos motivacionales frente a un proceso tan difícil de abordar, a través de la historia de la promoción de la donación. Se recomienda a los investigadores, tomar una muestra más representativa, que incluya diferentes ciudades de Colombia, agregando otras variables, como miedos frente a la donación, con el fin de establecer integralmente las actitudes, tanto positivas como negativas en la población. Por otra parte, se recomienda hacer estudios únicamente en población joven y, en especial, universitaria, para conocer cuáles, específicamente, son las motivaciones de esta población.

Agradecimientos: Fundación Hematológica Colombia y al departamento de promoción de la donación de sangre. Al grupo de auxiliares de enfermería y enfermeros de las campañas de recolección de sangre por su colaboración en la recolección de datos. **Conflictos de interés:** 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELDA, I.; FERNANDEZ, A.; RODRIGUEZ, A.; LOPEZ-BERRIO, A. 2004. How regular blood donors explain their behavior. *Transfusión*. 44:1441-1446.
2. BELTRÁN, M.; GUZMÁN, N. 2002. Conocimientos, actitudes y motivaciones sobre la donación de sangre en la comunidad universitaria de Bogotá, Colombia. *Med. Transf. al Día*. 2(3):168-171.
3. BOULWARE, L.; RATNER, L.; NESS, P.; COOPER, L.; CAMPBELL-LEE, S.; LAVEIST, T. 2002. The contribution of sociodemographic, medical, and attitudinal factors to blood donation among the general public. *Transfusión*. 42:669-678.
4. BUCIUNIENE, I.; STONIENĖ, L.; BLAZEVICIENE, A.; KAZLAUSKAITE, R.; SKUDIENE, V. 2006. Blood donors' motivation and attitude to non-remunerated blood donation in Lithuania. *BMC Public Health* 6:166.
5. CRUZ, H.; MORENO, J.; ANGARITA, A.; CALDERÓN, C.; MARTÍNEZ, S.; RESTREPO, M. 2011. Imaginarios sociales de donantes Voluntarios de sangre en un punto fijo de recolección. Bogotá, Colombia. *Rev. Invest. Andina*. 23(13):250-257.
6. CARRAZZONE, C.F.V.; BRITO, A.M.; GOMES, Y.M. 2004. Importância da avaliação sorológica pré-transfusional em receptores de sangue. *Rev. Bras. Hematol. Hemoterapia*. 26(2):93-98.
7. DODD, R.Y. 1989. Screening for hepatitis infectivity among blood donors: a model for blood safety. *Arch. Path. Lab. Med.* 113(3):227-231.
8. FERNÁNDEZ, A. 2001. La donación de sangre voluntaria y altruista: Un reto irrenunciable. *SETS*. 40:1-2.
9. GALLEGO, M.; MUÑOZ, L.; CORTÉS, A. 2000. Características socioculturales de los donantes y no donantes de sangre en Colombia. *Colombia Méd.* 31:99-109.
10. GARCÍA, G.; SÁENZ, E.; CRUZ, R. 2003. Estudio de factores socioculturales relacionados con la donación voluntaria de sangre en las Américas. *Rev. Panam. Salud Públ.* 13(2-3):85-90.
11. HERNÁNDEZ, M. 2007. Epidemiología, diseño y análisis de estudios. Instituto Nacional de Salud Pública. Editorial Médica Panamericana (Colombia). 382p.
12. HOSAIN, G.M.; ANISUZZAMAN, M.; BEGUR, A. 1997. Knowledge and attitude towards voluntary blood donation among Dhaka University students in Bangladesh. *East Afr. Med. J.* 74(9):549-553.
13. HUPPER, M.; TAYLOR, D.; LETWIN, J. 2005. Understanding canadian student motivations and beliefs about giving blood. *Transfusion*. 45:149-161.
14. MARANTIDOÚ, O.; LOUKOPOULOÚ, L.; ZERVOÚ, E.; MARTINIS, G.; EGGLEZOÚ, A.; FOUINTOULI, P.; DIMOXENOUS, P.; PARARA, M.; GAVALAKI, M.; MANIATIS, A. 2007. Factors that motivate and hinder blood donation in Greece. *Transf. Med.* 17:443-450.
15. MISJE, A.; BOSNES, V.; GASDAL, O. 2005. Motivation, recruitment and retention of voluntary non-remunerated blood donors: a survey-based questionnaire study. *Vox Sanguinis*. 89(4):236-244.
16. MOORE, R. 1991. Promoting blood donation: a study of the social profile, attitudes, motivations and experience of donors. *Transf. Med.* 1(4):201-207.
17. MUNDEE, Y.; KAMTORN, N.; CHAIYAPHRUK, S.; NANTACHIT, N.; NESS, P.M.; NELSON, K.E. 1995.

- Infectious disease markers in blood donors in northern Thailand. *Transfusion*. 3:264-267.
18. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 1999. División de Desarrollo de Sistemas y Servicios de Salud. Guía metodológica para investigación de aspectos socio-culturales relacionados con la donación voluntaria de sangre. Washington D.C.: Organización Panamericana de la Salud. Serie Medicamentos Esenciales y Tecnología. 11p.
19. VÁSQUEZ, M.; IBARRA, P.; MALDONADO, M. 2007. Conocimientos y actitudes hacia la donación de sangre en una población universitaria de Chile. *Rev. Panam. Salud Públ.* 22(5):323-328.
20. WIWANIKIT, V. 2002. Knowledge about blood donation among a sample of Thai university students. *Vox Sanguinis*. 83(2):97-99.
21. ZALLER, N.; NELSON, K. 2005. Knowledge, attitude and practice survey regarding blood donation in a Northwestern Chinese city. *Transf. Med.* 15:277-286.
- Recibido: Noviembre 3 de 2011
Aceptado: Abril 25 de 2012

INFECCIÓN POR BACTERIAS DE VÍAS URINARIAS EN MUJERES TRATADAS CON CATÉTER URETRAL Y RESISTENCIA BACTERIANA A ANTIBIÓTICOS

INFECTION BY BACTERIA OF DEVELOPING URINARY TRACT IN WOMEN TREATED WITH URETHRAL CATHETER AND BACTERIAL RESISTANCE AN ANTIBIOTICS

Germán Molano¹, Martín Bayona², Lizeth Hinestroza³, Juan Jiménez³, Wilmar Luna³, Megui Moncada³, Wilson Pineda³ Laura Plazas³, Carlelys Ríos³, Hadelly Runza³

¹ M.D. Especialista en Epidemiología. Docente Facultad de Medicina Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. U.D.C.A. ² Bacteriólogo, Especialista, M.Sc. Microbiología. Facultad de Medicina, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Calle 222 No. 55-37, Bogotá, D.C. e-mail: mabayona@udca.edu.co: autor para correspondencia. ³ Estudiantes, Facultad de Medicina. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 27 - 34, 2012

RESUMEN

A pesar de los protocolos orientados a la prevención de infecciones asociadas con catéter urinario en hospitales de III y IV nivel en la ciudad de Bogotá y el municipio de Soacha, éstas representan un incremento en tiempo y en costo de estadía del paciente. Se realizó un estudio descriptivo, serie de casos, cuyo objetivo fue determinar la frecuencia y la sensibilidad de los antibióticos frente a los microorganismos asociados con infección de vías urinarias, en mujeres de 40 a 80 años, quienes requirieron de cateterismo uretral, en unidades de cuidados intensivos, de cuatro hospitales de III y IV nivel de complejidad. Se evaluaron las historias clínicas de las pacientes, quienes cumplieron con requisitos de inclusión en el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2010, teniendo en cuenta las variables identificadas y consignadas en el instrumento correspondiente, como fueron: hospital, edad, tiempo de estancia, tiempo de duración del catéter, urocultivo y resultado del antibiograma. Para tabular y analizar los datos, se emplearon el programa Microsoft Excel y el estadístico SPSS – 15, para posteriormente recodificar las variables y generar medidas de resumen, medidas de dispersión, frecuencias absolutas, tablas y gráficas. *Escherichia coli* representó el 39% del aislamiento total en los cuatro hospitales, seguido por *Klebsiella pneumoniae* (14,9%), *Proteus mirabilis* (8,5%), *Klebsiella sp.* y *Pseudomonas aeruginosa* (5,7%). Se observó resistencia de ampicilina en 36,8%, de cefalexina (30,9%), de tetraciclina (29,4%) y de nitrofurantoína (23,5%). La institución 1 reportó el mayor número de

casos asociados a infección urinaria y se identificó el mayor intervalo de edad, correspondiente a 60 a 69 años.

Palabras clave: Bacterias, catéter, infección urinaria, resistencia bacteriana, salud pública.

SUMMARY

Despite the protocols aimed at preventing infections associated with urinary catheter in hospitals of III and IV level in Bogotá and Soacha, they represent an increase in time and cost of patients stay. A descriptive study was carried out number of cases, which the objective to determine the frequency and sensitivity of antibiotics against microorganisms associated with urinary tract infection in women aged 40 to 80 requiring urethral catheterization in intensive care of four hospitals in III and IV level of complexity. The clinical histories of patients who met the established requirements for inclusion in the period between January and December 2010 were assessed, taking into account the predetermined variables included in the corresponding instrument as were: hospital, age, length of permanence, duration of catheter, urine culture and result of the antibiogram. To tabulate and analyze the data Microsoft Excel and SPSS statistical - 15 program were used, in order to subsequently recode variables and to generate sum up and dispersion measures, absolute frequencies, tables and graphs. *Escherichia coli* accounted for 39% of the total isolation in four hospitals, followed by *Klebsiella pneumoniae* (14.9), *Proteus mirabilis* (8.5), *Klebsiella sp.* and *Pseudomo-*

nas aeruginosa (5.7). Ampicillin resistance was observed in 36.8%, Cefalexin (30.9%), tetracycline (29.4%) and nitrofurantoin (23.5%). Institution 1 reported the highest number of cases associated with urinary tract infection; as most vulnerable age range women 60-69 years old, were identified.

Key words: Bacteria, catheter, urinary tract infection, bacterial resistance, public health.

INTRODUCCIÓN

La infección de vías urinarias es definida como la existencia de microorganismos patógenos en el tracto urinario, con o sin presencia de síntomas específicos y, en el caso de presentar síntomas, se evidencia urgencia miccional, disuria, tenesmo, dolor supra púbico y fiebre (Chung *et al.* 2008). Estas infecciones cuando ocurren en un ambiente hospitalario, se evidencian en pacientes que requieren la utilización de un catéter uretral, a la que se le suman una serie de factores que ocasionan, finalmente, vulnerabilidad por parte del mismo, para desarrollar la infección, tales como: errores en la técnica de colocación, deficiencia durante los procesos de asepsia y antisepsia del personal de salud y del lugar donde se va a realizar el procedimiento, inadecuada práctica por parte del médico y enfermedades de base (diabetes mellitus e insuficiencia renal crónica), entre otros factores (Rao *et al.* 2011; Pavanello *et al.* 2009; Álvarez *et al.* 2007).

La medicina moderna depende de agentes químicos empleados para el tratamiento de enfermedades. Su eficacia se asocia con muchos factores, entre ellos la ruta de administración, la localización de la infección, la presencia de sustancias que interfieren con el fármaco, la concentración de fármacos en el cuerpo, la naturaleza del patógeno, la existencia de alergias y la resistencia de los microorganismos a los fármacos; éste último aspecto, con un creciente número y variedad de patógenos, constituyéndose así en un serio problema de salud pública (Willey *et al.* 2009). Hoy en día, es claro que el tratamiento de los procesos infecciosos se basa en el diagnóstico clínico, de tal manera que, la elección del antimicrobiano que se vaya a emplear, se realiza de forma empírica o fundamentada en diversos estudios. La prescripción de antibióticos, se realiza, en muchas ocasiones, antes de conocer los resultados del antibiograma y es frecuente que para su elaboración no se tenga en cuenta el perfil epidemiológico de la localidad, ni los agentes etiológicos más prevalentes en el medio, ni el perfil de sensibilidad de los mismos (Xie *et al.* 2011; Ochoa *et al.* 2005).

Las infecciones asociadas al cuidado de la salud en pacientes ingresados a la unidad de cuidados intensivos, se han convertido en un inconveniente para los hospitales, ya que se han vuelto un problema costo-efectivo para éstos, aumen-

tando el precio de la hospitalización del paciente; de igual manera, con el ingreso de pacientes a la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), se pretende realizar una monitorización rigurosa de su evolución y, de esta manera, poder estar alerta sobre cualquier cambio que pueda comprometer el estado de salud de los mismos (Amin *et al.* 2009; Álvarez *et al.* 2007; Horan *et al.* 2008).

Es sabido por el personal médico y hospitalario, que las infecciones asociadas al cuidado de la salud se presentan por la utilización de mecanismos de soporte para pacientes en estado crítico, como son la ventilación mecánica y catéteres, tales como los uretrales, centrales, traqueotomías y gastrostomías; debido a lo anterior, las infecciones producidas por este tipo de métodos se han convertido en un problema de salud intrahospitalaria, ya que, en algunos casos, es necesario llevar al paciente a estos procedimientos, a expensas de preservar la vida del mismo y es durante su estancia hospitalaria que son infectados por microorganismos que, a través de los años, han desarrollado mecanismos de resistencia, mucho más eficientes (Amin *et al.* 2009; De Oliveira *et al.* 2010; Rosenthal *et al.* 2010).

El tracto urinario representa más del 40% del total de infecciones intrahospitalarias (IIH) notificadas; la mayoría, entre el 66 y 86% ocurre después de procedimientos que implican instrumentación del tracto urinario, principalmente, por la sonda vesical o catéteres vesicales. Las infecciones del tracto urinario asociadas a catéter son causadas por una amplia variedad de patógenos, específicamente, bacterias Gram negativas, como *Pseudomonas sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Escherichia coli* y *Klebsiella sp.* Es importante resaltar que los grados de resistencia pueden variar mucho de un hospital a otro, de una ciudad a otra y de una Nación a otra (Álvarez *et al.* 2007; Sader, 2002; Talaat *et al.* 2010; González Camarena *et al.* 2009; Echevarría *et al.* 2006; Eiros & Ochoa, 2007).

Con base en lo anterior, si se tiene el conocimiento sobre los microorganismos predominantes en los hospitales objetos de estudio y sus respectivas resistencias, el uso del tratamiento adecuado contribuiría a disminuir la utilización innecesaria de antibióticos, a los cuales, se presenta mayor resistencia por parte de los microorganismos aislados y, de esta manera, ayudar a la disminución de los costos destinados al tratamiento con antibiótico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo descriptivo, serie de casos realizada en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI), de cuatro hospitales ubicados en la ciudad de Bogotá y municipio de Soacha, correspondientes al tercer y cuarto nivel de complejidad. Los hospitales se definieron como: Institución

1, en donde se habilita para la atención de sus pacientes: una unidad de cuidado coronario y una unidad de cuidados intensivos; Institución 2, que cuenta con una unidad de cuidados intensivos; Institución 3, que tiene a su disponibilidad una unidad de cuidados intensivos e, Institución 4, que cuenta con cuatro unidades de cuidados intensivos.



La población evaluada correspondió a pacientes de género femenino, ingresadas al servicio de Unidades de Cuidados Intensivos, de cuatro hospitales, en el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2010. Se revisaron un total de 449 historias clínicas de pacientes mujeres, entre 40 y 80 años de edad.

Criterios de inclusión: Para este estudio, se incluyeron pacientes cuya edad figuraba entre 40 y 80 años, hospitalizadas en UCI, con inserción de catéter uretral dentro de la misma institución, en un tiempo no mayor a seis horas y aquellas a las quienes se les diagnosticó infección urinaria, durante su hospitalización. Solamente se incluyeron personas cuya historia era completa.

Se excluyeron: Pacientes con diagnóstico de anomalía anatómica del tracto urinario de base, que ingresaron a la UCI, remitidas de otros centros hospitalarios y que traen catéter uretral.

La técnica de recolección de datos, se realizó por medio del análisis de historias clínicas de pacientes ingresados en los servicios de Unidad de Cuidados Intensivos, en cada uno de los hospitales, objeto de estudio; las muestras de catéter urinario fueron enviadas al laboratorio de los hospitales evaluados de microbiología, para su cultivo en agar CLED, el cual, fue incubado a 37 grados Celsius, por 24 horas. La identificación del microorganismo, se realizó empleando pruebas bioquímicas, mediante el empleo del sistema API 20E. La susceptibilidad antibiótica, se efectuó mediante el método de Kirby Bauer en agar Mueller Hinton, utilizando un inóculo con turbidez de 0,5, en la escala de Macfarlánd. Teniendo en cuenta lo anterior, se definieron y se consignaron las variables en el instrumento aplicado (Cuadro1), incluyendo as-

Cuadro 1. Formato de recolección de datos en los hospitales objeto de estudio.

INFECCIÓN DE VÍAS URINARIAS NOSOCOMIALES ASOCIADAS AL USO DE CATÉTER URETRAL EN MUJERES ENTRE 40 Y 80 AÑOS HOSPITALIZADAS EN UNIDADES DE CUIDADOS INTENSIVOS DE HOSPITALES UNIVERSITARIOS DE III Y IV NIVEL EN BOGOTÁ Y SOACHA

FECHA DE RECOLECCIÓN: _____ HOSPITAL DE RECOLECCIÓN: _____
 NUMERO ASIGNADO: _____

EDAD: _____ años

TIEMPO EN UCI: _____ días

DURACION DEL CATETER _____ días

MICROORGANISMO PRESENTE EN EL CULTIVO

1. *E. coli* _____
2. *Klebsiella* _____
3. *Proteus* _____
4. *Serratia* _____
5. *Sthapylococcus* _____
6. *Enterobacter* _____
7. Otros _____

RESISTENCIA A LOS ANTIBIOTICOS

1. SI
2. NO

AMPICILINA

1. SI
2. NO

AMPI - SULBACTAM

1. SI
2. NO

AMIKACINA

1. SI
2. NO

CEFTRIAXONA

1. SI
2. NO

CEFOTAXIME

1. SI
2. NO

CEFALOTINA

1. SI
2. NO

CIPROFLOXACINA

1. SI
2. NO

NITROFURANTOINA

1. SI
2. NO

LEVOFLOXACINA

1. SI
2. NO

TRIMETROPIN SULFA

1. SI
2. NO

OTROS ANTIBIOTICOS

pectos como: hospital, edad, tiempo de estancia en la UCI, tiempo de duración del catéter, microorganismos aislados en el uro-cultivo y resultado del antibiograma.

Análisis estadístico: Una vez revisadas las historias clínicas, se construyó una base de datos, empleando la hoja de cálculo de Microsoft Office Excel. Teniendo en cuenta los criterios clínicos establecidos, se formalizó la codificación de los datos, para luego efectuar un análisis uni-variado y bi-variado, utilizando el paquete estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 15.0.; posteriormente, se realizó la recodificación de las variables y la generación de medidas de resumen, medidas de dispersión, frecuencias absolutas, tablas y gráficas.

Aspectos éticos y legales: Durante la realización del presente trabajo, se buscó la obtención de la información, de tal forma, que no vulnerar los derechos de las personas, en

estado de pacientes y que fueron objeto de nuestra investigación; de igual manera, no se reveló la identidad del paciente, ni las instituciones en donde se recolectaron los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se revisaron un total de 449 historias clínicas de pacientes mujeres, entre 40 - 80 años de edad. Dichas historias, se vieron representadas de la siguiente manera: Institución 1: 293 historias clínicas; Institución 2: 32; Institución 3: 75 y, en la Institución cuatro: 49 historias clínicas. De las 449 historias, 141 cumplieron con los criterios de inclusión, establecidos en el presente trabajo.

Las instituciones en que más se presentaron los casos de infección urinaria correspondieron en su orden al número uno, seguida por la número cuatro y, finalmente, las números dos y tres (Figura 1).

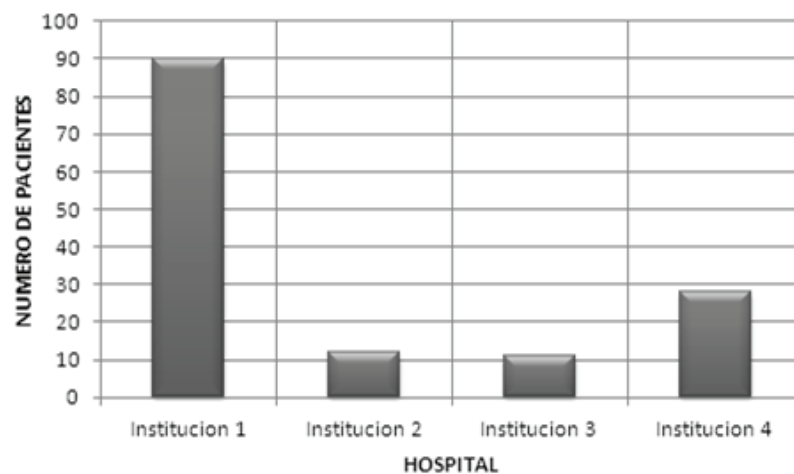


Figura 1. Distribución de la infección urinaria asociada al cuidado médico, en Unidades de cuidado intensivo por institución. Enero a diciembre de 2010.

Los microorganismos aislados con mayor frecuencia correspondieron a: *E. coli* (39%); *K. pneumoniae* (14,9%); *P. mirabilis* (12,5%); *P. aeruginosa* (5,7%) y *Klebsiella spp.* (5,7%). Entre los microorganismos que menos se aislaron en los uro-cultivos fueron: *K. ornithinolytica*, *K. ascorbata*, *Morganella morganii*, *Providencia stuartii*, *Edwardsiella tarda*, *K. oxytoca* y *Raoultella ornithinolytica*, con un porcentaje menor del 3% (Figura 2); estos resultados son similares a los hallados en el estudio realizado por Verhaz *et al.* (2005), quienes aislaron, a partir de uro-cultivos: *E. coli* (31,0%); *P. aeruginosa* (13,8%); *P. mirabilis* (12%); *Klebsiella spp.* y *Enterobacter spp.* (12,3%), *Enterococcus spp.* (5,2%); de igual

manera, en el estudio presentado por Amin *et al.* (2009), en la ciudad de Ahvaz, Irán, donde se determinó que los microorganismo más frecuentes en la presentación de la infección de vías urinarias correspondieron a: *E. coli* (59%), seguido por *Klebsiella spp.* (11,6%); *Enterobacter spp.* (9,8%) y *Pseudomonas sp.* (7,2%). Nuestros datos contrastan con el estudio realizado por Mindy *et al.* (2010), en Singapur, donde encontraron 35 pacientes, quienes presentaron infección de vías urinarias asociada al cuidado de la salud, en los que el microorganismo más frecuente fue *Candida spp.* Por otra parte, en un estudio similar descrito por Álvarez *et al.* (2007), realizado en España, entre el 2003 al 2005, describieron que

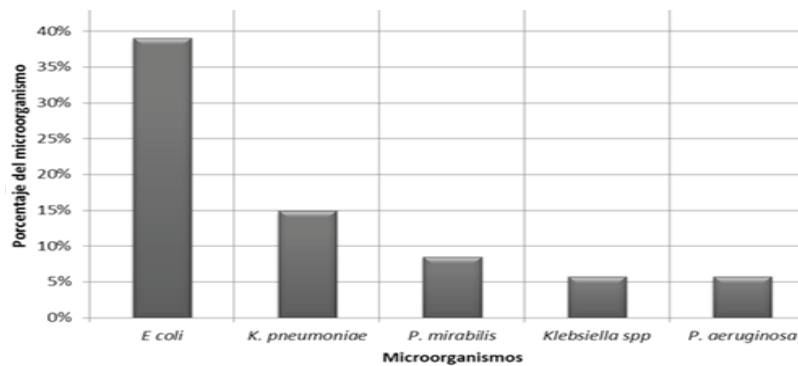


Figura 2. Porcentaje de microorganismos aislados a partir de urocultivos de pacientes femeninas hospitalizadas en unidades de cuidados intensivos de las instituciones evaluadas. Enero a Diciembre de 2010.

E. coli fue el principal microorganismo, seguido de *Candida albicans* y/o *Candida spp.*

En nuestro estudio, no se reportaron hongos tipo *Candida*. Podemos inferir que los resultados no son similares a lo reportado en la literatura mundial, debido a diversas condiciones socio-demográficas entre los mismos; además, debemos tener en cuenta que algunos de los estudios revelados no tienen en cuenta, únicamente, la infección de vías urinarias, ya que incluyen, en los mismos, toda infección asociada al cuidado médico en unidades de cuidados intensivos.

Con el análisis de los datos recolectados fue posible describir los microorganismos implicados en la génesis de la infección de vías urinarias de las pacientes, incluidas en el estudio (Figura 3). El microorganismo más común registrado en las

historias clínicas de los cuatro hospitales fue *E. coli*, con un total de 55 casos, representado en el 39%, del total de los resultados. Se determinó que el segundo lugar lo ocupó *K. pneumoniae*, con un 14,9%, seguido por *P. mirabilis*, con 8,5%, *Klebsiella spp.*, 5,7% y *P. aeruginosa*, 5,7%. Según los resultados obtenidos, se evidencia que en la Institución 1 fue donde se presentaron mayor número de casos (90), que corresponden al 63,8% del total de las historias revisadas; en segundo lugar, se encuentra la Institución 4, con 28 casos, que indica 19,9%, del total de los casos, seguida por la Institución 2, con 12 casos y el 8,5%, en último lugar, se la Institución 3, la cual, registró once casos, que representan el 7,8%, del total de los casos evaluados.

Entre los antibióticos que relacionaron mayor resistencia (Figura 4), se registran: Ampicilina, en un 36%; Tetraciclina,

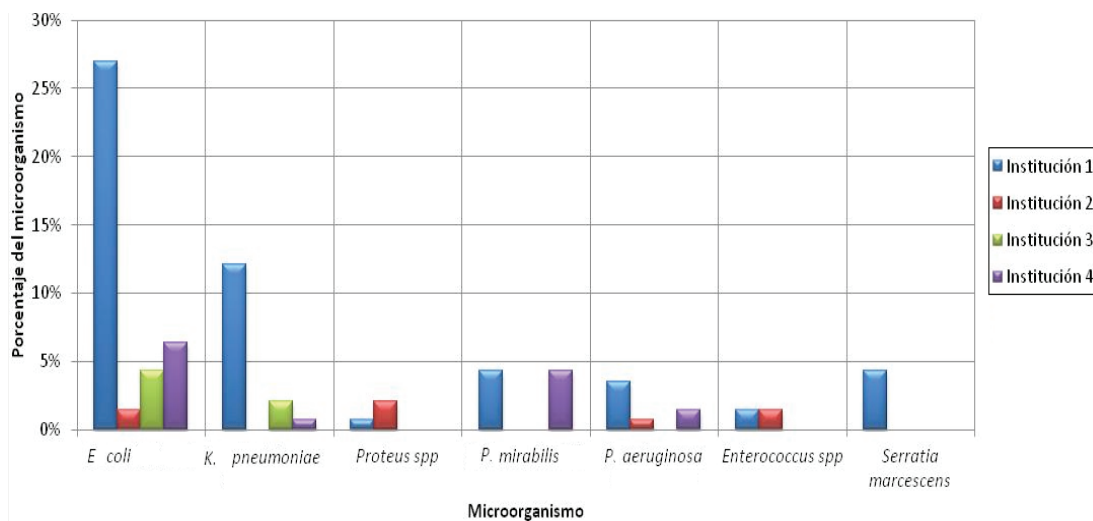


Figura 3. Porcentajes de los microorganismos más frecuentes, aislados en los cultivos, de los cuatro hospitales.

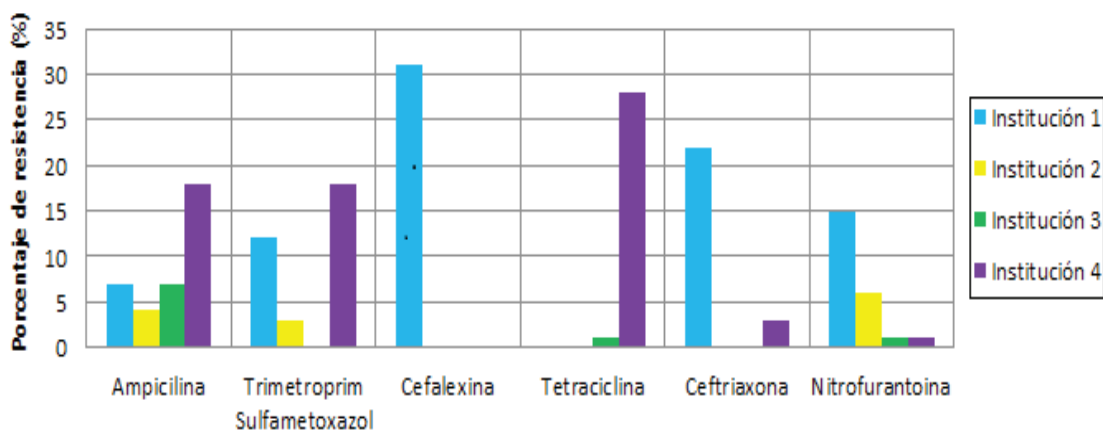


Figura 4. Porcentaje de resistencia antibiótica reportada en el antibiograma de cada institución, objeto de estudio.

na, en 29,4%; Ceftriaxona, 25% y Ciprofloxacina, en 25%, al compararse con los resultados demostrados en el estudio realizado por Verhaz *et al.* (2005), donde evaluaron 265 pacientes hospitalizados en la UCI del Centro Clínico de Banja Luka, en el que reportan que Ampicilina fue el antibiótico que presentó la mayor resistencia, con un 64%. Por otra parte, en el estudio llevado a cabo por Álvarez *et al.* (2007), en 14 UCI, en Bogotá, Colombia, donde reportan resistencia a Ciprofloxacina, en más de un 20%. Las diferencias con nuestros resultados al hablar de porcentajes, se explicarían, porque las muestras tomadas para los estudios Álvarez *et al.* (2007) y Verhaz *et al.* (2005) son significativamente mayores. La aparición de microorganismos multi-resistentes, se podría explicar por el uso indiscriminado de los antibióticos, en presencia de infección bacteriana. La Organización Panamericana de Salud define la relación entre el uso de antibióticos y la propagación de microorganismos resistentes, como un factor de complicación inherente, que contribuye al aumento de la resistencia a los antimicrobianos (Salvatierra & Benguigui, 2000; Talaat *et al.* 2010).

Al realizar el cruce entre las variables: microorganismos aislados frente a la resistencia a los antibióticos fue posible establecer que *E. coli* presentó resistencia a Cefalexina y Ampicilina cada uno con 12%, Tetraciclina y Ampicilina Sulbactam con el 9% respectivamente y Ciprofloxacina 7%, para el caso de *P. mirabilis* se identificó que presentó resistencia a Tetraciclina 9%, Ampicilina, Cefalexina y Ceftriaxona cada uno con 3%, dichos resultados coinciden con el estudio realizado por Verhaz *et al.* (2005), donde también se encontró que Ampicilina, Gentamicina y Tetraciclina fueron los antibióticos, a los cuales, se presentó mayor resistencia microbiana. Lo

anterior es posible relacionarlo con el aumento en el uso de dichos antibióticos, en los hospitales objeto de estudio.

El microorganismo que se registró con mayor frecuencia en todos los rangos de edad fue *E. coli* y la edad en la que se manifestaron más casos de infección urinaria fue en mujeres mayores de 65 años, destacando el rango de edad de 60-69 años, seguido por el de 70-79 años. A partir de los datos, se logró establecer que la media de la edad fue 62,5 años, dato que coincide con la investigación de Rao *et al.* (2011), realizada en el hospital Wenzhou, de China, mostrando un promedio de 62,7 años. similar a lo encontrado en la investigación elaborada por Chung *et al.* (2008), en el que halló que la presencia de la *E. coli*, en mayores de 65 años, con cateterización, era más alta que en las menores de 65 años. De igual manera, Pavanello *et al.* (2009) percibieron en las Unidades de Cuidado Intensivo de las instituciones de salud en Sao Paulo, Brasil, entre 2003 y 2005, que el desarrollo de la infección urinaria en pacientes mayores de 61 años, se presentó en un 73% de los casos, al igual que quienes evidenciaron datos similares, a partir de sus resultados, en 178 pacientes, con infección del tracto urinario, obteniendo que la edad media correspondió a 61 años y el microorganismo más frecuentemente aislado fue *E. coli* (31,4%), seguido por *Candida spp.* (21,3%), *Klebsiella spp.* (10,6%) y *Enterococcus spp.* (6,9%). Elpern *et al.* (2009), reportan una media de 61 años; resultados que explican las posibles comorbilidades de las pacientes en esta etapa de su vida, como lo son: enfermedades neurológicas, diabetes mellitus, inmunosupresión y enfermedades renales. También es necesario conocer el tiempo de estancia en UCI y el tiempo de cateterización, en el que se presenta, frecuentemente, la infección

de vías urinarias; esto nos permite inferir el riesgo de una paciente a padecer la infección y poder tomar medidas para prevenir la aparición de éstas y sus posibles complicaciones. En las instituciones estudiadas, se evidenció que la infección urinaria se mostró entre los diez primeros días, en un 68% y disminuye su frecuencia, entre más días de estancia en UCI tenga, contrario a un estudio hecho por Talaat *et al.* (2010), llevado a cabo en unidades de cuidados intensivos (UCI), del hospital universitario de Alejandría en Egipto. Una de las conclusiones fue que una hospitalización prolongada en UCI se entendía como un factor de riesgo para desarrollar la infección urinaria; en cuanto al tiempo de cateterización, la aparición de infección urinaria también se da en los primeros diez días, en un 80,1%.

Afin a un estudio logrado por Elpern *et al.* (2009), evidenciaron que es necesario limitar el tiempo de uso del catéter, ya que, de esta forma, se disminuye el riesgo de presentar infección urinaria. En otro estudio realizado por Pavanello *et al.* (2009), en Unidades de Cuidados Intensivos de las instituciones de salud en Sao Paulo, Brasil, entre 2003 y 2005, publicado en 2009, concluyó que con un tiempo prolongado de internación en UCI, con uso de sonda vesical (> 15 días), se genera mayor asociación a infección urinaria.

Se observó que en los grupos etarios, el que presentó mayor cantidad de pacientes fue el grupo de 60-69 años de edad, seguido por el grupo cuatro, que corresponde a edades entre 70-79 años; seguido por los grupos etario dos (50-59 años) y uno (40-49 años). Finalmente, se observa que el grupo de 80 o más años fue en el que se presentó el menor número de pacientes.

Teniendo en cuenta el microorganismo aislado en el urocultivo, se estableció el vínculo entre éste y la edad de las pacientes. El microorganismo más frecuente fue *E. coli*, presentándose con mayor frecuencia en el rango de edad comprendido entre 60 a 69 años, correspondiente al 11,3%, seguido por el rango de 50 a 59 años, con 10,6% y 9,9%, en el rango de 70 a 79 años. *K. pneumoniae*, con un 6,4 % y 4,3%, en los rangos entre 60 a 69 años y 70 a 79 años, respectivamente. *P. aeruginosa*, se evidenció con una frecuencia de 4,3%, en el rango de 70 a 79 años. *P. mirabilis*, con un 3,5%, en el rango de 50 a 59 años.

De los 141 casos estudiados en los cuatro hospitales, objeto de estudio, se determinó que 113 (80,1%) se registraron durante los primeros diez días. En el 12,1%, representado por 17 casos, presentaron el cateterismo, durante el intervalo comprendido entre 11-20 días. En tercer lugar, se encuentra el intervalo de 31-40 días, con cinco casos que, a su vez, representan el 3,6%, del total de los casos, seguido por el intervalo que corresponde a 21-30 días, con cuatro

casos, correspondientes al 2,8%, del total de las historias y, por último, se hallan los intervalos de 41-50 días y 51-60 días, cada uno con un caso, que representa el 0,7%, del total evaluado. El tiempo mínimo de duración del catéter fue de un día y el tiempo máximo correspondió a 60 días. Posteriormente, se estableció la relación entre los microorganismos y la duración del cateterismo, demostrándose que la infección se mostró en los primeros diez días, luego del cateterismo, con un 32%, para *E. coli* y 15%, para *K. pneumoniae*. Se determinó que la infección se exteriorizó con una frecuencia menor al 1% en las pacientes que tienen cateterismo uretral, por más de 20 días.

De la muestra estudiada, la media de estancia en las Unidades de Cuidados Intensivos fue de 13,9 días y la mediana de ocho días, con una estancia mínima de dos días y una máxima de 105 días. De esta manera, la infección se presentó con un 68%, en los primeros diez días. Se evidencia heterogeneidad en la muestra en cuanto al tiempo de estancia en Unidades de cuidados intensivos. *E. coli*, como el microorganismo más prevalente en los cultivos de las pacientes evaluadas, muestra su mayor aparición en los primeros diez días de hospitalización, con un porcentaje 28,4% y se evidencia una disminución paulatina en su progreso con el paso del tiempo. Siguiendo en orden descendente, se demostró *K. pneumoniae*, como el patógeno más prevalente en los primeros diez días de estancia en UCI, con un 13,5%, también con una disminución en su presentación con el paso de los días. Los resultados demuestran que la infección se genera con menor frecuencia, según la mayor estancia en UCI.

Agradecimientos. Los autores agradecen la colaboración prestada a los diferentes hospitales, directivos y funcionarios y a la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, para el desarrollo de la presente investigación. **Financiación:** El trabajo fue financiado por los autores del presente trabajo. **Conflictos de interés:** Los autores declaramos que no existen conflictos de intereses que pongan en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, F.; PALOMAR, M.; OLAECHEA, P.; OTAL, J.J.; INSAUSTI, J.; CERDÁ, E. 2007. Estudio Nacional de Vigilancia de Infección Nosocomial en Unidades de Cuidados Intensivos: Informe evolutivo de los años 2003-2005. *Med. Intensiva*. 31(1):6-17.
2. AMIN, M.; MEHDINEJAD, M.; POURDANGCHI, Z. 2009. Study of bacteria isolated from urinary tract infections and determination of their susceptibility to antibiotics. *Jundishapur J. Microbiol.* 2(3):118-123.

3. CHUNG, M.; LIU, C.; WOUNG, L.; LEE, W.; JENG, H.; LI, S. 2008. Species and antimicrobial resistance of uropathogens isolated from patients with urinary catheter. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care.* 38(10):309-327.
 4. DE OLIVEIRA, A.; TASSONE, C.; SOUZA, R. 2010. Nosocomial Infection in an Intensive Care Unit in a Brazilian University Hospital. *Rev. Latino-Am. Enfermagem.* 18(2):233-239.
 5. ECHEVARRÍA, J.; AGUILAR, E.; OSORES, F. 2006. Infección del tracto urinario y manejo antibiótico. *Acta Medica Per.* 23(1):26-31.
 6. EIROS, J.; OCHOA, C. 2007. Perfil etiológico de las infecciones urinarias y patrón de sensibilidad de los uropatógenos. *An. Pediatr.* 67(5):461-468.
 7. ELPERN, E.; KILLEEN, K.; KETCHEM, A.; WILEY, A.; PATEL, G.; LATEEF, O. 2009. Reducing use of indwelling urinary catheters and associated urinary tract infections. *Am. J. Crit. Care.* 18(6):535-541.
 8. GONZÁLES CAMARENA, D.E.; JAULIS SOLORZANO, J.F., TAPIA EGOAVIL, E.Z.; SAMALVIDES CÚBA, F. 2008. Sensibilidad antibiótica de bacterias causantes de infecciones del tracto urinario en un hospital general. *Rev Med Hered.* 20(1):11-15.
 9. HORAN, T.; ANDRUS, M.; DÚDECK, M. 2008. CDC/NHSN surveillance definition of health care-associated infection and criteria for specific types of infections in the acute care setting. *Am. J. Infect. Control.* 36(5):309-332.
 10. MINDY, T.; JOYCE, L.; WEE, I. HELEN, O. 2010. Evaluation of intensive care unit-acquired urinary tract infections in Singapore. *Ann. Acad. Med. Singapore.* 39:460-465.
 11. OCHOA, S.; EIROS, C.; PÉREZ, L. 2005. Etiología de las infecciones del tracto urinario y sensibilidad de los uropatógenos a los antimicrobianos. *Rev. Esp. Quimioterap.* 18(2):124-135.
 12. PAVANELLO, S.; FROTA, M.; ROMERO, A.; SOARES DA SILVA, A.; MALACCHIA, J.; CAMPOS, C.; FERREIRA, R.; DE ALMEIDA, S. 2009. *Enfermería Global*, Febrero 2009, Nº15. Disponible desde Internet en: <http://revistas.um.es/eglobal/article/view/49561/48851> (con acceso 29/03/10).
 13. RAO, S.; LIN, X.; RAO, D.; YU, H. 2011. Flora distribution and drug resistance in catheter-associated urinary tract infection. *Int. J. Urolog. Nursing.* 5:31-33.
 14. ROSENTHAL, V.; MAKI, D.; MULTRAT, S.; MEDEIROS, E.; KUMAR, S.; YEPES, D.; LEBLEBICIOGLU, H.; NOVALES, M.; BERBA, R.; WONG, F.; PINO, A.; DUEÑAS, L. 2010. Informe de la Comunidad Científica Internacional de Control de Infecciones Nosocomiales, datos correspondientes al período 2003-2008, a junio de 2009; *Am J Infect Control.* 38(2):95-104.
 15. SADER, H. 2002. Resistencia antimicrobiana en Latinoamérica. ¿Cómo estamos? *Rev. Chil. Infectol.* 19:S5-S13.
 16. SALVATIERRA, R.; BENGUIGUI, Y. 2000. Resistencia antimicrobiana en las Américas: Magnitud del problema y su contención. Organización Panamericana de la Salud. p.220-227.
 17. TALAAT, M.; HAFEZ, S.; SAIED, T. 2010. Surveillance of catheter-associated urinary tract infection in 4 intensive care units at Alexandria university hospitals in Egypt. *Am. J. Infect. Control.* 38(3):222-228.
 18. VERHAZ, A.; SKRBIĆ, R.; RAKITA, M. 2005. Resistance of catheter-associated urinary tract infections to antibacterials. *Vojnosanitetski Pregled. Milit.-Med. Pharmac. Rev.* 62(3):181-187.
 19. WILLEY, J.; SHERWOOD L.; WOOLVERTON, C. 2009. *Microbiología de Prescott, Harley y Kleim.* 2009. Editorial Mc Graw Hill, 7ª ed. p.835-853.
 20. XIE, D.; LAI, R.; NIE, S. 2011. Surveys of catheter-associated urinary tract infection in a university hospital intensive care unit in China. *Braz. J. Infect. Dis.* 15(3):296-297.
- Recibido: Enero 16 de 2012
Aceptado: Mayo 14 de 2012

DISMINUCIÓN DE LAS PREVALENCIAS DE DESNUTRICIÓN MEDIANTE LA PROMOCIÓN DE LA SALUD EN GRUPOS DE ESCOLARES EN UNA LOCALIDAD DE BOGOTÁ

REDUCTION OF MALNUTRITION PREVALENCES THROUGH HEALTH PROMOTION IN GROUPS OF SCHOOL-AGED CHILDREN IN A LOCALITY OF BOGOTA

Ruth Pérez¹, Dora Hilda Aya², Franklyn Prieto³, Ángela María Pinzón-Rondón⁴

¹ Enfermera, Magister en Docencia Universitaria. Docente Universidad del Rosario. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Salud Pública. Área de Promoción de Salud. ruperez@urosario.edu.co ² Nutricionista Docente Universidad del Rosario. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Salud Pública. Área de Promoción de Salud. ³ Médico Cirujano, Magister en Salud Pública. Docente Universidad del Rosario. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Departamento de Salud Pública. Área de Promoción de Salud. ⁴ Médico Cirujano, Magister en Salud Pública, Doctora en Salud Materno Infantil. Docente - Investigadora. Universidad del Rosario. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. CICS. angela.pinzon@urosario.edu.co

Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. 15(1): 35 - 42, 2012

RESUMEN

La desnutrición es una condición prevalente en la etapa escolar, que conlleva consecuencias en la salud y en el rendimiento escolar de los niños, a corto y a largo plazo. El objetivo del trabajo fue identificar los cambios en las prevalencias de desnutrición en grupos de niños, quienes fueron intervenidos con una estrategia que combinó actividades educativas, evaluación y acciones de intervención directa a casos problemáticos, por parte de estudiantes de medicina, en el periodo 2001-2005. Este estudio corresponde a la evaluación del programa de salud pública "Salud Escolar Integral", instituido por la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario. Para dicha evaluación, se realizó un estudio ecológico con mediciones antes y después a una intervención en grupos seleccionados de estudiantes, entre 5 y 8 años de edad. Cada año, se determinó la prevalencia de desnutrición aguda, crónica y global. En los cinco años de seguimiento, se evidenció una disminución estadísticamente significativa de las prevalencias de desnutrición aguda, de 4,5 a 0,6%; de desnutrición global, de 11,8 a 5,8% y de desnutrición crónica, de 16,4 a 8,3%. Este estudio presenta evidencia sobre la efectividad que puede tener un programa de intervención integral, desarrollado por estudiantes de medicina, sobre el estado nutricional de los niños.

Palabras clave: Estado nutricional, trastornos de la nutrición

del niño, educación alimentaria y nutricional, promoción de la salud.

SUMMARY

Malnutrition is prevalent in school aged children. It impairs the health and school performance of those affected in the short and in the long run. The objective of this study was to identify the changes in the prevalence of malnutrition in groups of school-aged children that were intervened by medical students with a strategy that combined educational activities, health evaluation, and actions directed to children with particular problems. This article presents the evaluation of the program "Salud Escolar Integral" [Comprehensive School Health]. This program was conducted by medical students from Universidad del Rosario School of Medicine and Health Sciences. An ecological study was done with measures before and after intervention. Population: Elementary school students from 5 to 8 years of age. Acute, chronic, and global undernourishment were calculated. During the five years of monitoring an statistically significant decrease was found in the prevalence of acute malnutrition from 4.5 to 0.6%, global malnutrition from 11.8 to 5.8%, and chronic malnutrition from 16.4 to 8.3%. This study presents evidence on the effectiveness of a comprehensive interventional program developed by medical students to decrease undernourishment on school age children.

Key words: Nutritional status, child nutritional disorders, food and nutritional education, health promotion.

INTRODUCCIÓN

Millones de niños en todo el mundo sufren de desnutrición. La principal causa es la baja ingesta de alimentos, secundaria a la pobreza. La desnutrición predispone a los niños a presentar dificultades en el aprendizaje, retardos en el crecimiento y complicaciones en su estado de salud, que pueden acompañarlos hasta la vida adulta e, incluso, llevarlos a la muerte. Teniendo en cuenta la magnitud del fenómeno y sus consecuencias es necesario buscar maneras apropiadas de intervenirlos. Algunos programas comunitarios para mejorar el estado nutricional de los menores, particularmente aquellos destinados a mujeres vulnerables y a niños, han mostrado ser beneficiosos, pero la información acerca de la efectividad de los mismos es limitada (Bachman, 2010; FAO, 2010; Martorell, 2010).

En Colombia, la desnutrición es prevalente. Si bien la desnutrición global ha disminuido, pasando de 5,4%, en el 2005 a 3,4%, en el 2010 (Profamilia, 2011), se estima que entre un 12,5% y un 25,0% de los niños colombianos han evidenciado algún grado de desnutrición, en el transcurso de su vida (FAO, 2010). Un estudio en la población de Funza mostró que la mayoría de los niños de esta población reflejaban algún grado de desnutrición: el 40,8%, sufrían de anemia; el 5,2%, presentaban deficiencia de hierro y 4,6%, deficiencia de vitamina A. Los niños con deficiencias de hierro y vitamina A tenían menores niveles de hemoglobina, vivían con mayor frecuencia en casas rentadas, no estaban afiliados a un programa nutricional y reportaron un mayor número de enfermedades, durante el último mes (Poveda *et al.* 2007).

Los menores de 18 años son casi la tercera parte de la población bogotana. La mayoría de ellos están expuestos a pobreza e inequidad, ya que las condiciones sociales y económicas del país, se reflejan en su situación. Algunos problemas que niños, niñas y adolescentes enfrentan cotidianamente son intolerables, tales como el hambre. Ésta, en muchos casos, ni siquiera es percibida por ellos como un problema, porque es lo único que conocen en su corta vida. Para muchos niños se ha convertido en un asunto “natural” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004a).

La Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad del Rosario, consciente de esta realidad, viene desarrollando programas, con el fin de contribuir a mejorarla. En este contexto y con la intención de generar espacios a los estudiantes de medicina que les permitan observar esta realidad y crear herramientas para cambiarla, se desarrolló el programa “Salud Escolar Integral”, para ayudar a niños y a niñas de instituciones educativas. Entre 2001 y 2005, se establecieron contactos con la Localidad 12, Barrios Unidos de Bogotá, sector de influencia de la Facultad, con el propósito de mejorar la salud de los estudiantes de las escuelas primarias del sector. Una de las actividades desarrolladas por este programa, durante este tiempo, fue el seguimiento nutricional de los menores. “Salud Escolar Integral” comenzó su intervención nutricional en el 2001. En el 2004, se inició el programa Bogotá sin hambre (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004b), como política del gobierno distrital (2004 – 2008), cuyo propósito era garantizar el derecho a la alimentación de todos los habitantes de la ciudad. A partir de ese momento, “Salud Escolar Integral” continuó sus labores como representante del programa “Bogotá sin hambre”, en las escuelas de la localidad.

Los estudiantes de las escuelas primarias seleccionadas provienen de zonas deprimidas de Suba, de Barrios Unidos y de Engativá. En general, sus familias pertenecen a estratos socio-económicos menores a 3.

El propósito de este estudio fue identificar los cambios en las prevalencias grupales de desnutrición aguda, crónica y global, en los grupos que fueron intervenidos por los estudiantes de medicina de la Universidad, entre 2001-2005. No se conocen otros programas sociales llevados a cabo en la población estudiada, durante los años, en los cuales, se recogió la información.

El programa “Salud Escolar Integral”: La población a intervenir fueron los estudiantes, entre 5 y 8 años de edad, de seis instituciones educativas públicas del Distrito Capital, ubicadas en la localidad número 12, correspondiente a Barrios Unidos. Se tomó una muestra por conglomerados de dicha población, a partir de la selección aleatoria de grados dentro de cada institución, para monitorizar su estado de salud detalladamente. El número de niños(as) monitorizados, anualmente, se puede ver en la tabla 1.

La intervención fue realizada por estudiantes, bajo la supervisión de tres enfermeras, una nutricionista y un médico.

Tabla 1. Distribución de la población por año.

Momentos	I-2001	I-2002	I-2003	I-2004	I-2005
Muestra	110	280	102	146	327

Se realizaron talleres sobre hábitos higiénicos, alimentación, vacunación, seguridad social en salud, afecto y manejo de la agresividad, dirigidos a padres de familia, a docentes y a niños. Los talleres fueron dictados a toda la población. Se eligió un tema para cada trimestre; durante este período de tiempo, se impartieron talleres independientes a cada grupo poblacional (padres, docentes y niños), sobre el mismo tema. Los contenidos de cada taller, se repasaron anualmente. Al grupo de niños seleccionados, se les realizaron las siguientes actividades: valoración nutricional, reconocimiento de su situación en salud, mediante historia de vida y chequeo general, construcción de historia familiar, elaboración de un plan de intervención y visita familiar inicial, con sus respectivos seguimientos, durante el año escolar. Los niños fueron remitidos a servicios de salud o de apoyo nutricional, cuando fue necesario. En cada paso de la intervención, se buscaron factores de riesgo de desnutrición, con el fin de contribuir a su reducción.

Se garantizó que todos los niños encontrados con desnutrición aguda o crónica, se incluyeran en el refrigerio ofrecido por la administración distrital. El refrigerio ofrecido por la administración distrital consistía en un tiempo nutricional único, una comida mientras los niños se encontraban en la escuela, equivalente a una porción de proteína y una de carbohidrato. La frecuencia de recepción de refrigerios, por parte de los menores, incluidos en el programa, fue excelente. Adicionalmente, a los padres de los menores desnutridos, se les explicó detalladamente cómo alimentar mejor a sus hijos y todos los niños con desnutrición aguda, se remitieron a nutricionista.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio ecológico longitudinal con múltiples mediciones (Borja, 2000), para establecer los cambios en el estado nutricional general, de los grupos de niños escolarizados intervenidos con complementación alimentaria y una estrategia de información, educación y comunicación en salud. El estudio es ecológico, porque su unidad de análisis es grupal y, es longitudinal, porque toma varios momentos en el tiempo. Este estudio corresponde a la evaluación del programa de salud pública "Salud Escolar Integral", creado por la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, de la Universidad del Rosario. Para dicha evaluación, se realizó la medición nutricional de grupos de niños, antes y después de la intervención.

Población y muestra: La población correspondió a los grupos de menores escolares, entre 5 y 8 años, pertenecientes a las instituciones educativas de Barrios Unidos. La muestra estuvo conformada por todos los menores, quienes se encontraban en los grados seleccionados, para realizar el programa de intervención, independientemente, de que hubieran recibido intervención individual.

Unidad de análisis: Grupo de menores valorados cada año.

Variables: Se recolectaron variables socio-demográficas, como sexo, edad, grado escolar, año de la medición y variables antropométricas, como peso y talla.

La estandarización de las medidas antropométricas, se realizó mediante un proceso de entrenamiento y de control a los estudiantes, con el fin de lograr medidas precisas, exactas y confiables. Se explicaron las técnicas de medición, permitiendo el conocimiento detallado de los instrumentos y el procedimiento para la toma de las mismas, previo a las jornadas. En este proceso, se realizaron una serie de ejercicios, en los cuales, los supervisores y los evaluadores efectuaron las mediciones, en grupos de cinco niños. Las mediciones del supervisor, se establecieron como los valores estándar. Las mediciones de los evaluadores fueron comparadas frente a este valor. Se consideraron mediciones confiables aquellas cuya desviación no fuera mayor o menor a 0,5cm, para la talla y 0,5kg, para el peso.

Se utilizaron balanzas de pesa marca Health o meter USA®, con capacidad para 160kg y tallímetro incorporado y balanzas de plato marca Metro®, con capacidad para 160kg, con un tallímetro de madera. Los instrumentos fueron calibrados en cada actividad, mediante el ajuste del tornillo a cero. Para las balanzas de reloj, el procedimiento de calibración fue similar, usando el dial de la aguja, la cual, se ubicó en cero.

El peso, se tomó con la mínima ropa posible. Se midió en la posición anatómica, teniendo en cuenta que el individuo se ubicara en el centro de la báscula, sin reposar su cuerpo sobre superficie alguna.

La talla, se realizó utilizando metros de pared, midiendo la distancia entre la coronilla y los talones, en bipedestación. La posición anatómica, se estableció teniendo en cuenta que el occipucio, la articulación de los hombros por su parte posterior, los glúteos y los talones reposaran sobre la superficie vertical de la medida.

Si bien existen diversas formas de medir el estado nutricional de los niños, la valoración se realizó a partir de los Percentiles de tres índices nutricionales básicos y universales, que fueron talla/edad (indicador de retraso en talla o desnutrición crónica), peso/talla (indicador de adelgazamiento o desnutrición aguda) y peso/edad (indicador de insuficiencia ponderal o desnutrición global), utilizando las gráficas del National Center for Health Statistics (Hamill *et al.* 1979). Con estos tres índices, se analizan los diferentes riesgos de desnutrición (Hamill *et al.* 1979). Se utilizaron estas gráficas, teniendo en cuenta los estándares establecidos en el país, al inicio del estudio (Tabla 2).

Las variables dependientes, se definieron de la siguiente manera:

Tabla 2. Puntos de referencia para la interpretación del estado de crecimiento (Secretaría Distrital de Salud, 2001).

Punto de Corte	ÍNDICE		
	PESO /EDAD	PESO/TALLA	TALLA /EDAD
Por debajo del percentil 5	riesgo medio y alto de adelgazamiento	riesgo medio y alto de adelgazamiento o desnutrición aguda	riesgo medio y alto de retraso en el crecimiento o desnutrición crónica
Entre los percentiles 5 y 10	riesgo bajo de adelgazamiento	riesgo bajo de adelgazamiento o desnutrición aguda	riesgo bajo de retraso en el crecimiento o desnutrición crónica
Entre los percentiles 10 y 90	normal o sin riesgo	normal o sin riesgo	normal o sin riesgo
Entre los percentiles 90 y 95	exceso de peso	exceso de peso	normal o sin riesgo
Por encima del percentil 95	obesidad	obesidad	

- Desnutrición crónica: proporción de niños y de niñas que muestran desnutrición crónica o baja talla para su edad, por año.
- Desnutrición aguda: proporción de niños y de niñas que muestran desnutrición aguda o bajo peso para su talla, por año.
- Desnutrición global: proporción de niños y de niñas que muestran desnutrición global o bajo peso para su edad, por año.

Análisis de la información: La información fue digitada en una base de datos diseñada en el software Excel® y procesada con su módulo Análisis de Datos. Con los datos recolectados, se establecieron las tendencias anuales de cada grupo y estratificadas por sexo. Los tres tipos de desnutrición: desnutrición aguda, desnutrición crónica y desnutrición global, se tomaron como variables dependientes. Se asumió una tendencia ecológica, con coeficientes de determinación, mayores de 0,70 (Borja, 2000).

Consideraciones éticas: Los padres y los niños fueron informados sobre la intervención, a través de circulares y de charlas informativas. Se solicitó consentimiento a los padres de los menores monitorizados y asentimiento a los niños, antes de incluirlos en la intervención. Se emplearon espacios privados para realizar las mediciones y no existió una situación, en la cual, el niño estuviera sólo con el evaluador. La investigación, se basó en fuentes secundarias y contó con el aval del comité de ética, de la Universidad del Rosario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el periodo 2001-2005 disminuyó la desnutrición aguda

en los grupos de 4,5 a 0,6%; la desnutrición crónica de 16,4 a 8,3% y la global, de 11,8 a 5,8%. Se presentó un leve aumento en la prevalencia de desnutrición aguda en el 2004, al igual que ligeros aumentos en desnutrición crónica y global, en el 2005 (Gráfico 1).

En todos los grupos estratificados por sexo, disminuyeron las prevalencias de los tres tipos de desnutrición. Los niños presentaron mayores prevalencias al compararlos con las niñas (Gráfico 2).

Se encontraron disminuciones estadísticamente significativas de la desnutrición crónica en niñas y en niños y de la desnutrición global en niños.

La desnutrición crónica disminuye el crecimiento y el desarrollo de los niños, lo que afecta sus vidas, tanto en su desempeño académico como en la capacidad de contribuir a la sociedad (WHO, 1999; Ivanovic *et al.* 2000). Las medidas antropométricas han mostrado ser útiles para monitorizar el crecimiento, hacer valoración nutricional e, incluso, para hacer comparaciones (Duggan, 2010). La prevalencia de desnutrición crónica encontrada en esta población de niños bogotanos escolarizados (8,3%, en el último año) es ligeramente mayor, a la registrada en niños antioqueños (5,3%), utilizando las mismas guías antropométricas (Álvarez *et al.* 2009). Esto es, posiblemente, debido a las deficientes condiciones socio-económicas de los niños de las escuelas primarias, de la localidad 12, de Barrios Unidos.

Los niños, muchas veces, cuando son valorados por alguna situación de salud o de enfermedad no lo son en su condición nutricional o dicha condición no es usada como

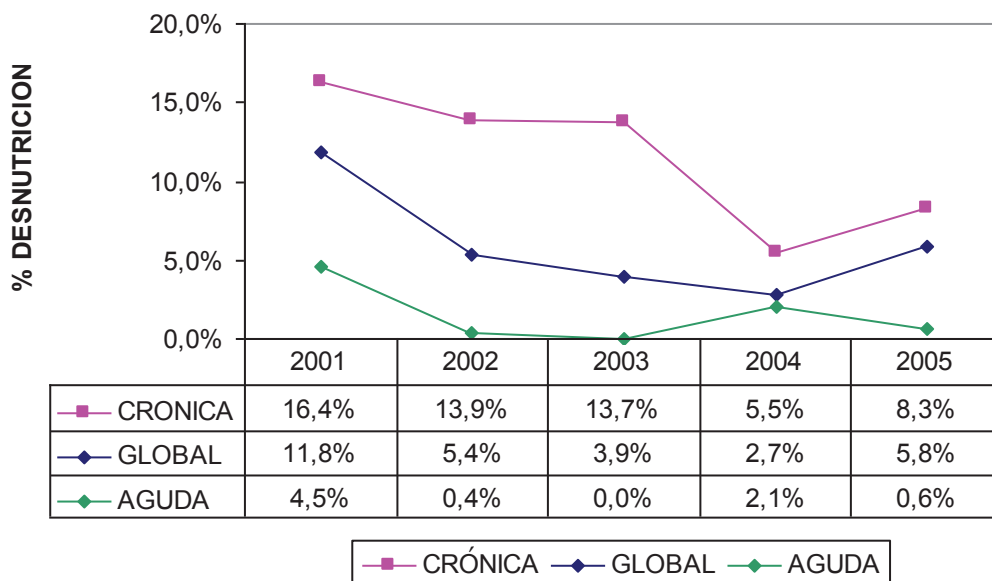


Gráfico 1. Tendencias de la desnutrición aguda, crónica y global.

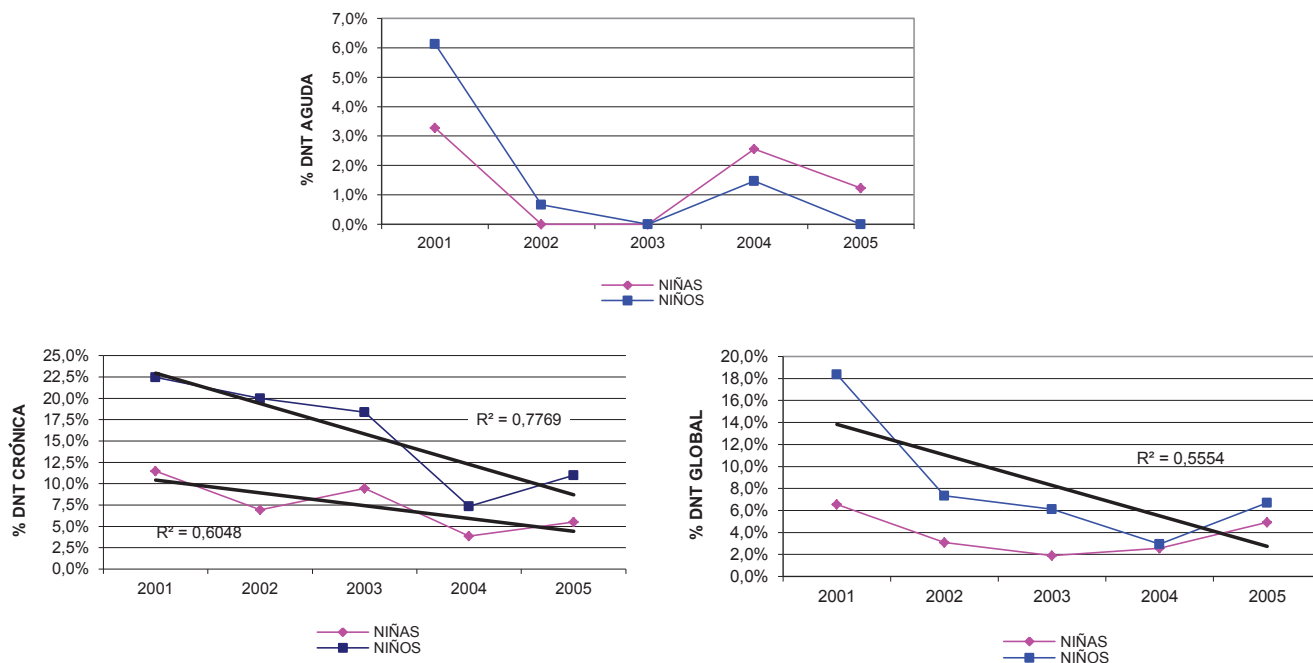


Gráfico 2. Tendencia de la desnutrición aguda, crónica y global por sexo.

indicador para la búsqueda de causas médicas. Algunos estudios han evidenciado el sub-registro de la desnutrición, incluso, en la consulta pediátrica (Razo-Blanco *et al.* 2008). Mejorar la nutrición es indudablemente un factor protector, ante muchas enfermedades.

Las gráficas 1 y 2 evidencian una clara tendencia hacia la disminución de todos los tipos de desnutrición, aunque se observó un ligero incremento de la prevalencia de desnutrición aguda, en el 2004, al igual que de desnutrición global y crónica, en el 2005. Estos incrementos son, posiblemente, el resultado del cambio de población de las escuelas de la zona, ocurrido entre el 2004 y el 2005. En este lapso, se asignaron un mayor número de niños en situación de extrema vulnerabilidad a estas escuelas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004b).

Estos resultados muestran que el programa “Salud Integral Escolar” pudo contribuir a la disminución de la desnutrición, en la población estudiada. En este programa, se ejecutaron actividades de promoción, de educación, de evaluación médica, psicosocial y familiar, y remisión a servicios complementarios, cuando se consideró que el niño(a) requería mayor atención. Con lo anterior, se invita a desarrollar programas semejantes, para contribuir a mejorar la situación nutricional.

Es de anotar que parte del cambio pudo haber sido, debido a una mejoría en la nutrición de los niños que se dio durante estos años, no sólo en el país sino también en el resto de Latinoamérica (De Onis *et al.* 2000); sin embargo, no es lógico asumir que los cambios encontrados, en tan corto tiempo en la población intervenida, sean debidos únicamente a esta tendencia regional. Es posible, como ha sido mostrado por otros investigadores, las estrategias, ampliando el radio de acción de las intervenciones a nivel de la escuela, las familias y las instituciones de salud (factor médico), contribuyen a mejorar el estado nutricional de los niños (Gómez, 2003; Arenas-Monreal *et al.* 1999). De igual manera, la intervención del Estado (Bogotá sin hambre), durante el último año, pudo tener algún impacto contributivo (Nuñez & Cuesta, 2007).

Adicionalmente, al comparar la prevalencia final de desnutrición crónica, con los resultados de la encuesta ENSIN 2005 (ICBF, 2005), para zonas urbanas, hallamos que los resultados del proyecto son significativamente mejores a los mostrados por esta encuesta, pues mientras la encuesta arroja una prevalencia de desnutrición crónica en zonas urbanas de 9,7%, en el 2005, el proyecto muestra una prevalencia de 8,4%, en el mismo periodo. La misma tendencia se ve en la desnutrición aguda y en la desnutrición global. Esto teniendo unas prevalencias de desnutrición superiores al inicio del programa para los niños de Barrios Unidos. De igual manera, la Secretaría de Integración Social

de Bogotá, aunque reportó un balance positivo de las acciones en el marco del programa Bogotá sin Hambre 2004 – 2006, al observar una disminución de la desnutrición aguda en niños y en niñas de 5-9 años, de los comedores escolares, pasando del 4,3% al 3,7% (Secretaría de Integración Social de Bogotá, 2008), no mostró diferencias tan importantes, como las encontradas en el presente estudio.

La encuesta ENSIN 2005 (ICBF, 2005) reveló una mayor prevalencia de desnutrición crónica en los niños (12,9%), frente a las niñas (9,2%), en este grupo de edad; igual a lo encontrado en el presente estudio. La investigación mostró un mayor impacto en la situación nutricional de los niños que en las niñas, medidos por el indicador peso/talla y talla/edad, lo que puede indicar mejores cuidados, por parte de sus familias o cuidadores a niños que a niñas, una vez son informados acerca de una situación de riesgo (Sen, 2002).

En los países desarrollados, la alimentación escolar constituye una práctica difundida y no cuestionada, en cuanto a sus objetivos, porque su único propósito es atender a los derechos del niño. En contraste, en los países subdesarrollados, todavía se vive un estado de no-ciudadanía, regido por carencias y por privilegios. Predominan los privilegios y no hay derechos que sólo existen cuando se extienden para todos (Hauí, 1995; Figueroa & Sousa de Andrade, 2005).

La salud y la nutrición son factores de “educabilidad”, ligados a la calidad educativa, en tanto son medios que permiten que los niños y las niñas puedan desarrollar todo su potencial para el aprendizaje y su deficiencia o limitación tienen impacto negativo en él. El proyecto desarrollado durante los cinco años fortaleció estos dos factores, de tal forma que las condiciones educativas de los niños fueron mejores. Seguramente, será necesario realizar análisis posteriores de otros indicadores, como deserción y repitencia escolar y pruebas SABER, entre otras, para observar cómo el desarrollo del proyecto también tuvo un impacto positivo en la capacidad de respuesta de niños y de niñas, frente al reto de estudiar y de aprender.

Los estudiantes realizaron seguimiento a los niños y a sus familias, brindando orientación nutricional y cuidados generales para los niños y las niñas, que les permitió a las familias de los niños en riesgo o desnutrición, ajustar sus patrones de crianza y mejorar el estado nutricional de los niños y de las niñas, de manera significativa.

Este estudio presenta múltiples limitaciones. En primer lugar, al ser un estudio ecológico, no es posible hacer inferencias a nivel individual, pues su unidad de análisis es el grupo y no el individuo. En segundo término, no se contó con un grupo de comparación y, por lo anterior, no se puede conocer el efecto atribuible al programa y, en tercero, la población, objeto del mismo, cambió ligeramente durante los cinco

años, mostrando la realidad, pero perjudicando un análisis investigativo. Por consiguiente, no se controló por ningún factor de confusión y éstos pueden estar contribuyendo a los resultados del mismo; no obstante, el estudio presenta información importante, que puede ser de utilidad, para desarrollar programas que disminuyan la desnutrición.

Es importante aclarar que si bien este artículo presenta el análisis de datos obtenidos entre el 2001 y 2005, estos resultados continúan siendo vigentes, por las siguientes razones. Primero, la política de intervención a nivel local es la misma; ésta no ha tenido modificaciones. Segundo, las características de los niños de las escuelas públicas de Barrios Unidos y sus condiciones de nutrición y de salud de ingreso, se mantienen similares, por el origen cultural y económico de las poblaciones. Tercero, ésta se puede considerar una evaluación de impacto a mitad de periodo y se puede tener en cuenta para su uso comparativo, con una evaluación final. Finalmente, los análisis ecológicos permiten la exploración en el tiempo y la recuperación de la información permite la comparación y el establecimiento de series históricas; si bien existe un nuevo patrón, pautas de la OMS, para valorar los niños colombianos, desde el 2010 (OPS, 2008).

Las últimas encuestas nacionales, con datos del 2010, muestran que la desnutrición continua siendo un problema importante en el país, aunque, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Situación Nutricional, las prevalencias de desnutrición han venido disminuyendo en el país (ICBF, 2010). La Encuesta de Demografía y Salud, por su parte, reporta en niños menores de cinco años prevalencias de desnutrición aguda, de 1%; de desnutrición crónica, de 13% y de desnutrición global, de 3% (Profamilia, 2011). Para una mejor evaluación del impacto de las acciones, se requieren estudios que incluyan la medición individuales, grupos de comparación e, idealmente, medición de indicadores bioquímicos, valoración de la ingesta alimentaria (Martin-Moreno & Gorgojo, 2007) y que tengan en cuenta la aparición de nuevos fenómenos nutricionales, como el sobrepeso y la obesidad, en medio de la transición nutricional (Orden *et al.* 2005; Popkin, 2002).

Agradecimientos: Agradecemos a los niños, a los padres y a las escuelas de la localidad 12, de Barrios Unidos, por su acogida. **Financiación:** El proyecto fue financiado por los investigadores. **Conflicto de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de interés, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 2004a. Quiéreme Bien, Quiéreme Hoy. Política por la calidad de vida de niños, niñas y adolescentes en Bogotá. 2004-2008. Departamento Administrativo de Bienestar Social del Distrito, Bogotá (Colombia). 42p.
2. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. 2004b. Plan de Desarrollo 2004-2008: Bogotá sin indiferencia, un compromiso social contra la pobreza y la exclusión. Alcaldía, Bogotá (Colombia). 42p.
3. ÁLVAREZ, M.C.; LÓPEZ, A.; ESTRADA, A. 2009. Estado nutricional de los niños en Antioquia, Colombia de acuerdo con dos sistemas de referencia Rev. Panam. Salud Publica. 25(3):196-203.
4. ARENAS-MONREAL, L.; PAULO-MAYA, A.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, H.E. 1999. Educación popular y nutrición infantil: experiencia de trabajo con mujeres en una zona rural de México. Rev. Saúde Pública. 33(2):113-121.
5. Asociación Probienestar de la Familia Colombiana PROFAMILIA. 2011. Encuesta de Demografía y Salud. Profamilia, Bogotá (Colombia). s.p.
6. BACHMANN, M.O. 2010. Cost-effectiveness of community-based treatment of severe acute malnutrition in children. Expert Rev. Pharmacoecon Outcomes Res. 10(5):605-612.
7. BORJA, V.H. 2000. Estudios Ecológicos. Salud Pub Mex. 42(6): 533-538.
8. DE ONIS, M.; FRONGILLO, E.A.; BLÖSSNER, M. 2000. Is malnutrition declining? An analysis of changes in levels of child malnutrition since 1980. Bull. World Health Organ. 78:1222-1233.
9. DUGGAN, M.B. 2010. Anthropometry as a tool for measuring malnutrition: impact of the new WHO growth standards and reference. Ann. Trop. Paediatr. 30(1):1-17.
10. FIGUEROA, D.; SOUSA DE ANDRADE, L. 2005 La alimentación escolar analizada en el contexto de un programa. Rev. Costarric. Salud Pública. 14(26): 28-9.
11. GÓMEZ, F. 2003. Desnutrición. Salud Pub Mex. 54(S4):S576-82.
12. HAMILL, P.V.; DRIZD, T.A.; JOHNSON, C.L.; REED, R.B.; ROCHE, A.F.; MOORE, W.M. 1979. Physical growth:

- National Center for Health Statistics percentiles. *Am. J. Clin. Nutr.* 32:607-629.
13. HAÚÍ, M. 1995. Ciudadanía, derechos e privilegios. *Folha de São Paulo* 1995.
 14. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF. 2005. Encuesta Nacional de Situación Nutricional. Bogotá. 466p.
 15. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF. 2010. Encuesta Nacional de Situación Nutricional. Bogotá. 513p.
 16. IVANOVIC, R.; FORNO, H.; CASTRO, C.G.; IVANOVIC, D. 2000. Intellectual ability and nutritional status assessed through anthropometric measurements of Chilean school-age children from different socioeconomic status. *Ecol. Food Nutr.* 39(1):35-59.
 17. MARTIN-MORENO, J.M.; GORGOJO, L. 2007. Valoración de la ingesta dietética a nivel poblacional mediante cuestionarios individuales: sombras y luces metodológicas. *Rev. Esp. Salud Publica.* 81(5):507-518.
 18. MARTORELL, R. 2010. Physical growth and development of the malnourished child: contributions from 50 years of research at INCAP. *Food Nutr. Bull.* 31(1):68-82.
 19. NUÑEZ, J.; CUESTA, L. 2007. ¿Cómo va "Bogotá sin Hambre"? Universidad de los Andes: Documento CEDE. 117p.
 20. ORDEN, A.B.; TORRES, M.F.; LUI, M.A.; CESANI, M.F.; QUINTERO, F.A.; OYHENART, E.E. 2005. Evaluación del estado nutricional en escolares de bajos recursos socioeconómicos en el contexto de la transición nutricional. *Arch. Argent. Pediatr.* 103(3):205-211.
 21. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. 2010. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Roma (Italia). 68p.
 22. Organización Panamericana de la Salud OPS. 2008. Género y Desarrollo del Niño. Hoja Informativa: Programa Mujer, Salud y Desarrollo. Disponible desde Internet en: <http://www.paho.org/Spanish/AD/GE/childdevelopmentsp.PDF> (con acceso 20/10/2010).
 23. POPKIN, B.M. 2002. An overview on the nutrition transition and its health implications: the Bellagio meeting. *Public Health Nutr.* 5:93-103.
 24. POVEDA, E.; CUARTAS, A.; GUARÍN, S.; FORERO, Y.; VILLARREAL, E. 2007. Iron and vitamin A micronutrient status, risk factors for their deficiencies and anthropometric assessment in preschool child from Funza municipality, Colombia. *Biomédica.* 27(1):76-93.
 25. RAZO-BLANCO, D.M.; LIMA-GÓMEZ, V.; HERNÁNDEZ-JUÁREZ, G.F.; QUEZADA-GARCÍA, A.R. 2008. Subregistro de desnutrición en la consulta externa pediátrica de un hospital general. *Salud Púb Mex.* 50(1):3-4.
 26. SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN SOCIAL DE BOGOTÁ. 2008. Exitoso Balance de la Secretaría de Integración Social. Disponible desde Internet en: <http://www.sdis.gov.co>. (con acceso 06/10/11).
 27. SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD (BOGOTÁ D,C). 2001. Sistema de vigilancia epidemiológica alimentaria y nutricional – Sisvan. Protocolos de Vigilancia Epidemiológica. La Secretaría, Bogotá (Colombia). 78p.
 28. SEN, A. 2002. Desigualdad de Género: La misoginia como problema de salud pública. *Letras Libres.* 40:12-28.
 29. WHO. 1999. A critical link. Interventions for physical growth and psychological development. Geneva, World Health Organization. 87p.
- Recibido: Julio 11 de 2011
Aceptado: Mayo 15 de 2012

APROXIMACIÓN DIAGNÓSTICA HISTOPATOLÓGICA A LA CARDIOMIOPATÍA CHAGÁSICA CRÓNICA EN *Saguinus leucopus* DENTRO DE PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN Y REINTRODUCCIÓN

HISTOPATHOLOGICAL DIAGNOSTIC APPROACH IN *Saguinus leucopus* WITH CRONIC CHAGASIC CARDIOMYOPATHY IN REHABILITATION AND RE-INTRODUCTION PROGRAMS

Edward Javier Acero-Mondragón¹, María Inés Maldonado-Arango², Nohora Mercedes Angulo-Calderón³

¹ Lic. Biología, Médico Veterinario, Esp. Laboratorio Clínico. M.Sc. (c) Morfología Humana. Profesor Facultad de Medicina Universidad Militar "Nueva Granada". Grupo Morfología Médica. Dirección: Transversal 5 No 99-00. Correspondencia: edward.acero@unmilitar.edu.co ² Médico Cirujano, Esp. Educación Médica. M.Sc. (c) Morfología Humana. Profesora Asistente Facultad de Medicina Universidad de La Sabana. Grupo Proseim. Correspondencia: maria.maldonado@unisabana.edu.co ³ Médico Cirujano, Esp Anatomía Patológica. Profesora Asistente Facultad de Medicina Universidad de La Sabana. Correspondencia: nohora.angulo@unisabana.edu.co

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 15(1): 43 - 48, 2012

RESUMEN

Saguinus leucopus es un primate endémico de Colombia considerado vulnerable, además, con la distribución geográfica más restringida entre *Saguinus* sp. Así mismo, es reconocido como reservorio natural de *Trypanosoma cruzi*, por compartir la distribución geográfica con vectores, como *Rhodnius prolixus* y *Triatoma dimidiata*; sin embargo, el primate no presenta cardiomiopatía chagásica crónica de manera natural. Aproximaciones histopatológicas para diagnosticar cardiomiopatía chagásica crónica en *S. leucopus*, se deben establecer cuando en programas de rehabilitación y de reintroducción se hallen en los cuadros hemáticos *Trypanosomas* spp., paralelamente con decesos en las mismas colonias y que en las necropsias se demuestre cardiomegalias y esplenomegalias. Allí, la histopatología en corazón puede demostrar miocarditis, circunscrita al miocardio con infiltrado linfomonocitario inmunofenotipificado CD 19 negativo, pero CD3 y CD68 positivo, hallazgos que, junto a los cardiomiocitos conteniendo formas bastoniformes de 2 micras de diámetro, encerradas en una "vaina" eosinófila de grosor homogéneo, son característicos de "pseudoquistes" amastigóticos miocárdicos de cardiomiopatía chagásica, propios de los causados por la especie *T. cruzi*.

Palabras clave: *S. leucopus*, *T. cruzi*, cardiomiopatía chagásica.

SUMMARY

Saguinus leucopus is an endemic primate in Colombia considered vulnerable, furthermore with the most restricted geographical distribution between *Saguinus* spp.. It is known as a natural reservoir of *Trypanosoma cruzi* since it shares geographic distribution with the vectors *Rhodnius prolixus* and *Triatoma dimidiata*. However, this primate does not develop chronic chagasic cardiomyopathy in a natural way. Nevertheless, a histopathological chronic chagasic cardiomyopathy approach diagnosis should be established in *S. leucopus* in rehabilitation centers and for reintroduction programs, when they have been diagnosed to be infected by *Trypanosoma* spp. with haemograms. Simultaneously, when death occurs in the same colony and necropsy shows cardiomegaly and splenomegaly. In these cases, heart histopathology could display myocarditis with lymphomonocitary infiltration, limited to myocardium, with negative CD 19 but positive CD3 and CD68. These findings, together with the observation of cardiomyocytes containing rod-forms of 2 microns in diameter, enclosed into a "pod" with homogeneous eosinophilic thickness are characteristic of "pseudocysts", the typical amastigotes in "Chagasic cardiomyopathy" caused by *T. cruzi*.

Key words: *S. leucopus*, *T. cruzi*, chagasic cardiomyopathy.

INTRODUCCIÓN

Saguinus leucopus (Gunter, 1877) (Primates, Cebidae) es una especie de primate endémico de Colombia (Hernández-Camacho & Cooper *et al.* 1976; DeFler, 2003). Su distribución geográfica es la más restringida entre los *Saguinus* spp. (Hernández-Camacho & Cooper, 1976; Emmons, 1997), hallándose en el norte de Colombia, entre los ríos Magdalena y Cauca (DeFler, 2003). Por disminución dramática de su hábitat asociado a deforestación (Poveda & Sánchez-Palomino, 2004) es considerado como vulnerable, por la Unión Internacional para la Conservación IUCN y el apéndice I del Convention International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora CITES (CITES, 2001). *S. leucopus* es un primate reservorio natural *Trypanosoma cruzi* (Chagas, 1909) (Kinetoplastida, Trypanosomatidae) al compartir distribución geográfica con los vectores *Rhodnius prolixus* (Stål, 1852) (Hemiptera, Reduviidae) y *Triatoma dimidiata* (Latreille, 1811) (Hemiptera, Reduviidae) (WHO 2002). *Saguinus* spp. como otros primates pequeños del nuevo mundo siendo reservorios, no presentan cardiomiopatía chagásica de manera natural (Teixeira *et al.* 2006), aunque sí han sido logradas en infecciones experimentalmente, en fase aguda, para otros primates neotropicales, como *Cebus apella* (Linnaeus, 1758) (Primates, Cebidae) (Teixeira *et al.* 2006; Almeida *et al.* 1992; Rosner *et al.* 1988) y, en fase crónica, después de un año de la infección en *C. apella*, *Callitrix penicilata* (É. Geoffrey, 1812) (Primates, Callitrichidae) y *Saimiri sciureus* (Linnaeus 1758) (Primates, Cebidae) (Teixeira *et al.* 2006). Sobre *Saguinus* spp. en cautividad, la literatura reporta aproximaciones diagnósticas a las cardiomegalias por cardiomiopatía dilatada que llevan a falla cardiaca de forma espontánea, describiéndose histopatológicamente fibrosis cardíacas mínimas (David *et al.* 2009), similar a las logradas experimentalmente en colonias cautivas de *Saguinus* spp., infectadas con virus de la Hepatitis GB (Chamanza *et al.* 2006); sin embargo, las caracterizaciones anatomopatológicas de cardiomiopatía con cardiomegalia asociada a enfermedad de Chagas, con borramiento del ápice del ventrículo izquierdo, típico del hallazgo anatomopatológico de la cardiomiopatía chagásica crónica en humanos, solo se ha descrito en un tercio de los primates del nuevo mundo, cuando son infectados experimentalmente (Teixeira *et al.* 2006); en *S. leucopus* cautivos no hay antecedentes histopatológicos dirigidos a la búsqueda de cardiomiopatía chagásica crónica, cuando se encuentran cardiomegalias en las necropsias; por consideraciones epidemiológicas de la enfermedad de Chagas, el objetivo de este artículo es plantear una aproximación histopatológica al diagnóstico de cardiomiopatías chagásicas crónicas en las cardiomegalias halladas en las necropsias de las especies de *S. leucopus*, en programas de rehabilitación y de reintroducción

MATERIALES Y MÉTODOS

En los programas de rehabilitación y de reintroducción de *S. leucopus*, los animales fallecidos en colonias de esta especie, cuando se les practique necropsia y en ella se encuentre organomegalia cardíaca y esplénica, se les deben extraer estos órganos, fijándolos con formol al 10%. En un laboratorio de Patología, se deben hacer cortes transversales del ápice cardíaco y del diámetro esplénico mayor, submuestreando segmentos de corazón y del bazo, con tamaños de 0,5cm³, para procesamiento histotécnico y cortes en parafina a 3 micras; los cortes obtenidos, se deben colorear con histoquímica de Hematoxilina y de Eosina; las láminas histológicas obtenidas, se deben observar con microscopio óptico de luz en objetivo de 5X y 10X, buscando en corazón, pérdida de la arquitectura de las fibras miocárdicas con fibrosis y en endomisio infiltrados linfomonocitarios circunscritos (Arboleda & Quintana, 2007; Barrera *et al.* 2008); paralelamente, se debe buscar cardiomiocitos conteniendo múltiples formas bastoniformes de color basófilo, las cuales, a objetivo de 40X y 100X con micrómetro, se deben apreciar con diámetro aproximado de 2 micras (Teixeira *et al.* 2006; Almeida *et al.* 1992; Rosner *et al.* 1988). Por técnicas inmunohistoquímicas, el infiltrado linfomonocitario miocárdico, se debe inmunofenotipificar buscando clusters de diferenciación CD3, CD19 y CD68 (Barrera *et al.* 2008; Arboleda & Quintana, 2007; Camargos *et al.* 2000). En los cortes de bazo coloreados con Hematoxilina y con Eosina y observados con objetivos de 5X y 10X, entre tanto, se buscan folículos linfoides y vainas linfáticas periarteriales con focos reactivos, en zona marginal e infiltrada, principalmente, por macrófagos (O'Daly *et al.* 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Colombia, los programas de rehabilitación y de reintroducción practican cuadros hemáticos en *S. leucopus* cautivos y se han hallado hemoparasitosis por *Microfilaria* spp. (Ladino & Moreno, 2007; Fox *et al.* 2008); así mismo, en *Saguinus* spp. silvestres, se ha demostrado *Trypanosoma* spp. (Hershkovitz, 1977). Particularmente en las hemoparasitosis por *Trypanosomas* spp. es difícil reconocer la especie *T. cruzi*, porque si bien los trypomastigotes sanguíneos se pueden distinguir morfológicamente de la especie *T. minasense* (Ziccardi & Olivera, 1999) son más difíciles de diferenciarse entre *T. rangeli* y *T. cruzi* (De Sousa, 1999) y solo *T. cruzi* causa miocardiopatía chagásica (Maudlin *et al.* 2004), por tanto, el hallazgo de estos hemoparásitos por cuadro hemático en los procesos de rehabilitación de *S. leucopus*, no indican iniciar conductas terapéuticas para eliminarlos (De Sousa, 1999; Maudlin *et al.* 2004); mas aún, si desde el punto de vista epidemiológico en Colombia se

hiciera por hemograma un diagnóstico *Trypanosoma* spp. en *S. leucopus* de centros de rehabilitación con altitudes como 2600 msnm (como en Bogotá-Colombia), también se hace inoficioso iniciar conducta terapéutica con fines de evitar iniciación de ciclos epidemiológicos, porque no existe en estas latitudes descritos vectores *Rhodnius* sp. y *Triatoma* sp., para *Trypanosoma* spp. (WHO, 2002).

Ahora, si en Colombia centros de rehabilitación con programas de reintroducción para *S. leucopus* se ubican por debajo de 1800 msnm y se hallan *Trypanosomas* spp. en cuadros hemáticos y es acompañado este reporte con muertes de colonias de estos primates, se deben practicar necropsias en busca de organomegalias en corazón y en bazo, iniciando, con estos hallazgos, el abordaje diagnóstico de cardiomiopatía chagásica crónica, la cual, está reportada de forma natural en mamíferos del hemisferio occidental, asociadas únicamente a la especie de *T. cruzi* (Teixeira *et al.* 2006; WHO 2002) y que por su habilidad de hacer fases amastigotas intracelulares en miocardio causando miocarditis chagásica, lo diferencia de *T. rangeli* (D'alessandro, 1974) o *T. minasense* (Ruivo *et al.* 2005).

La aproximación diagnóstica histopatológica a la cardiomiopatía chagásica crónica en *S. leucopus* dentro de programas de rehabilitación y de reintroducción, inicia con la demostración histopatológica en miocardio de focos circunscritos de infiltrado linfomonocitario compatibles con miocarditis (Foto 1a), alternándose con cardiomiocitos entre hipertróficos y normotróficos (Rosner *et al.* 1988; Camargos *et al.* 2000); en algunos cortes histológicos, se puede alternativamente observar múltiples formas bastoniformes de 2 micras de tamaño, aproximadamente, en cuyo interior sobresale una estructura basófila redondeada o puntiforme; todas las formas bastoniformes descritas, a su vez encerradas en una "vaina" eosinófila de grosor homogéneo, son compatibles con lo que se conoce como

"pseudoquistes" amastigóticos de *T. cruzi* (Foto 1b) (Teixeira *et al.* 2006; Almeida *et al.* 1992; Rosner *et al.* 1988) y han sido observados y descritos por infección experimental de *T. cruzi* en *C. apella* (Teixeira *et al.* 2006; Almeida *et al.* 1992; Rosner *et al.* 1988), roedores (Camargos *et al.* 2000; Barrera *et al.* 2008) y en infecciones naturales crónicas en humanos (Arboleda & Quintana, 2007). Todos estos hallazgos en miocardio, se deben acompañar histopatológicamente en el bazo esplenomegálico con folículos linfoides y vainas linfáticas periarteriales reactivas con focos en zona marginal nodular linfóidea, infiltrada, principalmente, por macrófagos (O'Daly *et al.* 1984) (Foto 1c).

Con respecto a la inmunohistoquímica que fenotipifica el infiltrado linfomonocitario de la miocarditis es asociada a enfermedad chagásica crónica, cuando marca positivo CD3, para Linfocitos T (Parodi *et al.* 2009) (Foto 2a), negativa para Linfocitos B CD19 (O'Daly *et al.* 1984) (Foto 2b) y positiva para Macrófagos CD68 (Santander *et al.* 2007) (Foto 2c); combinación inmunohistoquímica demostrada en infecciones crónicas experimentales de *T. cruzi* en ratas (Camargos *et al.* 2000), en ratones (Barrera *et al.* 2008) y en aves (Teixeira *et al.* 2011) e infecciones crónicas naturales en humanos (Arboleda & Quintana, 2007).

Dado que *T. cruzi*, *T. rangeli* y *T. minasense* están descritos en *Saguinus* spp. colombianos (Hershkovitz, 1977), los procesos de rehabilitación deben involucrar esfuerzos para confirmarlos taxonómicamente más allá del Género, ya que en Colombia no hay datos epidemiológicos de prevalencia de estos hemoparásitos, en *Saguinus* spp.

Un estudio panameño reporta para *S. geoffroyi* prevalencias de 1,3% para *T. cruzi*; 52,7%, para *T. minasense* y 25% para *T. rangeli* (Sousa *et al.* 1974; Sousa & Dawson, 1976); estos datos, se podrían compartir en Colombia, porque las áreas de distribución geográfica de *S. geoffroyi* (Emmons,

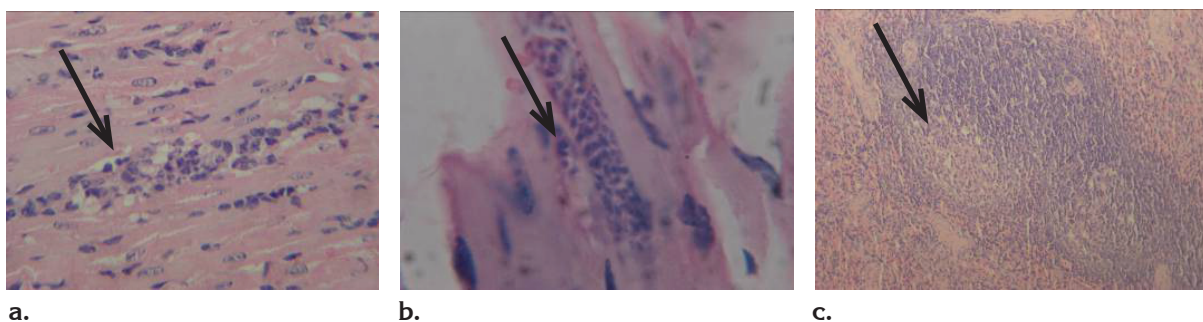


Foto 1. a) Microfoco miocardico con infiltrado linfomonocitario. H&E 10 X; b) Cardiomiocito de trabajo con "Pseudoquiste" conteniendo formas amastigotas (señalados con la flecha) de *Trypanosoma cruzi*. H&E 100 X; c) Vaina linfática periarteriolar arriba con zona marginal (señalado con la flecha), infiltrada por macrófagos. H&E 10 X.

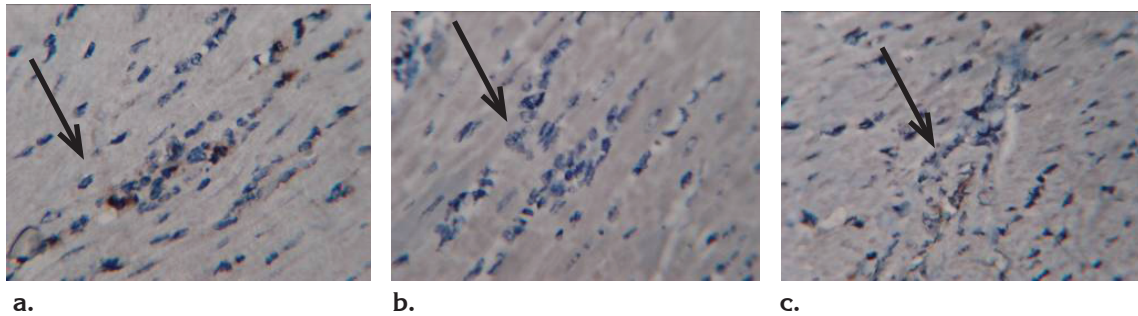


Foto 2. Fenotipificación del infiltrado linfomonocitario de la miocarditis. a) Marcaje positivo para CD 3. Hematoxilina 10 X; b) Marcaje negativo para CD 19. Hematoxilina 10 X; c) Marcaje Positivo para CD68. Hematoxilina 10 X.

1997) están dentro de la misma área de distribución de los vectores de triatomidos *R. prolixus* y *T. dimidiata*, en el norte de Suramérica (WHO, 2002). Mas aun, si se hallan cardiomagalias asociadas a cardiomiopatía chagásica en *S. leucopus*, se pueden relacionar en nuestro medio el tropismo asociado a clones de *T. cruzi* tipo I o de ciclo selvático (Botero *et al.* 2007), que está demostrado, incluso, puede iniciar brotes chagásicos por vía de transmisión oral (Benchimol, 2006; Coura, 2006). Estudios epidemiológicos demuestran que *T. cruzi* tipo I o de ciclo selvático tienen distribución geográfica al norte de Suramérica, por arriba de la cuenca del amazonas (Miles *et al.* 2003) y que predominan en Colombia (Duque *et al.* 2011), coincidiendo en este territorio con las áreas distribución de *S. leucopus* (Defler, 2003; Emmons, 1997). En el contexto de salud pública, estudios de relación entre cardiomiopatía chagásica crónica en *S. leucopus* dentro de programas de rehabilitación y de reintroducción y la prevalencia de *T. cruzi* tipo I en la zona de distribución de *S. leucopus*, no han sido establecidos, considerando la dramática disminución de su hábitat (Poveda & Sánchez-Palomino, 2004), con programas de reintroducción para esta especie de primate (Leal *et al.* 2010; Ruivo *et al.* 2005) presionados por ser el Cébido de más alto tráfico en la ciudad de Bogotá, Colombia (Ruiz-García *et al.* 2010); preguntas como ¿cuáles son los riesgos de introducir *S. leucopus* sin diagnóstico de tripanosomiasis en poblaciones silvestres de *S. leucopus* y qué riesgos tiene la población humana en las zonas de reintroducción dentro de la dinámica reservorio vulnerable-vector? Se deben empezar a resolver.

Conflicto de intereses: Declaramos que el manuscrito fue preparado y revisado por los autores y no tienen ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** El estudio histopatológico e inmunohistoquímico de este trabajo fue financiado con recursos propios de los autores

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMEIDA, E.A.; NAVARRO, M.R.; GUARIENTO, M.E.; CARVALHAL, S.S. 1992. Infecção experimental de macacos *Cebus apella*. pelo *Trypanosoma cruzi*. Avaliação clínica, eletrocardiográfica. Rev. Soc. Bras. Med. Trop. 25:7-12.
2. ARBOLEDA, F.; QUINTANA, H. 2007. Histopatología de la enfermedad de Chagas. En: Rosas, F.; Vanegas, D.; Cabrales, M. eds. Enfermedad de Chagas. Bogotá: Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. 21p.
3. BARRERA, Y.K.; GÚEVARA, J.M.; PAVÍA, P.X.; MONTILLA, M.; NICHOLLS, R.S.; PARRA, E.; PUERTA, C.J. 2008. Evaluación de las pruebas de PCR TcH2AF-R y S35-S36 para la detección de *Trypanosoma cruzi* en tejido cardiaco de ratón. Biomédica. Colombia. 28:616-626.
4. BENCHIMOL, P.R. 2006. The oral transmission of Chagas' disease: An acute form of infection responsible for regional outbreaks. Int. J. Cardiology. Holanda. 112:132-133.
5. BOTERO, L.A.; MEJÍA, A.M.; TRIANA, O. 2007. Caracterización biológica y genética de dos clones pertenecientes a los grupos I y II de *Trypanosoma cruzi* de Colombia. Biomédica. 27(1):64-74.
6. CAMARGOS, E.R.S.; FRANCO, D.J.; GARCIA, C.M.M.G.; DUTRA, A.P.; TEIXEIRA, A.L. Jr.; CHIARI, E. 2000. Infection with different *Trypanosoma cruzi* populations in rats: myocarditis, cardiac sympathetic

- denervation, and involvement of digestive organs. *Am. J. Trop. Med. Reino Unido.* 62(5):604-612.
7. CHAMANZA, R.; PARRY, N.M.A.; ROGERSON, P.; NICOL, J.R.; BRADLEY, A.E. 2006. Spontaneous lesions of the cardiovascular system in purpose-breed laboratory nonhuman primates. *Toxicol Pathol. USA.* 34:357-363.
 8. CITES. 2001. Lista Cites. Una referencia a los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Compilada por el PNUMA Centro de Monitoreo de la Conservación Mundial. Con el concurso financiero de la Secretaría de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, la Comisión Europea y el Joint Nature Conservation Committee. Printing Group Unwin Brothers, Martins, Old Woking, Surrey. SUIZA. 235-265. Disponible en: [http://www.mzp.cz/www/laws/cites2.nsf/ea65e91b58b6632cc12564df002c44d8/0a2d18d902797bc1c125656e0050b9ea/\\$FILE/Checklists%20on%20CD-ROM.pdf](http://www.mzp.cz/www/laws/cites2.nsf/ea65e91b58b6632cc12564df002c44d8/0a2d18d902797bc1c125656e0050b9ea/$FILE/Checklists%20on%20CD-ROM.pdf) (con acceso 16/06/2011).
 9. COURA, J.R. 2006. Transmission of chagasic infection by oral route in the natural history of Chagas disease. *Rev Soc Bras Med Trop.* 39(Suppl 3):113-117.
 10. D'ALESSANDRO, A. 1974. The problem of Chagas' disease in the Western hemisphere. *Bol. Oficina Sanitaria Panamericana. Pan Am. San. Bureau. USA.* 763:242- 247.
 11. DAVID, J.M.; DICK, E.J. Jr.; HUBBARD, G.B. 2009. Spontaneous pathology of the common marmoset *Callithrix jacchus* and tamarins *Saguinus oedipus*, *Saguinus mystax*. *J. Med. Primatol. USA.* 38(5):347-359.
 12. DEFLER, T. 2003. *Primates of Colombia. Conservación Internacional., Washington D. C. USA.* 543p.
 13. DESOUSA, M.A. 1999. Morphobiological characterization of *Trypanosoma cruzi* Chagas, 1909 and its distinction from other Trypanosomes. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz. Brasil.* 94(1):205-210.
 14. DUQUE, M.C; RAMÍREZ, J.D.; RENDÓN, L.M.; GÜHL, F. 2011. Evaluación de la variabilidad genética de aislamientos colombianos de *Trypanosoma cruzi* mediante marcadores microsatélites. *Infectio. Colombia.* 15(4):227-234.
 15. EMMONS, L. 1997. *Neotropical Rainforest Mammals A Field Guide(2nd ed) Chicago, Ill ;London: Univ. of Chicago Press. Reino Unido.* 110p.
 16. FOX, M.; BRIEVA, C.; MORENO, C.; MACWILLIAMS, P.; THOMAS, C. 2008. Hematologic and serum biochemistry reference values in wildcaught white-footed tamarins (*Saguinus leucopus*) housed in captivity. *J. Zoo. Wildl. Med. USA.* 39:548-557.
 17. HERNÁNDEZ-CAMACHO, J.; COOPER, R.W. 1976. The nonhuman primates of Colombia. In: Thorington, R.W. Jr.; Heltne, P.G. (eds). *Neotropical Primates: Field Studies and Conservation, National Academy of Sciences, Washington, D.C., USA.* 35p.
 18. HERSHKOVITZ, P. 1977. *Living New World monkeys (Platyrrhini), with an introduction to Primates. University of Chicago Press, Chicago, USA.* 751p.
 19. LADINO DE LA H, R.; MORENO, O.M.I. 2007. Prevalencia de *Microfilaria* spp. en primates de zoológicos colombianos. *Rev. Med. Vet. Colombia.* 13:83-94.
 20. LEAL, A.; GRANADOS, J.L.; ZERDA, E.; BRIEVA, C. 2010. Liberación y seguimiento de dos grupos de tití gris (*Saguinus leucopus*) en el departamento de Tolima. *Rev. Med. Vet. Zoot. Colombia.* 57:132-143.
 21. MAIDLIN, I.; HOLMES, P. H.; MILES, M.A. 2004. *The trypanosomiasis. CABI Publishing. Reino Unido.* 614p.
 22. MILES, M.A.; FELICIANGELI, M.D.; DE ARIAS, A.R. 2003. American trypanosomiasis (Chagas disease) and the role of molecular epidemiology in guiding control strategies. *BMJ. Reino Unido.* 326:1444-1448.
 23. O'DALY, J.A.; SIMONIS, S.; DE ROLO, N.; CABALLERO, H. 1984. Suppression of humoral immunity and lymphocyte responsiveness during experimental *Trypanosoma cruzi* infections. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo. Brasil.* 26(2):67-77.
 24. PARODI, C.; PADILLA, A.M.; BASOMBRIO, M.A. 2009. Protective immunity against *Trypanosoma cruzi*. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz. Brasil.* 104(1):288-294.
 25. POVEDA, K.; SÁNCHEZ-PALOMINO, P. 2004. Habitat use by the white-footed Tamarin, *Saguinus leucopus*: a comparison between a forest-dwelling group and an urban group in Mariquita, Colombia. *Neotropical Primates. USA.* 12(1):6-7.

26. ROSNER, J.M.; SCHININI, A.; ROVIRA, T.; ARIAS, A.; VELÁSQUEZ, G.; IDALLA-MONZÓN, M. 1988. Acute Chagas' disease in non-human primates. Chronology of clinical events, clinical chemistry, ECG, radiology, parasitemia and immunological parameters in the *Cebus apella* monkey. *Trop Med Parasitol.* Alemania. 39:51-55.
27. RUIVO, E.B.; CARROLL, J.B.; MORALES-JIMÉNEZ, A.L. 2005. The silvery-brown Tamarin (*Saguinus leucopus*) conservation project. *Neotropical Primates.* USA. 13(3):36-39.
28. RUIZ-GARCÍA, M.; LEGUIZAMÓN, N.; VÁSQUEZ, C.; RODRÍGUEZ, K.; CASTILLO, M.I. 2010. Métodos genéticos para la reintroducción de monos de los géneros *Saguinus*, *Aotus* y *Cebus* (Primates: Cebidae) decomisados en Bogotá, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol.) Reino Unido. 58(3):1049-1067.
29. SANTANDER, S.P.; CUÉLLAR, A.A.; THOMAS, M.C.; GUZMÁN, F.; GÓMEZ, G.A.; LÓPEZ, M.C.; PUERTA, B.C. 2007. Expresión de marcadores en células dendríticas de pacientes chagásicos crónicos estimuladas con la proteína KMP-11 y el péptido K1 de *Trypanosoma cruzi*. *Biomédica.* Colombia. 27(1):18-27.
30. SOUSA, O.E.; ROSSAN, R.N.; BAERG, D.C. 1974. The preval trypanosomes and microfilariae in Panamanian monkeys. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* USA. 23:862-868.
31. SOUSA, O.E.; DAWSON, G.A. 1976. Trypanosome infections in the marmoset *Saguinus Geoffroyi* from the Panama canal zone. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* USA. 25:407-409.
32. TEIXEIRA, A.R.L.; NASCIMENTO, R.J.; STURM, N.R. 2006. Evolution and pathology in Chagas disease: a review. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* Brasil. 101(5):463-491.
33. TEIXEIRA, A.R.L.; HECHT, M.M.; GUIMARO, M.C.; SOUSA, A.O.; NITZ, N. 2011. Pathogenesis of Chagas' Disease: Parasite Persistence and Autoimmunity. *Clin. Microbiol. Reviews.* 24(3):592-630,
34. World Health Organization WHO. 2002. Control of Chagas disease. Second Report of the WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series. USA. 905:1-109.
35. ZICCARDI, M.; OLIVEIRA, R.L. 1999. Polymorphism in trypomastigotes of *Trypanosoma (Megatrypanum) minasense* in the blood of experimentally infected squirrel monkey and marmosets. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz.* 94(5):649-653.

Recibido: Julio 25 de 2011

Aceptado: Marzo 25 de 2012

MÉTODOS DE TRANSFORMACIÓN GENÉTICA DE PLANTAS

PLANT GENETIC TRANSFORMATION METHODS

Cristina Díaz Granados¹, Alejandro Chaparro-Giraldo²

¹Microbióloga Industrial, M.Sc., cPh.D. Grupo de Ingeniería Genética de Plantas, Departamento de Biología & Instituto de Genética, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: ec Diazg@una.edu.co ²Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D. Grupo de Ingeniería Genética de Plantas, Departamento de Biología & Instituto de Genética, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. E-mail: achaparrog@bt.unal.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 49 - 61, 2012

RESUMEN

Con el propósito de hacer más eficiente la transferencia de ADN hacia células vegetales, se han desarrollado diferentes métodos de transformación genética en plantas. Los métodos indirectos son basados en la utilización de vectores biológicos y los métodos directos son basados en elementos físicos y químicos. Esta es una revisión actualizada de los métodos de transformación genética de plantas, dirigida a los interesados en el mejoramiento genético de cultivos. Para ello, se revisaron las bases de datos "Science Direct", "Hinari" y "Medline", disponibles en el portal del sistema nacional de bibliotecas (SINAB), de la Universidad Nacional de Colombia. Se usaron las palabras claves en inglés "plant transformation", "genetic engineering", "transgenic plants", "genetically modified crops", para la búsqueda de documentos generales. Posteriormente, se refinó la búsqueda con el uso de palabras claves específicas, como "particle bombardment", "biolistic", "Agrobacterium", "sonication" y otras. También, se realizaron algunas pesquisas de complementación en idioma español, usando el buscador "google", para las palabras claves "cultivos genéticamente modificados" y "cultivos transgénicos". Se examinaron artículos científicos y revisiones publicadas, entre 1997 y 2010. Existe una larga lista de procesos usados en la transferencia de genes foráneos a los genomas de especies vegetales, que incluye: vectores virales, liposomas, electroporación, sonicación, transferencia mediada por compuestos químicos, fibras de carburo de silicón, microinyección y microláser; sin embargo, los cultivos transgénicos que se han liberado comercialmente, se han producido mediante el uso de dos tecnologías: biobalística y transformación, mediada por *Agrobacterium tumefaciens*.

Palabras clave: Plantas transgénicas, cultivos genéticamente modificados, transformación genética.

SUMMARY

In order to streamline the transfer of DNA into plant cells have developed different methods for genetic transformation in plants. These methods can be divided into two classes: indirect methods based on biological vectors known as, and direct methods based on physical and chemical elements. This work presents an updated review of the methods used for genetic transformation of plants, aimed at those interested in crops breeding. To do this we reviewed databases "Science Direct", "Hinari" and "Medline" available on the website of the national library system (SINAB) of the Universidad Nacional de Colombia. Keywords used in English were: "plant transformation", "genetic engineering", "transgenic plants", "genetically modified crops", to search for general documents. Search was further refined by using more specific keywords, like "particle bombardment", "biolistic", "Agrobacterium", "sonication", etc. Also conducted some research complementation in Spanish, using the search "google" for the key words "cultivos genéticamente modificados" and "cultivos transgénicos". Were reviewed scientific articles and reviews between 1997 and 2010. There is a long list of processes used in the transfer of foreign genes into the genomes of plant species, including: viral vectors, liposomes, electroporation, sonication, chemical-mediated transfer, silicon carbide fibers, microinjection and microlaser. However, GM crops are released commercially, have been produced through the use of two technologies: biolistic and *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation.

Key words: Transgenic plants, GM crops, genetic transformation.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería genética de plantas está dirigida a la produc-

ción de genotipos que expresen características de interés, mediante la integración en el genoma vegetal, de segmentos de DNA foráneo, proveniente de cualquier origen. Este DNA altera las características de la planta, mediante la modificación dirigida y controlada de su genoma, al añadir, al eliminar o al modificar alguno o algunos de sus genes (Danilova, 2007; Karimi *et al.* 2007). No hay limitación para la transferencia de genes entre plantas de la misma especie y especies cercanamente emparentadas, ya que genes de especies no relacionadas evolutivamente, pueden ser introducidos. Ello permite usar genes de diferentes especies, géneros y reinos, eliminando las barreras de incompatibilidad sexual y fertilidad (Vasil, 2007).

La principal ventaja de la ingeniería genética es que no implica la transferencia de cientos de miles de genes, algunos con características no deseadas, sino que involucra el traspaso de uno o pocos genes que confieren la característica de interés (Danilova, 2007). Es un instrumento valioso que permite acelerar procesos que, lentos y laboriosos, ofrece la posibilidad de introducir en una planta una característica deseada, mediante transformación genética, en un solo paso. La ingeniería genética de plantas comprende una serie de técnicas complementarias con los procedimientos del mejoramiento genético convencional (Jauhar, 2006; Livermore, 2002).

La transformación de plantas usa una amplia gama de herramientas, mediante, las cuales, es posible la introducción de información genética foránea, sin afectar las cualidades agronómicas y de mercadeo de los cultivos. La transformación de plantas se ha definido como la incorporación estable de genes foráneos y la expresión de estos en las plantas transformadas (Sharma *et al.* 2002; Rommens, 2004).

Desde 1983, cuando se reportó por primera vez la producción de una planta transgénica, se ha logrado la transformación de más de 120 especies y 35 diferentes familias vegetales, tanto de dicotiledóneas como de monocotiledóneas (Bhat & Srinivasan, 2002; Jauhar, 2006). Esto no significa que sea un proceso sencillo, por lo contrario, es un proceso complicado que involucra varias etapas: identificación y aislamiento del gen de interés, desarrollo del casete de expresión o construcción quimérica, vectores apropiados que permitan el clonaje o transferencia de la construcción quimérica, método para la introducción del DNA de manera estable en el genoma de la célula vegetal (protocolo de transformación), sistema de cultivo de tejidos que permita regenerar plantas completas, procedimiento para la distinción de los individuos transformados de aquellos no transgénicos (selección de transformantes) y métodos analíticos para detectar el gene foráneo y sus productos en la planta transformada (Díaz *et al.* 2004; Larik *et al.* 2004; Jauhar, 2006).

Según Díaz *et al.* (2004), para obtener una planta transgénica deben ocurrir tres procesos indispensables en la misma célula: el casete de expresión debe ser transferido al interior de la célula; el casete de expresión se debe integrar al DNA celular y se debe regenerar una planta, a partir de la célula en la que han ocurrido los dos procesos anteriores.

Para todas las técnicas de transformación vegetal es necesario disponer de un gen de interés, que puede ser endógeno modificado o un gen foráneo aislado de grupos filogenéticos variados (Karimi *et al.* 2007). Este debe ir flanqueado por los elementos reguladores necesarios para su expresión: una región promotora, cuya función general es el reconocimiento del sitio de unión de la DNA polimerasa con el consecuente inicio de la transcripción del gen en RNA mensajero y una región terminadora que da la señal de finalización de la transcripción, y es la encargada del mantenimiento de la estabilidad del mRNA y su transporte al citoplasma para su posterior traducción en una molécula proteica. Esta construcción Región promotora - Región codificante o gen de interés - Región terminadora, es conocida como casete de expresión (Sharma *et al.* 2002; Chaparro *et al.* 2005).

La fuente de los segmentos génicos que componen el casete de expresión puede corresponder a orígenes biológicos diferentes, caso en que se denomina construcción quimérica. Este casete de expresión debe ir en un vector que permita su clonación o transferencia, mediante los métodos de transformación. Los vectores más utilizados en la transformación de plantas son plásmidos, donde fueron clonados los genes que serán introducidos en el genoma vegetal (Larik *et al.* 2004; Job, 2002; Karimi *et al.* 2007). La construcción quimérica, usualmente, se encuentra acompañada con otra construcción funcional, que corresponde a un gen marcador de selección. La introducción de este gen responde a la necesidad de identificar las plántulas que hayan sido regeneradas, a partir de células que insertaron el transgen dentro del conjunto del material vegetal sometido al proceso de transformación (Bhat & Srinivasan, 2002; Martínez *et al.* 2004; Karimi *et al.* 2007).

Los métodos de transformación utilizados, en la actualidad, se basan en la obtención de células transgénicas y posterior recuperación de plantas completas y fértiles, a través del cultivo de tejidos y selección *in vitro*. En la mayoría de especies, se observa una importante influencia del genotipo en la respuesta al cultivo *in vitro*. Por ello, cuando se usa esta tecnología, con fines de mejoramiento genético es muy importante conocer la respuesta morfogénica de los distintos genotipos (Eapen, 2008; Gutiérrez *et al.* 2002; Filipecki & Malepszy, 2006). Una vez se logra la regeneración de las plantas transgénicas a partir de células transformadas, se debe realizar la verificación del estatus transgénico de estas plantas, mediante el uso de técnicas moleculares,

como PCR o “Southern blot”, para determinar la inserción del transgen, RT-PCR o “Northern blot”, para verificar su transcripción y “Western Blot” o ELISA, para detectar la producción de la proteína (Díaz *et al.* 2004; Danilova, 2007).

Se denominan plantas transgénicas a aquellas plantas que fueron modificadas genéticamente por la introducción de uno o varios genes (con sus respectivas secuencias reguladoras), por técnicas moleculares, que les confieren una(s) nueva(s) característica (Martínez *et al.* 2004; Vain, 2007). Las plantas transgénicas fueron desarrolladas por primera vez a comienzos de los 80, por cuatro grupos que trabajaban de manera independiente. Se produjeron células de plantas de tabaco y plantas de petunia resistentes a kanamicina; también, por primera vez, se insertó un gen del frijol en una planta de girasol (Birch, 1997; Nielsen *et al.* 2001; Vasil, 2007).

La obtención de plantas transgénicas ha permitido desarrollar nuevas variedades de plantas, cultivadas con características de interés, como son resistencia a factores bióticos y abióticos, aumento en la calidad y rendimientos más altos. También, se ha demostrado la utilidad de las plantas transgénicas para producir vacunas u otras sustancias terapéuticas y para la producción de materias primas de interés industrial, como plásticos biodegradables. De acuerdo a lo anterior es claro el alto potencial y la amplia aplicabilidad de las plantas transgénicas, no solo en la agricultura sino en la industria en general (Job, 2002; Sharma *et al.* 2002; Vain, 2007).

La disponibilidad de esta tecnología permitió importantes avances en el mejoramiento genético de plantas. El gran esfuerzo realizado, en este sentido, tuvo como consecuencia la llegada al mercado, a partir de 1995, de los primeros cultivos transgénicos (James, 2005; 2008; Vain, 2007). En el 2010, se sembraron 148 millones de hectáreas de cultivos GM, por 15,4 millones de agricultores, en 29 países (James, 2010). Según Agrobio (2011), para el 2010, se sembraron en cultivos transgénicos en Colombia, 37.657ha del algodón, 38.896ha de maíz y 4ha de clavel y de rosas.

El presente trabajo tiene como propósito ofrecer una visión actualizada de los diferentes métodos usados para la transferencia de genes hacia los genomas de especies vegetales, para los especialistas y los interesados en el mejoramiento genético de plantas. No existe este tipo de documentos en idioma español y esto dificulta la comprensión de esta importante aplicación de la biotecnología vegetal, asunto de interés para países megadiversos, como Colombia, en el que se utilizan los cultivos transgénicos en la agricultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo una búsqueda inicial, procurando revisiones generales,

usando las bases de datos “Science Direct”, “Hinari” y “Medline”, disponibles en el portal del sistema nacional de bibliotecas (SINAB), de la Universidad Nacional de Colombia. Para esta primera fase, se emplearon las palabras claves en idioma inglés “plant transformation”, “genetic engineering”, “transgenic plants”, “genetically modified crops”. Con base en los hallazgos de la primera fase, se organizó una segunda fase, refinando la pesquisa, de acuerdo con palabras clave relacionadas con los métodos específicos: “particle bombardment”, “biolistic”, “Agrobacterium”, “sonication”, “viral vectors”, “electroporation”, “microlaser”, “microinjection”, “chemical-mediated transfer”, “silicon carbide fibers”, “liposomes”. Finalmente, se hicieron algunas indagaciones complementarias en idioma español, usando el buscador google, para las palabras claves “cultivos genéticamente modificados” y “cultivos transgénicos”. Se examinaron artículos científicos y revisiones entre 1997 y 2010, que cubrieron las publicaciones mundiales en revistas indexadas y páginas web de organizaciones reconocidas, por su dedicación al tema de los cultivos transgénicos, como Agrobio (Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola) e ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han desarrollado diferentes métodos de transformación genética, con el propósito de hacer más eficiente la transferencia de ADN hacia células o tejidos vegetales. Se busca transformar una variedad más amplia de plantas con mejores resultados. Los sistemas de transformación con los que se cuenta en la actualidad, se clasifican en métodos indirectos y métodos directos, de acuerdo con el mecanismo utilizado para la transferencia del material genético hacia la célula vegetal (Mohan Babua *et al.* 2003; Rao *et al.* 2009). La cisgenesis que es la introducción de genes con sus promotores nativos aislados desde la planta cultivada en sí misma o desde especies híbridar, con las cuales, la planta cultivada se puede natural (Jacobsen & Schouten, 2007), no es considerada un método de transformación genética en esta revisión, sino una de las formas de ingeniería genética de plantas. Ello, debido a que para desarrollar la cisgenesis se puede utilizar cualquiera de los métodos descritos.

MÉTODOS INDIRECTOS

Son métodos basados en la utilización de vectores biológicos, empleando sus características naturales de patogenicidad en plantas, para la introducción de los genes de interés al genoma vegetal (Veluthambi *et al.* 2003; Rao *et al.* 2009). Entre estos sistemas de transformación se han descrito el uso de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* y el uso de virus.

Sistema *Agrobacterium*

Debido a la capacidad y a la eficiencia de este género en infectar diversos organismos vegetales surgió la idea de utilizar *Agrobacterium* como mediador para la introducción de genes de interés en plantas (Hellens & Mullineaux, 2000; Tzfira *et al.* 2004). La transformación mediada por *Agrobacterium* fue el primer sistema de transferencia de genes en producir una planta modificada genéticamente en 1983, cuando reportaron la transferencia de genes bacterianos a plantas y de una especie vegetal a otra (Valentine, 2003; Vasil, 2007).

La infección por *Agrobacterium* en una planta es el resultado de un proceso de evolución altamente especializado: la transferencia horizontal de genes desde bacterias hacia plantas (Gelvin, 2000; Zupan *et al.* 2000; Gelvin, 2003a; Tzfira & Citovsky, 2002). El segmento de DNA transferido es conocido como la región T-DNA (DNA de transferencia) y se encuentra en el plásmido residente de la bacteria llamado plásmido Ti (inductor de tumores). Esta región contiene genes que codifican para la biosíntesis de fitohormonas y opinas (carbohidratos únicamente metabolizables por la bacteria). Para que se dé una transferencia efectiva de esta región es necesaria la expresión de los "genes Vir" contenidos en la región Vir (región de virulencia), la cual, se encuentra en el plásmido TI (Gelvin, 2000; Hellens & Mullineaux, 2000; Gelvin, 2010).

Este proceso inicia cuando se producen heridas en las células de la planta, se liberan al medio compuestos fenólicos y monosacáridos, que son reconocidos por *Agrobacterium*, induciendo una unión entre la bacteria y las células vegetales. Este proceso de anclaje no ha sido dilucidado claramente (Citovsky *et al.* 2007; Escobar & Dandekar, 2003; Karami *et al.* 2009). Los compuestos fenólicos, monosacáridos y condiciones de pH que presenta el medio circundante son importantes para la activación del sistema de regulación de dos componentes VirA/VirB, que activa la transcripción del regulon Vir (Valentine, 2003; Tzfira *et al.* 2004; Pitzschke & Hirt, 2010). Posteriormente, por la acción cooperativa de las proteínas VirD1 y VirD2 permite la síntesis del T-DNA; la proteína VirD2 se une covalentemente al extremo 5' del T-DNA, mientras que la proteína VirE2 cubre a toda la hebra de T-DNA. Finalmente, este complejo es translocado a las células vegetales, mediante un sistema de secreción tipo IV, que está constituido por un Pili y un canal de secreción, formados por las proteínas VirB y VirD4. Una vez el T-DNA ha llegado a la célula vegetal, las proteínas VirE2 y VirD2 contribuyen al direccionamiento del T-DNA hacia el núcleo y posterior integración en el genoma vegetal (Tzfira & Citovsky, 2002; Tzfira *et al.* 2004; Citovsky *et al.* 2007; Escobar & Dandekar, 2003). Cabe anotar que durante todo el proceso de infección de *Agrobacterium*, se da una continua interacción

con las proteínas y sistemas propios de la célula vegetal a ser infectada (Gelvin, 2003b; Gelvin, 2010).

Para utilizar el sistema de transformación mediado por *Agrobacterium*, se requiere de cepas desarmadas, que son aquellas, en las que el T-DNA ha sido eliminado. Para obtenerlas, el plásmido residente Ti debe ser modificado mediante un proceso de recombinación, que permite eliminar los genes responsables de la formación de tumores en la planta, denominados ONC (oncogenes) y los genes OPS para la síntesis de opinas, que se encuentran en la región del T-DNA. Para esto es introducido a la cepa de *Agrobacterium* a desarmar, un plásmido foráneo con regiones de homología con el T-DNA y un gen para resistencia a antibióticos. Dado el proceso de recombinación entre el plásmido TI y el plásmido foráneo, se elimina el T-DNA y se introduce en el plásmido TI el gen para resistencia a antibióticos que, posteriormente, va permitir identificar la bacteria desarmada, mientras que plásmido foráneo con la región T-DNA es eliminado (Gelvin, 2003b; Jacobs, 2003; Gelvin, 2010; Pitzschke & Hirt, 2010).

En la transferencia de genes, a través del sistema *A. tumefaciens*, se emplean dos tipos de vectores: los de co-integración (sistemas en *cis*) y los binarios. Los vectores co-integrados resultan de la integración de un plásmido foráneo pequeño al plásmido TI de la cepa desarmada de *Agrobacterium*, mediante un proceso de recombinación. Estos vectores, se obtienen a partir de un plásmido Ti desarmado, que contiene el borde izquierdo y el plásmido foráneo, que contiene el gen de interés flanqueado por el borde derecho y una región homóloga al borde izquierdo; la recombinación se lleva a cabo por un evento de entrecruzamiento de regiones homólogas de los dos plásmidos, dando como resultado un solo plásmido (Gelvin, 2000; Gelvin, 2003a; Gelvin, 2010).

Los vectores binarios (sistemas en *trans*) es la estrategia más empleada. Estos vectores, se derivan de plásmidos que se replican en *E. coli* y en *A. tumefaciens*, no necesitan integrarse al plásmido Ti y se mantienen como plásmidos independientes, dentro de la célula bacteriana. Esta estrategia consiste en el uso de dos plásmidos en la bacteria, uno de ellos, el vector binario, contiene los bordes del T-DNA en el que se incluye el casete de expresión o genes de interés y, el otro, el plásmido residente es el que contiene los genes "Vir", que son los encargados de mediar la transferencia efectiva del casete de expresión hacia las células vegetales (Hellens & Mullineaux, 2000; Komori *et al.* 2007). Una versión mejorada de los vectores binarios son los vectores superbinarios, los cuales, son los responsables de la supervirulencia de las cepas de *Agrobacterium*, debido a que portan un segmento de DNA con los genes de virulencia VirB, VirC y VirG. Estos vectores, se obtienen a partir de la recombinación homóloga

entre un plásmido pequeño que porta el T-DNA con los genes de interés y un plásmido de mayor tamaño que posee la región de supervirulencia, formando un vector co-integrado, que se introducirá a una cepa de *Agrobacterium* desarmada, como vector binario (Komori *et al.* 2007).

La transformación, mediada por *Agrobacterium*, requiere de un periodo de co-cultivo, en el cual, la cepa de *Agrobacterium*, que contiene el vector con los genes de interés, es puesta en contacto con el tejido vegetal a transformar, para que se realice la transferencia de T-DNA a algunas de las células vegetales expuestas a la infección. El uso de diferentes tipos de tejido vegetal está dado por las características de éstos, en cuanto a su capacidad de regeneración y fácil manipulación. El co-cultivo, se debe dar en un medio apropiado que favorezca el proceso de transformación, como la presencia de moléculas señal, como la acetosiringona y las heridas en el tejido vegetal que activa el sistema de virulencia de *Agrobacterium* (Vasil, 2007; Sharma *et al.* 2002; Hansen & Wright, 1999).

Después del co-cultivo, el tejido vegetal es transferido a un medio de cultivo de tejidos vegetales que propicie la regeneración, que consiste en la obtención de una planta completa a partir de una célula vegetal. Para la regeneración de plantas completas es necesaria la adición de hormonas vegetales o reguladores de crecimiento al medio de cultivo. Estos reguladores son del tipo citoquininas, que promueven la división celular en el cultivo de tejidos no meristemáticos e inducen la formación de órganos en una gran variedad de cultivo de tejidos o auxinas, que promueven la división y crecimiento celular, y las giberilinas involucradas en la regulación de la elongación celular específicamente auxinas y citoquininas (Arias *et al.* 2006; Eapen, 2008; Pitzschke & Hirt, 2010). El factor más importante para la regeneración es el balance adecuado de los reguladores de crecimiento. Entre los factores que pueden afectar de manera considerable la regeneración están la fuente del explante y su estado fisiológico, al igual que las condiciones de luz y de temperatura a que sean sometidos. Adicionalmente, estos medios deben contener antibióticos, que permita la eliminación de *Agrobacterium*, debido a que no es requerido más, puesto que el proceso de transformación se llevó a cabo en el periodo de co-cultivo y agentes selectivos, que permitan la selección de las posible plantas transgénicas, que debe estar de acuerdo con los genes de selección presentes en el casete de expresión empleado (Bhat & Srinivasan, 2002; Filipecki & Malepszy, 2006).

El sistema *Agrobacterium* es el más empleado en la producción de plantas transgénicas, debido a que posee varias ventajas frente a los otros sistemas de transformación. Entre estas están: simplicidad técnica de los protocolos; no requiere de equipos sofisticados; pueden ser empleados

diferentes tipos de tejidos vegetales; la integración del T-DNA es un proceso relativamente preciso; la región de DNA a ser transferido es definida; baja probabilidad de rearrreglos; permite la introducción de segmentos largos de DNA; bajo número de copias del T-DNA transferido. La gran mayoría de las ventajas que presenta este sistema, se explican por el proceso de infección de las células vegetales por la bacteria y la posterior integración del el T-DNA en el genoma vegetal (Hansen & Wright, 1999; Veluthambi *et al.* 2003; Filipecki & Malepszy, 2006).

Entre las desventajas del sistema de *Agrobacterium*, se han reportado: el tejido a infectar debe presentar daño físico; los vectores están diseñado solo para infectar el núcleo; se requiere la eliminación de la bacteria de los tejidos infectados mediante el uso de antibiótico; el rango de hospederos está limitado a que estos sean susceptibles a la infección; sin embargo, muchas de estas deficiencias han sido superadas con la implementación de nuevas técnicas y procedimientos (Hansen & Wright, 1999; Pitzschke & Hirt, 2010).

Con el propósito de mejorar el sistema *Agrobacterium*, algunos investigadores proponen combinarlo con otras técnicas de transformación. Es así como surge la Agroinfiltración, que combina el sistema *Agrobacterium* con la aplicación de vacío. Se emplea tejido floral joven o en desarrollo, sobre el cual, se aplica vacío, mientras se encuentra sumergido en una solución concentrada de *Agrobacterium*. Esto permite que se produzcan heridas en el tejido, facilitando e incrementando la infección, además como se realiza en plantas ya desarrolladas, no es necesaria la utilización de cultivo de tejidos. Finalmente, lo que se logra es la infección del tejido floral femenino, partir del cual, se van a obtener semillas potencialmente transgénicas (Sharma *et al.* 2002; Grabowska & Filipecki, 2004; Rao *et al.* 2009).

Otro método en el que se combina el sistema *Agrobacterium* con ultra sonido es llamado "transformación mediada por *Agrobacterium* asistida con sonicación" o SAAT, por sus siglas en idioma inglés. En este sistema, el tejido a transformar es sometido a periodos cortos de ultrasonido, ocasionándole pequeñas fisuras o heridas en el tejido vegetal, lo que facilita la infección por *Agrobacterium* (Beranova *et al.* 2008; Liu *et al.* 2006).

Un sistema de transformación basado en las característica propias del sistema *Agrobacterium* es el sistema TransBacter™, que emplea otros géneros bacterianos, como *Rhizobium sp.*, *Sinorhizobium meliloti* y *Mesorhizobium loti*, para transferir material genético a células vegetales. Estas bacterias, se pueden volver competentes para integrar genes en las plantas si se les introduce un plásmido Ti desarmado y un vector binario. Este sistema de transformación se

encuentra disponible para la comunidad internacional de investigación y desarrollo, como una “tecnología común protegida”, bajo una licencia BIOS, que es licencia para innovaciones en biotecnología basada en el concepto de código abierto (Broothaerts *et al.* 2005; BIOS, 2008).

Vectores virales

Algunos virus que afectan especies vegetales han sido empleados como vectores para la transformación de plantas, con el objetivo de producir proteínas de interés, por la expresión transitoria de genes foráneos, mediante la replicación de los virus en las plantas. Los virus deben ser modificados para que sean capaces de transportar el gen de interés al interior de la célula vegetal. Se han desarrollado dos estrategias para la construcción de vectores virales. En la más empleada, el gen foráneo, es introducido dentro del virus completo, por lo general, precedido por el promotor duplicado de la proteína de la capsida del virus (promotor fuerte) o fusionado a ésta, para que el gen de interés sea expresado como un RNA subgenómico separado. La segunda estrategia y la más recientemente desarrollada, el virus es completamente reconstruido eliminando o sustituyendo regiones virales, además de la inserción del gen de interés. Finalmente, estos vectores virales pueden ser empleados en la transfección de la planta, como una partícula viral madura o como copias del vector viral (Gleba *et al.* 2004; Gleba *et al.* 2007).

Los mayores avances se han logrado con Geminivirus y Caulimovirus, debido a que estos son virus DNA y se pueden clonar directamente; dentro de estos ha sido especialmente utilizado el virus del mosaico de coliflor, con el cual, se ha logrado transferir genes con resistencia a antibióticos. También los virus RNA que son muy abundantes en el reino vegetal, se han empleado como vectores virales aunque estos debe ser clonados como cDNA, los más empleados son los del mosaico de la cebada y el virus del mosaico del tabaco (Sattar *et al.* 2006).

Entre las ventajas que presentan los vectores virales, se reportan: facilidad en la infección; rango de hospedadores más amplio; producción de altos niveles de proteína; los genes transmitidos no se limitan a una célula se esparcen por toda la planta; mayor velocidad en la expresión; sin embargo, existen varias limitaciones importantes: el tamaño del gen de interés debe ser limitado para que no afecte la infectividad; pueden provocar síntomas específicos de enfermedad o ser letales para la planta huésped; alta frecuencia de errores durante la síntesis del ARN vírica puede dar lugar a la expresión incorrecta del gen introducido; el gen de interés no se integra en el genoma vegetal y no se transfiere necesariamente a la descendencia (Sattar *et al.* 2006; Gleba *et al.* 2004). Es importante anotar que la mayor

y principal aplicación de este sistema está en la producción de proteínas heterólogas, como biofármacos (Sattar *et al.* 2006).

Otro sistema de transformación que ha surgido a partir de la combinación de las características de los vectores víricos y del sistema *Agrobacterium* es la Agroinfección. En esta metodología, se emplea el sistema de transferencia del DNA de *Agrobacterium* para infectar células vegetales con vectores virales. El vector viral es introducido en el T-DNA, el cual, es transferido a las células por el proceso normal de infección, mediada por *Agrobacterium*. Este sistema es empleado cuando los vectores virales provienen de virus que no son transmisibles mecánicamente (Larik *et al.* 2004; De Oliveira *et al.* 2008).

MÉTODOS DIRECTOS

Debido a la dificultad de transformar monotiledóneas por medio de *Agrobacterium*, se desarrollan sistemas de transferencia de genes, en los que se emplea procedimientos de naturaleza química, fisicoquímica y mecánica. El desarrollo de estos métodos, se basó en las técnicas físicas usadas en la transformación de células animales en cultivo (Díaz *et al.* 2004; Gutiérrez *et al.* 2002; Danilova, 2007; Rao *et al.* 2009).

Liposomas

Los liposomas o vesículas lipídicas están conformadas por varias bicapas de lípidos que encapsulan agua o gas, poseen diámetros del orden de nanómetros, con diferentes formas y tamaños. Pueden estar formados por fosfolípidos, fosfatidiletanolamina, ácidos grasos o cationes bivalentes. Los liposomas presentan característica muy similares a las membranas biológicas, con una tendencia natural a ligarse a células y tejidos interactuando con estos por absorción, fusión o intercambio lipídico. (Morigaki & Walde, 2007; Hotani *et al.* 2003).

Entre los métodos para transformación vegetal, la transferencia de genes, mediada por liposomas, es uno de los más difíciles y aunque en un principio éste mostró ser eficaz, su utilización ha sido muy limitada. En este método, el casete de expresión es encapsulado en una esfera lipídica (liposoma), que permite o facilita su paso, a través de la célula vegetal por endocitosis, ya sea por el plasmodesma o directamente por la pared celular, hasta el núcleo (Rao *et al.* 2009).

Los métodos de transferencia mediados por liposomas poseen algunas ventajas, como son: protección contra la degradación por nucleasas; capacidad de portar grandes fragmentos de DNA; biocompatibilidad con membranas; no requiere de un portador para el DNA. Los problemas que

se han reportado con este sistema de transformación, son: frecuencia de transformación muy baja; inserción del DNA en tandem; preparación de los liposomas; encapsulación del material genético a transferir. Estos problemas se han solucionado parcialmente con la implementación de nuevas técnicas y la utilización de nuevos compuestos, para la preparación de liposomas (Vasil, 2007).

Pese a las dificultades que presenta este sistema, la fusión de liposomas que contienen ADN con protoplastos está bien establecida en la producción de plantas transgénicas. Menos exitosa ha sido la fusión de los liposomas con tejidos y células vegetales intactas. La eficacia del método aumenta al combinarlo con otras técnicas, como el tratamiento con PEG (Polietilenglicol) o la electroporación (Mok & Park, 2008).

Biobalística

El término biobalística proviene de la unión de "biología y balística". Este método fue ideado y refinado en la década de 1980, por un grupo de investigadores de la Universidad de Cornell (E.U.) e introducido por Sanford, en 1987, por primera vez. Esta técnica, se basa en la utilización de microproyectiles recubiertos del DNA que se desea transferir, que son disparados sobre los tejidos vegetales a altas velocidades, atraviesan la pared y la membrana celular y llevan al interior de la célula los genes de interés para su posterior integración en el genoma vegetal (Sanford, 2000; Martínez *et al.* 2004; Vasil, 2007).

Este sistema de transformación requiere de un dispositivo mecánico que permita realizar el bombardeo de los tejidos vegetales. Para que los microproyectiles puedan atravesar las membranas celulares y llegar al núcleo de las células blanco, deben ser impulsados a velocidades supersónicas. Para ello, se desarrollaron tres sistemas: por explosión de pólvora seca, por variación de fuerza de aceleración, a través de descarga eléctrica o por liberación de gas comprimido a alta presión (aire, helio, CO₂ o N₂). Los microproyectiles empleados son partículas aproximadamente esféricas (microesferas), elaboradas de materiales densos, como el oro o tungsteno, de diámetro variados, que pueden ir desde los 0,4 µm hasta 4 µm. El casete de expresión con los genes de interés puede ir o no en un vector, ya que no es requerido para el proceso de transformación. El casete de expresión debe ser adherido a los microproyectiles y, para esto, se han diseñado varias metodologías, entre las más utilizada es la que emplea cloruro de calcio y espermidina, para la precipitación del DNA sobre los micorproyectiles (Bhat & Srinivasan, 2002; Altpeter *et al.* 2005; Sanford, 2000; Rao *et al.* 2009).

En la actualidad, el mecanismo de disparo se basa en una pistola especial que lanza las partículas a más de 400m/s sobre el tejido de forma, que penetran sin destruir la

membrana celular. Todo el sistema funciona en un vacío moderado para evitar el rozamiento con el aire, condiciones que las células vegetales soportan durante uno o dos minutos. Tras el bombardeo, el DNA se desprende de los microproyectiles, debido a las modificaciones del entorno iónico. De acuerdo con la localización de los microproyectiles en la célula, el DNA se puede integrar de forma estable en núcleo, cloroplastos o mitocondrias de las células vegetales, mediante recombinación al azar. Finalmente, los tejidos son colocados en condiciones adecuadas para la regeneración de plantas, mediante técnicas de cultivo de tejidos vegetales. Cabe anotar que los tejidos vegetales empleados son sometidos a un tratamiento osmótico pre y pos bombardeo, con el fin de evitar el daño de las células por el procedimiento (Taylor & Fauquet, 2002; Altpeter *et al.* 2005; Sanford, 2000; Rao *et al.* 2009).

El bombardeo de micropartículas es considerado un mecanismo universal por su naturaleza física, que permite introducir DNA sin necesidad de vectores especializados, en cualquier tipo de tejido o célula, alcanzando capas profundas. Con un disparo, se pueden producir múltiples integraciones. En este método de transformación, las construcciones genéticas son más simples, incluyen los genes de interés y de selección con sus secuencias reguladoras respectivas, pueden ir incluidas en plásmidos o en forma de molécula lineal (Altpeter *et al.* 2005; Sanford, 2000; Taylor & Fauquet, 2002).

Esta técnica fue propuesta, inicialmente, para introducir material genético en el genoma nuclear de plantas superiores, pero en los últimos años se ha usado para transformar bacterias, protozoos, hongos, algas, insectos, tejidos animales y plantas in vivo. Además, en la actualidad, constituye el único método de transformación, que permite transformar organelos celulares (Mohan Babua *et al.* 2003; Larik *et al.* 2004).

Entre las desventajas que presenta este sistema, se encuentran: porcentaje de éxito variable; es frecuente la inserción de varias copias del casete de expresión variando desde 1 hasta 20, que pueden ir en tandem, causando silenciamiento génico; muchas veces no se consigue una introducción estable del transgen; se presentan rearrreglos en el DNA transferido que difieren en tamaño; se puede presentar daño en los tejidos; el sistema es cotoso (Hansen & Wright, 1999; Veluthambi *et al.* 2003; Danilova, 2007).

Un sistema de transformación que ha surgido a partir de integrar las características de este sistema con el sistema *Agrobacterium* es la Biolística o Agrolística. En éste, se emplea la biobalística para producir daños mecánicos al disparar proyectiles sin ADN sobre el tejido vegetal a

transformar, luego, a través del sistema *Agrobacterium*, como mecanismo de transmisión génica, se lleva a cabo la transformación del tejido vegetal. (Taylor & Fauquet, 2002; Sharma *et al.* 2002).

Electroporación

Con esta metodología, se busca permeabilizar las membranas, mediante el aumento significativo de la conductividad eléctrica, causado por un campo eléctrico aplicado externamente. Las membranas, se desestabilizan originando una pérdida temporal de la permeabilidad produciendo poros reversibles, por los que se produce el paso de macromoléculas, fuga de iones, escape de metabolitos y mayor absorción de DNA, por parte de las células (Krassowska & Filev, 2007; Fox *et al.* 2006).

Durante la electroporación, las células son tratadas con impulsos eléctricos controlados de alto voltaje y pulsos cortos de duración de microsegundos a milisegundos, utilizando campos entre los 200 V/cm hasta los 600 V/cm. Cuando el voltaje que atraviesa una membrana plasmática excede su rigidez dieléctrica, siendo esta la resistencia que oponen los materiales a transmitir la electricidad, se forman poros en la membrana. Si la fuerza del campo eléctrico aplicado y la duración de la exposición al mismo se eligen correctamente, los poros formados por el pulso eléctrico se sellan tras un corto periodo de tiempo, durante el cual, los compuestos extracelulares tienen la oportunidad de entrar a la célula; sin embargo, una exposición excesiva a campos eléctricos puede causar daños irreversibles a las membranas, causando la muerte de las células (Tarek, 2005; Chen *et al.* 2006).

La electroporación se lleva a cabo en un dispositivo llamado electroporador, aparato que utiliza descargas de capacitores para producir pulsos de alto voltaje, originando una corriente eléctrica, que se hace pasar a través de la suspensión, que contiene las células, a las cuales, se les desea permeabilizar sus membranas y así permitir o facilitar la entrada del DNA foráneo, con el que se pretende transformar las células. El DNA foráneo a introducir debe estar presente en la solución con las células a transformar; este DNA o genes de inertes, por lo general, se encuentran contenidos en un plásmido, aunque también pueden estar en forma de molécula lineal de DNA (Fox *et al.* 2006; Chen *et al.* 2006).

El proceso de electroporación es aproximadamente diez veces más efectivo que la transformación mediada por métodos químicos; es un método muy eficiente de fácil operación y relativamente simple, que se utiliza con mucha frecuencia. La principal limitación que presenta este método para la transformación de plantas es la necesidad de emplear protoplastos (células sin pared), para que se pueda llevar a

cabo la permeabilización de la membrana plasmática. El empleo de protoplastos conlleva a la implementación de técnicas de cultivo engorrosas (Mohan Babua *et al.* 2003; Larik *et al.* 2004).

Sonicación

Es un método nuevo de transferencia de genes, utilizado con éxito en la transformación de tejidos vegetales, células intactas y protoplastos. Se emplea ultrasonido con frecuencias superiores a 20 KHz, para generar permeabilidad en las membranas, mediante la inducción de poros transitorios, a través de los cuales, el DNA foráneo puede ingresar al interior de la célula vegetal. Este fenómeno también es conocido como Sonoporación. El dispositivo empleado para la producción de los pulsos de ultrasonido empleados durante este proceso es conocido como sonicador (Mehier-Humberta *et al.* 2005; Deng *et al.* 2004)

El mecanismo por el que se ocasiona la permeabilización de las membranas por la acción de ultrasonido no se dilucidado por completo. Se cree que el mayor efecto de la sonicación es debido a la cavitación acústica, siendo esta la propagación de las ondas del ultrasonido, por medio de un medio líquido en reposo, particularmente a bajas energías acústicas. Por causa a este fenómeno, se producen burbujas que crecen, con rápidas oscilaciones en su tamaño, lo que las hace colapsar. Durante este colapso, las burbujas producen ondas de choque muy fuertes, así como pequeños chorros de líquido a altas velocidades, produciendo daños severos en la superficie de objetos sólidos cercanos (Mehier-Humberta *et al.* 2005; Miller *et al.* 2002).

Los efectos fisicoquímicos que este proceso puede ocasionar a las células vegetales son: formación de radicales libres; daños en la pared celular; alteraciones en la permeabilidad de la membrana; aberraciones cromosómicas menores; cambios de tipo fisiológico. Dado que se ha logrado mediante este procedimiento la introducción de manera eficiente de ADN foráneo y del hecho que se pueden utilizar protoplastos, células en suspensión y fragmentos de tejido, es factible que esta técnica pueda tener un potencial futuro (Liu *et al.* 2006; Deng *et al.* 2004).

Transferencia mediada por compuestos químicos

Es una de las metodologías más empleada para la introducción de DNA foráneo en protoplastos y en células intactas. Se basa en el uso de compuestos químicos que induzcan permeabilidad en la membrana. Para esto, las células vegetales deben ser tratadas con la sustancia química en las concentraciones y en las condiciones pre-establecidas. Entre los compuestos químicos más empleados tenemos: Polietilenglicol (PEG), Fotostato de calcio y Poly-L-omotina. Estas sustancias ayudan a inducir permeabilidad en las membra-

nas, mediante la inducción de poros transitorios o daño reversible de la membrana, lo que permite o favorece el paso del DNA foráneo y de macromoléculas, a través de la membrana hacia el interior de la célula. Esta fue la primera técnica alternativa que se empleó para transformar gramíneas, en la década de los 80 (Chakrabarty *et al.* 2008; Danilova, 2007).

El más empleado de los compuestos químicos es el Polietilenglicol (PEG), un agente de fusión que modifica químicamente las membranas al interactuar con los fosfolípidos que las componen. Durante el tratamiento con PEG, la membrana de la célula es deformada por fuerzas de tensión superficial, causadas por las diferencias de densidades entre la solución de PEG y la solución que contiene los protoplastos a transformar y el DNA foráneo que se desea introducir. Es común que se emplee un pH alcalino, que contribuye al daño en la membrana; también se adicionan iones de calcio, que facilitan la entrada del DNA foráneo al interior de la célula. Pese a que este sistema presenta algunas desventajas, como baja eficiencia, poca reproducibilidad, requerimiento de protoplastos y toxicidad para las células, se continúa empleando intensivamente (Danilova, 2007).

Fibras de carburo de silicón

Es una metodología recientemente descrita, en la que se emplean fibras de carburo de silicón de 10 a 80 μm de longitud, con un diámetro de 0,5 μm , mediante la cual, el DNA foráneo es introducido en las células vegetales, a través de los poros o agujeros que hacen las fibras de carburo de silicón, que actúan como microagujas. El tamaño, la forma y la composición química de las fibras de carburo de silicón es lo que permite que penetren directamente al interior de la célula, sin ocasionarle daño alguno (Danilova, 2007; Lutsenko, 2005).

La metodología por la que se realiza el proceso de transformación empleando las fibras de carburo de silicón es bastante sencilla; mediante una fuerte agitación del cultivo celular en suspensión, en presencia del DNA plasmídico y las fibras de carburo de silicón, se logra que por fuerzas hidrodinámicas penetre a las células el DNA foráneo y las fibras de carburo de silicón. Esta técnica es rápida, sencilla y poco costosa. Aunque es necesario aclarar los mecanismos moleculares que actúan en estas transformaciones, así como ensayar nuevos materiales fibrosos que mejoren los resultados obtenidos y permitan eliminar el uso del material carburo de silicón que es tóxico (Mizuno *et al.* 2005; Rao *et al.* 2009).

Microinyección

La microinyección es una de las técnicas más precisas para la introducción de DNA foráneo o de macromoléculas dentro de los compartimentos intracelulares específicos

de las células. La microinyección utiliza microcapilares o microagujas de vidrio y sistemas de microscopía para depositar el DNA foráneo, en el interior de células vegetales. Además, el hecho que junto al DNA desnudo se puedan inyectar otros elementos genéticos, como plastidios, mitocondrias y cromosomas, hace de la microinyección una técnica interesante y muy útil para la transformación de plantas. El equipo que se requiere para realizar el proceso de microinyección es llamado micro manipulador, compuesto por un microscopio y por los accesorios de guía, para realizar desplazamientos (Sharma *et al.* 2002; Holm *et al.* 2000).

Entre las ventajas que presenta esta técnica, se han reportado: se puede optimizar la cantidad de DNA descargado; se puede escoger la célula a transformar; la descarga del DNA foráneo es precisa y predecible; el proceso se realiza bajo control visual; se emplean cantidades micro. Pero también presenta algunas desventajas, tales como: solamente una célula recibe el DNA por cada inyección; el manejo de la técnica requiere personal entrenado y mayor instrumentación (Mohan Babua *et al.* 2003; Larik *et al.* 2004).

Uno de los grandes avances que se han logrado con este método ha sido la implementación de microinyección de liposomas, en los que se ha depositado el DNA de interés, facilitando así la descarga o introducción del DNA foráneo en la célula (Gutiérrez *et al.* 2002; Larik *et al.* 2004; Rao *et al.* 2009).

Microláser

El objetivo de esta metodología es la permeabilización de las membranas, que se lleva a cabo mediante la utilización de un chorro de microláser enfocado en el sistema de iluminación de un microscopio, permitiendo así abrir orificios o poros transitorios en la pared celular y en la membrana plasmática de las células vegetales, que se desean transformar. Así, se facilita la posterior entrada del DNA foráneo hacia el interior de las células. Como en este sistema no requiere de vectores o portadores del DNA de interés, para el proceso de transformación, se pueden emplear moléculas de DNA lineales (Kajiyama *et al.* 2007; Mohan Babua *et al.* 2003).

No hay datos concluyentes acerca de la eficacia de este método. Pero en combinación con el sistema de biobalística, se han obtenido logros importantes en procesos de transformación. Así se emplea este método para abrir poros en los tejidos vegetales, para que posteriormente los microproyectiles cargados con el DNA foráneo, penetre las células vegetales (Kajiyama *et al.* 2007; Mohan Babua *et al.* 2003).

CONCLUSIONES

Existe un gran número de métodos de transformación de plantas que se encuentran disponibles para su uso, aunque

la mayoría son muy poco utilizados en el laboratorio. Los métodos más empleados son la transformación mediada por *Agrobacterium* y la Biobalística, tanto para usos experimentales como para usos comerciales. Algunos de nuevos métodos pueden cobrar interés, ya que son más sencillos, contribuyen a la reducción de costos y a una demanda más baja, en el uso de equipos. Aunque para muchos de estos métodos se deben realizar ensayos y estudios para su optimización, empleando diferentes genotipos, puesto que la mayoría presenta un gran problema, que es la baja eficiencia de transformación. La eficiencia de estos sistemas está supeditada a los métodos de cultivo de tejido que se empleen y a los avances que en esta área se tenga sobre el genotipo a transformar.

Conflictos de intereses: El manuscrito 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. AGROBIO, 2011. Estadísticas de cultivos GM (2010). (Colombia) Disponible desde Internet en <http://agrobio.org.co/fend/index.php?op=YXA9I2JXbDQmaW09I016UT0=> (con acceso 08/10/2011).
2. ALTPETER, F.; BAISAKH, N.; BEACHY, R.; BOCK, R.; CAPELL, T.; CHRISTOUI, P.; DANIELL, H.; DATTA, K.; DATTA, S.; PHILIP, J.; DIX, P.; FAUQUE, C.; HUANG, N.; KOHLI, A.; MOOIBROEK, H.; NICHOLSON, L.; NGUYEN, T.; NUGENT, G.; RAEMAKERS, K.; ROMANO, A.; SOMERS, D.; STOKER, E.; TAYLOR, N.; VISSER, R. 2005. Particle bombardment and the genetic enhancement of crops: myths and realities. *Molec. Breeding*. (Holanda). 15:305-327.
3. ARIAS, R.; FILICHKIN, S.; STRAUSS, S. 2006. Divide and conquer: development and cell cycle genes in plant transformation. *Trends Biotechn.* (Holanda). 24(6):267-273.
4. BHAT, R.; SRINIVASAN, S. 2002. Molecular and genetic analyses of transgenic plants: Considerations and approaches. *Plant Sci.* (Holanda). 163:673-681.
5. BERANOVA, M.; RAKOUSKY, S.; VAVROVA, Z.; SKALICKY, T. 2008. Sonication assisted *Agrobacterium*-mediated transformation enhances the transformation efficiency in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plant Cell Tiss. Organ. Cult.* (Holanda). 94(3):253-259.
6. BIOS. 2008. BiOS: a framework to collaboratively solve our shared challenges. CAMBIA (Australia). Disponible desde Internet en <http://www.bios.net./daisy/bios/home.html> (con acceso 08/10/2011).
7. BIRCH, R. 1997. Plant transformation: Problems and Strategies for Practical Application. *An. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* (Estados Unidos). 48:297-326.
8. BROOHTAERTS, W.; MITCHELL, H.; WEIR, B.; KAINES, S.; SMITH, L.; YANG, W.; MAYER, J.; ROA-RODRIGUEZ, C.; JEFFERSON, R. 2005. Gene transfer to plants by diverse species of bacteria. *Nature* (Inglaterra). 433:629-633.
9. CITOVSKY, V.; KOZLOVSKY, S.; LACROIX, B.; ZALTSMAN, A.; DAFNY-YELIN, M.; VYAS, S.; TOVKACH, A.; TZFIRA, T. 2007. Biological systems of the host cell involved in *Agrobacterium* infection. *Cell. Microbiol.* (Alemania). 9(1):9-20.
10. CHAKRABARTY, B.; GHOSHAL, A.; PURKAIT, M. 2008. Effect of molecular weight of PEG on membrane morphology and transport properties. *J. Membr. Sci.* (Holanda). 309:209-221.
11. CHAPARRO, A.; CANCINO, G.; CARVAJAL, D.; DIAZGRANADOS, C.; MORENO, L.; NEMOGA, G.; RAMÍREZ, H.; SILVA, C.; YAYA, M. 2005. Introducción a la ingeniería genética de plantas. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos. Bogotá, Colombia. 150p.
12. CHEN, C.; SMYE, S.; ROBINSON, M., EVANS J. 2006. Membrane electroporation theories: a review. *Med. Biol. Eng. Comput.* (Holanda). 44:5-14.
13. DANILOVA, S. 2007. The technologies for genetic transformation of Cereals. *Russian J. Plant Physiol.* 54(5):569-581.
14. DE OLIVEIRA, P.; OLIVEIRA, T.; NAGATA, T.; KAZUKO, A. 2008. One-step cloning approach for construction of agroinfectious begomovirus clones. *J. Virol. Methods* (Holanda). 147:351-354.
15. DENG, CH.; SIELING, F.; PAN, H.; CUI, J. 2004. Ultrasound-Induced Cell Membrane Porosity. *Ultrasound Med. & Biol.* (Holanda). 30(4):519-526.
16. DÍAZ, M.; ZAPPACOSTA, D.; FRANZONE, P.; RÍOS, R. 2004. Transformación genética, Parte III, Capítulo

3. En: ArgenBio (Consejo Argentino para la información y el desarrollo de la Biotecnología) eds. Biotecnología y mejoramiento vegetal. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Disponible desde Internet en: www.argenbio.org/h/biblioteca/libro.php (con acceso 08/10/2011).
17. EAPEN, S. 2008. Advances in development of transgenic pulse crops. *Biotechn. Adv.* (Holanda). 26:162-168.
18. ESCOBAR, M.; DANDEKAR, A. 2003. *Agrobacterium tumefaciens* as an agent of disease. *Trends in Plant Sci.* (Holanda). 8(8):380-386.
19. FILIPECKI, M.; MALEPSZY, S. 2006. Unintended consequences of plant transformation: a molecular insight. *J. Appl. Genet.* (Polonia) 47(4):277-286.
20. FOX, M.; ESVELD, D.; VALERO, A.; LÜTTGE, R.; MASTWIJK, H.; BARTELS, P.; VAN DEN BERG, A.; BOOM, R. 2006. Electroporation of cells in microfluidic devices: a review. *Anal Bioanal Chem.* (Alemania). 385: 474-485.
21. GELVIN, S. 2000. *Agrobacterium* and plant genes involved in T-DNA transfer and Integration. *An. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* (Estados Unidos). 51:223-256.
22. GELVIN, S. 2003a. *Agrobacterium*-Mediated Plant Transformation: the Biology behind the "Gene-Jockeying" Tool. *Microbiol. Molec. Biol. Rev.* (Estados Unidos). 67(1):16-37.
23. GELVIN, S. 2003b. Improving plant genetic engineering by manipulating the host. *Trends Biotechn.* 21(3):95-98.
24. GELVIN, S. 2010. Plant Proteins Involved in *Agrobacterium*-Mediated Genetic Transformation. *An. Rev. Phytopathol.* (Estados Unidos). 48:45-68.
25. GLEBA, Y.; MARILLONNET, S.; KLIMYUK, V. 2004. Engineering viral expression vectors for plants: the 'full virus' and the 'deconstructed virus' strategies. *Curr. Opin. Plant.* (Holanda). 7:182-188.
26. GLEBA, Y.; KLIMYUK, V.; MARILLONNET S. 2007. Viral vectors for the expression of proteins in plants. *Curr. Opin. Biotechn.* (Holanda). 18:134-141.
27. GRABOWSKA, A.; FILIPECKI, M. 2004. Infiltration with *Agrobacterium* – the method for stable transformation avoiding tissue culture. *Acta Physiolog. Plant.* (Holanda). 26(4):451-458.
28. GUTIÉRREZ, A.; SANTACRUZ, F.; CABRERA, J.; RODRÍGUEZ, B. 2002. Mejoramiento genético vegetal *in vitro*. *e-Gnosis Revista digital: Ciencia y Tecnología (Méjico)* 1: Art 4. Disponible desde Internet en: www.e-gnosis.udg.mx (con acceso 08/10/2011).
29. HANSEN, G.; WRIGHT, M. 1999. Recent advances in the transformation of plants. *Trends Plant Sci. Rev.* (Estados Unidos). 4(6):226-231.
30. HELLENS, R.; MULLINEAUX, P. 2000. A guide to *Agrobacterium* binary Ti vectors. *Trends Plant Sci. Rev.* 5(10):446-451.
31. HOLM, P.; OLSEN, O.; SCHNORF, M.; BRINCH-PEDERSEN, H.; KNUDSEN, S. 2000. Transformation of barley by microinjection into isolated zygote protoplasts. *Transgenic Res.* (Holanda). 9:21-32.
32. HOTANI, H.; INABA, T.; NOMURA, F.; TAKEDA, S.; TAKIGUCHI, K.; ITOH, T.J.; UMEDA, T.; ISHIJIMA, A. 2003. Mechanical analyses of morphological and topological transformation of liposomes. *BioSystems* (Holanda). 71:93-100.
33. JACOBSEN, E.; SCHOUTEN, H. 2007. Cisgenesis strongly improves introgression breeding and induced translocation breeding of plants. *Trends Biotechn.* 25:219-223.
34. JACOBS, M. 2003. Developing the *Agrobacterium* Ti plasmidas a vector for plant genetic engineering: the 2002 Benjamin Franklin Medal in life sciences presented to Mary-Dell Chilton. *J. Franklin Institute* (Estados Unidos). 340:213-219.
35. JAMES, C. 2005. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2005. ISAAA Brief No. 34. ISAAA: Ithaca, NY. p.30.
36. JAMES, C. 2008. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Brief No. 37. ISAAA: Ithaca, NY. p.30.
37. JAMES, C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY. p.30.
38. JAUHAR, P. 2006. Modern biotechnology as an integral

- supplement to conventional plant breeding: the prospects and challenges. *Crop Sci. (Estados Unidos)*. 46:1841-1859.
39. JOB, D. 2002. Plant biotechnology in agriculture. *Biochimie (Holanda)*. 84:1105-1110.
 40. KAJIYAMA, S.; INOUE, F.; YOSHIKAWA, Y.; SHOJI, T.; FUKUSAKI, E.; KOBAYASHI, A. 2007. Novel plant transformation system by gene-coated gold particle introduction into specific cell using ArF excimer laser. *Plant Biotechn. (Japón)*. 24:315-320.
 41. KARIMI, M.; BLEYS, A.; VANDERHAEGHEN, R.; WILSON, P. 2007. Building blocks for plant gene assembly. *Plant Physiol. (Estados Unidos)*. 145:1183-1191.
 42. KARAMI, O.; ESNA-ASHARI, M.; KARIMI, G.; AGHAVAISI, B. 2009. Agrobacterium-mediated genetic transformation of plants: the role of host. *Biol. Plant. (República Checa)*. 53(2):201-212.
 43. KOMORI, T.; IMAYAMA, T.; KATO, N.; ISHIDA, Y.; UEKI, J.; KOMARI, T. 2007. Current status of binary vectors and superbinary vectors. *Plant Physiol.* 145:1155-1160.
 44. KRASSOWSKA, W.; FILEV, P. 2007. Modeling electroporation in a single cell. *Biophys. J. (Estados Unidos)*. 92:404-417.
 45. LARIK, A.; AHMED SIDDIQUI, K.; AHMED SOOMRO, Z. 2004. Novel vistas of gene transfer to cereals. *Proc. Pakistan Acad. Sci.* 41(2):153-164.
 46. LIVERMORE, M. 2002. The role of modern biotechnology in developing country agriculture. *Brit. Nutr. Found. Nutr. Bull.* 27:47-50.
 47. LIU, Y.; YANG, H.; SAKANISHI, A. 2006. Ultrasound: Mechanical gene transfer into plant cells by sonoporation. *Biot. Adv.* 24:1-16.
 48. LUTSENKO, V. 2005. Nanostructural materials filamentary and tubular silicon carbide nanocrystals. *Powder Metal. Metal Ceram. (Holanda)*. 44:1-2.
 49. MARTÍNEZ, M.; CABRERA, J.; HERRERA, L. 2004. Las plantas transgénicas: una visión integral. *e-Gnosis Revista digital. Ciencia y Tecnología (Méjico)*. 2: Art 2. Disponible desde Internet en: www.e-gnosis.udg.mx (con acceso 08/10/2011).
 50. MEHIER-HUMBERTA, S.; BETTINGER, T.; YANB, F.; GU, R. 2005. Ultrasound-mediated gene delivery: Kinetics of plasmid internalization and gene expression. *J. Controlled Release. (Holanda)*. 104:203-211.
 51. MILLER, D.; PISLARU, S.; GREENLEAF, J. 2002. Sonoporation: Mechanical DNA delivery by ultrasonic cavitation. *Somatic Cell Mol. Genetics (Holanda)*. 27(1/6):115-134.
 52. MIZUNO, K.; TAKAHASHI, W.; BEPPU, T.; SHIMADA, T.; TANAKA, O. 2005. Aluminum borate whisker-mediated production of transgenic tobacco plants. *Plant Cell, Tissue Organ Cult. (Holanda)*. 80:163-169.
 53. MOHAN BABUA, R.; SAJEENAB, A.; SEETHARAMANB, K. 2003. Advances in genetically engineered (transgenic) plants in pest management an over view. *Crop Prot. (Holanda)*. 22:1071-1086.
 54. MOK, H.; PARK T. 2008. Direct plasmid DNA encapsulation within PLGA nanospheres by single oil-in-water emulsion method. *Eur. J. Pharmac. Biopharmac. (Holanda)*. 68:105-111.
 55. MORIGAKI, K.; WALDE, P. 2007. Fatty acid vesicles. *Curr. Opinion Colloid & Interf. Sci. (Holanda)*. 12:75-80.
 56. NIELSEN, CH.; ROBINSON, S.; TIERFELDER, K. 2001. Genetic engineering and trade: Panacea or dilemma for developing countries. *World Developm. (Holanda)*. 29 (8):1307-1304.
 57. PITZSCHKE, A.; HIRT, H. 2010. New insights into an old story: Agrobacterium induced tumour formation in plants by plant transformation. *The EMBO J. (Inglaterra)*. 29:1021-1032.
 58. RAO, A.; BAKHSH, A.; KIANI, S.; SHAHZAD, K.; SHAHID, A.; HUSNAIN, T.; RIAZUDDIN, S. 2009. The myth of plant transformation. *Biotechn. Adv.* 27:753-763.
 59. ROMMENS, C. 2004. All-native DNA transformation: a new approach to plant genetic engineering. *Trends Plant Sci.* 9(9):457-464.
 60. SHARMA, K.; SHARMA, H.; SEETHARAMA, N.; ORTIZ, R. 2002. Development and deployment of transgenic plants: biosafety considerations. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. (Holanda)*. 38:106-115.

61. SANFORD, J. 2000. The development of the biolistic process. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 36:303-308.
62. SATTAR SANTI, L.; HUANG, Z.; MASON, H. 2006. Virus-like particles production in green plants. *Methods (Holanda).* 40:66-76.
63. TAREK, M. 2005. Membrane electroporation: a molecular dynamics simulation. *Biophys. J. (Estados Unidos).* 88:4045-4053.
64. TAYLOR, N.; FAUQUET, C. 2002. Microparticle bombardment as a tool in plant science and agricultural biotechnology. *DNA and Cell Biology. (Estados Unidos).* 21(12):963-977.
65. TZFIRA, T.; CITOVSKY, V. 2002. Partners-in-infection: host proteins involved in the transformation of plant cells by *Agrobacterium*. *Trends Cell Biol. (Estados Unidos).* 12(3):121-129.
66. TZFIRA, T.; LI, J.; LACROIX, B.; CITOVSKY, V. 2004. *Agrobacterium* T-DNA integration: molecules and models. *Trends Genetics. (Estados Unidos).* 20(8):375-383.
67. VAIN, P. 2007. Thirty years of plant transformation technology development. *Plant Biotechn. J. (Estados Unidos).* 5:221-229.
68. VASIL, I. 2007. A short history of plant biotechnology. *Phytochem. Rev. (Holanda).* 7:387-394.
69. VALENTINE, L. 2003. *Agrobacterium tumefaciens* and the Plant: The David and Goliath of Modern Genetics. *Plant Physiol.* 33: 948-955.
70. VELUTHAMBI, K.; GUPTA, A.; SHARMA, A. 2003. The current status of plant transformation Technologies. *Current Sci. (India).* 84:368-380.
71. ZUPAN, J.; MUTH, T.; DRAPER, O.; ZAMBRYSKI, P. 2000. The transfer of DNA from *Agrobacterium tumefaciens* into plants: a feast of fundamental insights. *The Plant J.* 23(1):11-28.

Recibido: Septiembre 8 de 2011

Aceptado: Abril 13 de 2012

EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS CULTIVADAS: UNA REVISIÓN

EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON THE PHYSIOLOGY OF CROP PLANTS: A REVIEW

Alfredo Jarma Orozco¹; Carlos Cardona Ayala²; Hermes Araméndiz Tatis³

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

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 63 - 76, 2012

RESUMEN

Para analizar los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas es necesario considerar varios factores ambientales y su interacción con los procesos fisiológicos de las plantas. El objetivo de esta revisión fue presentar el conocimiento actual de las investigaciones relacionadas con los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas. Se han abordado los efectos del incremento de CO₂, temperatura, agua (déficit y exceso hídrico) y ozono, sobre el crecimiento y el desarrollo de varias especies cultivadas. El incremento de la temperatura generará problemas de erosión genética y conducirá a la extinción de muchas especies vegetales; las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas. La fotosíntesis neta, se incrementa progresivamente con el aumento del CO₂, en particular, en especies C₃, pero a altas temperaturas, se reduce por efecto del aumento en la fotorrespiración. La exposición al ozono (O₃) disminuye la difusión estomática, la tasa fotosintética, afecta la partición de asimilados y, en general, reduce el crecimiento de las plantas.

Palabras clave: Variabilidad climática, temperatura, dióxido de carbono, temperatura, agua, ozono.

SUMMARY

To analyze the effects of climate change on plant physiology is necessary to consider various environmental factors and

their interaction with physiological process. The objective of this review is to present the current knowledge of research related to climate change effects on plant physiology. This review covers the effects of increased CO₂, temperature, water (water deficit and excess water) and ozone on growth and development of various crop species. The temperature increase will generate problems of genetic erosion and lead to the extinction of many plant species, high temperatures can adversely affect photosynthesis, respiration, water relations and membrane stability, hormone regulation and secondary metabolism plants. Net photosynthesis increases gradually with the increase of CO₂, especially in C₃ species, but at high temperatures is reduced because of increased photorespiration. Exposure to ozone (O₃) reduces stomata diffusion, the photosynthetic rate, affects the partition of assimilates and generally reduces plant growth.

Key words: Climate variability, temperature, carbon dioxide, water, ozone.

INTRODUCCIÓN

Las variaciones climáticas globales han ocurrido de manera constante a lo largo de la historia de la tierra; sin embargo, en las últimas décadas, la acción del hombre ha rebasado la capacidad de cambio de los procesos naturales, transformando la atmósfera, la hidrosfera y la biósfera, con velocidades superiores a las que normalmente ocurrían. Las fluctuaciones en los elementos del clima (temperatura y precipitación) que se han presentado en los últimos años han sido objeto de diversos estudios, ya sea para su

monitoreo, su ocurrencia, su frecuencia, su duración, su prevención, su predicción y su impacto. Particularmente, en el sector agrícola existe un marcado interés en determinar las estrategias que algunas especies utilizan para mitigar los efectos adversos del cambio climático, especialmente, en la producción de alimentos (Hunt & Elliott, 2002; Lau *et al.* 2011).

El calentamiento global es un fenómeno complejo y sus impactos a gran escala son difíciles de predecir con certeza; no obstante, cada año los científicos tienen más información sobre la forma en que el calentamiento global está afectando al planeta y muchos de ellos concuerdan que es probable que algunas consecuencias ocurran si continúan las tendencias actuales. El bióxido de carbono y otros contaminantes del aire, se acumulan en la atmósfera formando una capa cada vez más gruesa, atrapando el calor del sol y causando el calentamiento del planeta (NRDC, 2008).

La actividad humana ha influenciado, en gran medida, el aumento considerable de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre (Oreskes, 2004). Desde la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, con la revolución industrial, se inició un periodo de altas emisiones que ha generado profundos cambios en la temperatura media mundial, afectando, finalmente, la circulación atmosférica y, en consecuencia, la variabilidad climática. Estos cambios han despertado un creciente interés por parte de investigadores, de climatólogos, de agricultores, entre otros, debido a sus implicaciones sobre la mayoría de las actividades desarrolladas por el hombre, en especial, en la agricultura. El aumento en la temperatura modifica las fases fenológicas de la planta y ciclos cortos de altas o bajas temperaturas pueden afectar yemas florales, floración, número de granos, peso de granos y, con ello, los rendimientos (Chmielewski & Rötzer, 2001; Chmielewski *et al.* 2004; McKeown *et al.* 2005).

Según el IDEAM (2009), el cambio en la periodicidad de los fenómenos El Niño – La Niña ha tenido un efecto importante en la cantidad y en la distribución de las lluvias, causando efectos negativos en la producción agrícola y pecuaria de amplias zonas continentales.

Las plantas cultivadas son sensibles a las variaciones del clima. Las temperaturas del aire cercanas al óptimo favorecen el crecimiento de la plantas, mientras que las bajas limitan de manera importante el crecimiento; temperaturas altas, de manera constante durante varios días, pueden ser muy perjudiciales, sobre todo si la humedad del suelo es baja. En las regiones semiáridas de África, donde se cultiva el maní, la frecuencia y la intensidad de las sequías han aumentado en los últimos 30 años (Hall *et al.* 2003), debido a los cambios

climáticos, como número de días con precipitación y cantidad de precipitación por día y a las actividades humanas (Van Duivenbooden *et al.* 2002; Wittig *et al.* 2007). Esto ha provocado un cambio a cultivos más tolerantes a la sequía, como el caupí (Van Duivenbooden *et al.* 2002). Otros factores ambientales que intervienen de manera importante sobre el comportamiento fisiológico de las plantas son la luz y la cantidad de agua disponible (Wahid *et al.* 2007).

Al considerar lo anterior y, sobre la base de la importancia de la agricultura en la seguridad alimentaria de los pueblos (Deep, 2003), principalmente en los más vulnerables (Roudier *et al.* 2011) y las implicaciones futuras que el cambio climático tendría sobre la productividad (Soto, 2009), se presenta esta revisión con los conocimientos actuales acerca de los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas, que cobra hoy más importancia ante el impacto negativo de este fenómeno en la agricultura (Nelson *et al.* 2009).

Variabilidad del clima: Esta característica, se refiere a las transiciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas, como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, en todos los niveles temporales y espaciales, que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad, se puede deber a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), a variaciones en el forzamiento externo natural (astronómico) u otros forzamientos externos, como el antropógeno (variabilidad externa producida por el ser humano). Éste último invita a intervenir con instrumentos colectivos que permitan reducir el impacto humano sobre la biósfera (Elizalde, 2009). En síntesis, una oscilación natural y recurrente en el clima en escalas intra e interanual, como lo es una época lluviosa o seca en el año ocasionada por el paso de la ZCIT (Zona de Confluencia Intertropical) o generadas por los eventos El Niño (calentamiento del océano pacífico ecuatorial, central y oriental) o La Niña (enfriamiento del océano pacífico ecuatorial, central y oriental) en diversos años, son considerados como eventos de variabilidad climática (IDEAM, 2009).

Cambio climático: Actualmente, en la comunidad científica existe conocimiento de los mecanismos y de los procesos de cambio climático a distintas escalas temporales en el clima global y, lo que posiblemente sucederá en el próximo siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos, clorofluorocarbonos y vapor de agua (Houghton, 1985).

El cambio climático es una variación estadísticamente significativa, ya sea de las condiciones climáticas medias o de su

variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado (generalmente, durante decenios o por más tiempo). “La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)”, en su Artículo uno, define el cambio climático como: “cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC hace pues, una distinción entre “variabilidad del clima”, atribuible a causas naturales y “cambio climático”, atribuible a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera, como por ejemplo, el calentamiento global (IPCC, 2004).

El calentamiento global. El calentamiento global es el aumento progresivo de la temperatura media del planeta a lo largo del tiempo, ocasionado por el incremento de concentraciones de gases de efecto invernadero, cuyas concentraciones se han incrementado considerablemente desde 1750 (Tabla 1).

El efecto invernadero. La tierra recibe energía del sol en forma de radiación electromagnética y la superficie terrestre recibe radiación ultravioleta (onda corta) y radiación visible y emite radiación terrestre en forma de radiación infrarroja (onda larga). Estos dos grandes flujos energéticos deben estar en balance, pero la presencia de gases de efecto invernadero en la atmósfera afecta la naturaleza de este balance (IDEAM, 2009).

El efecto invernadero, se origina porque la energía que llega del sol, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera con gran facilidad. La energía

remitida hacia el exterior desde la Tierra, al proceder de un cuerpo mucho más frío, está en forma de ondas de frecuencias más bajas y es absorbida por los gases con efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura sea más alta, aunque hay que entender bien que, al final, en condiciones normales, luego de aprovecharse parte en procesos biológicos y biofísicos, es igual la cantidad de energía que llega a la Tierra que la que esta emite. Si no fuera así, la temperatura de nuestro planeta habría ido aumentando continuamente, cosa que, por fortuna, no ha sucedido. Se podría decir, de una forma muy simplificada, que el efecto invernadero lo que hace es provocar que la energía que llega a la Tierra sea “devuelta” más lentamente, por lo que se “mantiene” más tiempo junto a la superficie y así eleva la temperatura (Echarri, 2011).

Los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos, vapor de agua) permiten que la radiación de onda corta solar penetre sin impedimento, pero absorben la mayor parte de la emisión de onda larga terrestre. Por ello, la temperatura global promedio es de 14°C (57°F), pero podría ser tan baja como -18°C (-0,4°F), es decir, 32° más alto que si no tuviera atmósfera gaseosa. Este efecto se llama el “Efecto Invernadero” (GCCIP, 1997).

Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura planetaria entre 1,5 y 4,5°C. Como respuesta a esto, se estima que los patrones de precipitación global, también se alteren. Aunque existe un acuerdo general sobre estas conclusiones, existe una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y a las tasas de estos cambios a escalas regionales (EEI, 1997).

Tabla 1. Resumen de la variación en el contenido atmosférico de gases de efecto invernadero (Cambio Climático Global, 1997).

Gas Invernadero	Concentración 1750	Concentración 1992	Fuerza Irradiativa (W/m ²)
Dióxido de Carbono	280 ppmv	355 ppmv	1,56
Metano	0,8 ppmv	1,72 ppmv	0,5
Óxido Nitroso	275 ppbv	310 ppbv	0,1
CFC-11	0	280 pptv	(siguiente)
CFC-12	0	484 pptv	0,3 (todos los CFCs)
HCFCs/HFCs	0	Sin datos	0,05
Ozono Troposférico	Sin datos	Variable	0,2 – 0,6
Ozono Estratosférico	Sin datos	300 unidad dobson	-0,1

Un panel de 2500 científicos de primera línea (IPCC, 2001) estuvo de acuerdo en que « ya se puede detectar un cambio discernible de influencia humana sobre el clima global entre las muchas variables naturales del clima». Según el panel, la temperatura de la superficie terrestre ha aumentado, aproximadamente, 0,6°C, en el último siglo.

Consecuencias del cambio climático. De acuerdo con IPCC (2001, 2007), una duplicación de los gases de invernadero incrementaría la temperatura terrestre entre 1 y 4,5°C. Aunque no parezca mucho es equivalente a volver a la última glaciación, pero en la dirección inversa. Por otro lado, el aumento de temperatura sería el más rápido en los últimos cien mil años, haciendo muy difícil que los ecosistemas del mundo se adapten (Watson, 2001).

Por otra parte, el aumento progresivo de la temperatura en la superficie terrestre ya ha mostrado sus efectos sobre la variabilidad climática, haciéndose cada vez más frecuentes y extremos los eventos meteorológicos y climáticos en el planeta (McGao, 2001). Otras corrientes científicas afirman que el llamado cambio climático es un periodo de transición de la tierra (ciclo o proceso natural del planeta), que puede durar miles o millones de años y que sin querer o no, tendría que suceder, restándole importancia al tema. Estos autores basan sus afirmaciones sobre la tesis que, en la actualidad, no hay una teoría concreta sobre la existencia y la comprobación de un cambio climático global (Stainforth *et al.* 2005; Svensmark, 2007; Schnellhuber, 2008).

Las fluctuaciones climáticas que se han venido registrando en diversas regiones de la tierra son objeto de estudio y preocupación, debido, principalmente, a su impacto en la producción de alimentos (Nelson *et al.* 2009). Hoy día, los agricultores presencian anomalías climáticas más intensas que las experimentadas años atrás; así, por ejemplo, algunos estudios prospectivos sobre el clima han estimado que la producción de café podría disminuir en un 30%, para 2020 y hasta en un 70%, para el 2050 (Gay & Conde, 2004). Las variaciones de los ciclos del clima, con respecto a la normal, se traducen en pérdidas de cultivo (Jiménez *et al.* 2004). Por otra parte, el estrés por calor, debido al incremento de la temperatura, constituye un problema para la agricultura en muchas áreas del mundo.

Hay consenso en que el cambio climático, unido al incremento de la población, constituye una amenaza para la seguridad alimentaria en todas partes (Nelson *et al.* 2009). La agricultura es muy vulnerable al cambio climático, en particular, por los efectos del aumento de la temperatura en la germinación de las semillas de algunas especies (Carter & Vavrina, 2001), causando desplazamientos de cultivos de áreas tropicales a zonas que antes eran frías o de áreas tem-

pladas a zonas más frías (Jarvis *et al.* 2008), que terminará por reducir la producción y la calidad de los cultivos (Challinor *et al.* 2007; Tubiello *et al.* 2007b), a la vez, que provoca la proliferación de malas hierbas, artrópodos plaga y enfermedades. Los cambios en el régimen de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo (Nelson *et al.* 2009).

Cambio climático y fisiología de las plantas: El clima es uno de los principales factores que regulan la distribución de las especies de plantas, ya sea directamente, a través de limitaciones fisiológicas en el crecimiento y la reproducción o, indirectamente, por medio de los factores ecológicos, como la competencia por recursos (Shao & Halpin, 1995). Diversos estudios destacan que el cambio climático registrado en los últimos 30 años ha tenido un impacto en la distribución, abundancia, fenología y fisiología de muchas especies (Osborn & Briffa, 2005; Jarvis *et al.* 2008). Se presume que el incremento en la temperatura será entre 1,1 y 6,4°C, para 2100 (IPCC, 2007), lo que de acuerdo con Thomas *et al.* (2004) y Jarvis *et al.* (2008) conducirá a la extinción de algunas especies del género *Vigna* (*V. longifolia* y *V. keraudrenii*) y reducción del 63 al 100% en el área de otras especies de este género. Por lo tanto, se generarán problemas de erosión genética, dificultando a futuro la solución de problemas limitantes de la producción agrícola. El mismo autor reporta importantes reducciones en los géneros *Arachis* y *Solanum*.

Se necesitan, entonces, cultivos y ganaderías que tengan éxito razonable en una gama relativamente amplia de condiciones de producción, en lugar de los que puedan tener en un conjunto limitado de condiciones climáticas (Nelson *et al.* 2009).

Para analizar los efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas es necesario considerar varios componentes ambientales, que actúan de manera conjunta e interactiva sobre la expresión del vegetal. Por tal motivo y considerando que la mayoría de los estudios se refieren a los efectos individuales de las variables ambientales, se abordará la discusión desde el ángulo de cada factor, sin descuidar que la acción de éstos en la naturaleza se da en forma conjunta. Se discutirán los efectos de las variaciones ambientales relacionadas con los cambios en los niveles de CO₂, temperatura, agua y ozono y sus interacciones sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Efecto de la temperatura sobre la fisiología de las plantas.

De manera transitoria o constante, el estrés por calor causa cambios morfo-anatómicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que afectan su crecimiento y su desarrollo y puede conducir a una drástica reducción del rendimiento

económico de las plantas cultivadas (Wahid *et al.* 2007). El aumento de la temperatura más allá del límite de tolerancia por un período de tiempo determinado causa daños irreversibles, a nivel celular, en cuestión de minutos (Schöffl *et al.* 1999), conduciendo a un colapso en la organización celular que incide en el crecimiento y en el desarrollo de plantas.

Este aumento de la temperatura hace que las zonas tropicales y subtropicales se conviertan, ante el cambio climático, en áreas limitantes para la producción de cultivos (Wahid *et al.* 2007) y amerita explorar e identificar, en la variabilidad genética existente, plantas con buenos atributos agronómicos, minerales y de adaptación a la nueva oferta ambiental. En tomate, temperaturas superiores a 34°C, en regiones tropicales y subtropicales, cuando están asociadas con precipitaciones por encima de lo normal, conducen a bajas en los rendimientos, debido a la poca formación de flores, de gametos, de polinización, de fertilización y de desbalance de carbohidratos, así como el surgimiento de problemas fitosanitarios, por la aparición de marchitez bacteriana (Silva *et al.* 2000; Hanson *et al.* 2002). De igual manera, Craufurd *et al.* (2003), bajo condiciones controladas, evaluaron la sensibilidad de 22 cultivares de maní a temperaturas altas en floración, logrando identificar seis genotipos tolerantes y señalan que los estudios de modelación son de gran valor para identificar recursos genéticos asociados con tolerancia a altas temperaturas; por lo que la adaptación genotípica a los cambios en las temperaturas medias y extremas es relevante en la predicción de rendimientos (Challinor *et al.* 2007).

La germinación de semillas, se puede ver afectada por altas temperaturas (>35°C), como sucede en tomate, en ají, en apio, en lechuga y en espinaca, lo cual, es conocido como termo-inhibición; sin embargo, la termo-tolerancia puede diferir entre cultivares de una misma especie, a causa del grado de actividad de la endo- β -mannanase en la semillas (Nascimento *et al.* 2000; Carter & Vavrina, 2001).

El estrés por calor afecta el crecimiento de las plantas desde el principio de su ontogenia, aunque los efectos varían según la etapa de desarrollo. Las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación de las semillas, dependiendo de las especies y de la intensidad del estrés; en etapas de desarrollo posteriores, las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, así como los niveles de hormonas y de metabolitos secundarios. Además, la respuesta al estrés por calor está constituida por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), de proteínas de choque térmico y otras proteínas relacionadas con el estrés que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas (Wahid *et al.* 2007).

En particular, en el algodónero (*Gossypium hirsutum*), se han realizado innumerables trabajos, con el propósito de evaluar los efectos de las temperaturas sobre su desarrollo fisiológico (Feller *et al.* 1998). Estos autores encontraron que la enzima Rubisco sufrió inhibición reversible a temperaturas superiores a 35°C y menores o iguales a 40°C, pero a temperaturas mayores, la inhibición fue irreversible.

Algunos autores han ubicado a la Rubisco en ambientes con temperaturas altas y sugieren que su capacidad está, en principio, controlada por la tasa de fotosíntesis de especies con metabolismo C_4 a bajas temperaturas (Kubien *et al.* 2003). Con base en sus resultados, estos autores proponen que la falta de éxito de las plantas C_4 en climas fríos refleja una limitación impuesta por tener menos Rubisco que las C_3 , con las que compiten. Se puede pensar que ante los incrementos de temperatura, debido al cambio climático, aquellas especies C_3 con menos Rubisco serán más susceptibles de desaparecer.

Reddy & Pachepsky (2002) encontraron en el algodónero que a temperaturas mayores de 25°C, la tasa de aparición de nudos y de elongación del tallo fue 40% más lenta, en tanto que la duración de expansión del tallo fue 23% más alta. Otros trabajos han demostrado que a bajas temperaturas (20°C), se induce resistencia al frío y a los cambios en la composición de los ácidos grasos, mientras que a temperaturas altas (40°C), se induce resistencia al calor y no se presenta alteración en la composición de los ácidos grasos (Rikin *et al.* 1993).

En otras especies, como el pasto de invierno, *Poa annua*, algunos investigadores han encontrado reducción de la materia seca con un aumento de 4°C. Esto demuestra que la respuesta de los cultivos a los cambios de temperatura depende de la temperatura óptima de la fotosíntesis (Conroy *et al.* 1994). Cuando la temperatura está por debajo del óptimo para la fotosíntesis, un pequeño incremento puede estimular significativamente el crecimiento del cultivo (Wayne, 2002). A partir del valor óptimo de temperatura relacionado con el máximo rendimiento, un pequeño incremento puede reducir dramáticamente el mismo. La respuesta del cultivo a los incrementos en la temperatura también depende de la interacción con el aumento en la concentración de CO_2 . Altas temperaturas reducen las ganancias netas de carbono en especies C_3 por incrementos en la fotorrespiración (Wayne, 2002).

Estudios de modelación realizados por Schlenker & Lobell (2010) para diferentes regiones de África, donde evaluaron el impacto de los cambios de temperatura y de precipitación sobre el rendimiento, señalan que si las lluvias permanecen constantes, el rendimiento de los cultivos se reduce en un

15,0%, en razón a que las altas temperaturas afectan el ciclo de los cultivos e incrementa el estrés hídrico, por la elevada evapotranspiración. En tanto, que el cambio en el régimen de precipitaciones puede agravar más la situación ante variaciones en la temperatura, dado que el aumento o reducción de las precipitaciones afecta los rendimientos entre -10,0% y -21,0%, lo cual, concuerda con lo expresado por Izaurralde *et al.* (2003), quienes resaltan que la precipitación es el principal factor que afecta el rendimiento de los cultivos, ya que puede conducir a una reducción de biomasa.

Efecto de la radiación, la temperatura y la precipitación en las plantas. Los efectos del cambio climático sobre el rendimiento de los cultivos normalmente se presentan de manera independiente y la gran mayoría de los estudios consideran el efecto positivo y negativo del CO₂. Hansen *et al.* (2002) y Mera *et al.* (2006) consideran que el estudio debe ser integral involucrando aspectos relacionados con el cambio climático: radiación, precipitación y temperatura, a fin de evaluar el impacto del cambio climático más allá del aumento del CO₂ en la producción agrícola.

Mera *et al.* (2006), en un estudio de modelación, considerando la interacción de la radiación, temperatura y precipitación, en maíz y en soya, reportaron que el análisis simultáneo no coincide con los efectos individuales, especialmente, con la temperatura, donde el maíz resultó menos sensible que la soya. Los tres factores presentan un efecto no lineal sobre el rendimiento. Así mismo, la interacción de los tres factores puede reducir o alargar el ciclo de las plantas y dificulta el entendimiento de aspectos relacionados con la floración, llenado de grano y época de siembra; no obstante, la interacción radiación – precipitación contribuye significativamente al crecimiento de las plantas.

Efecto del CO₂. Los trabajos realizados con el propósito de evaluar el efecto de niveles altos de CO₂ sobre el cultivo del algodón y de otras especies han sido numerosos y variados. La problemática se ha abordado desde el punto de vista genético, hormonal, de eficiencia fisiológica. Por ejemplo, la NASA –National Aeronautics and Space Administration, en 2001, informó que luego de un estudio desarrollado en el Sureste de Estados Unidos, que incluyó el norte de Florida, Georgia, Carolina del Norte, Carolina del Sur, Alabama, Mississippi, Louisiana, Arkansas y parte de Tennessee, los modelos utilizados predijeron incrementos en la producción del cultivo hasta de un 36%, a gran escala, cuando los niveles de CO₂ se duplicaron; sin embargo, estos estudios no consideraron factores ambientales adicionales, que interactúan ante un eventual aumento del CO₂.

Parry *et al.* (2004) y Mera *et al.* (2006) sostienen que la respuesta relativa de las plantas C₄ a las altas concentraciones

de CO₂ es pequeña comparada con las C₃, dado el grado de saturación que se presenta en las C₄; sin embargo, en un análisis a largo plazo, esto no siempre es verdadero para algunas especies silvestres C₄ y las diferencias en respuesta al CO₂ no son tan grandes (Stock *et al.* 2005). A este respecto, Ghannoum *et al.* (2000) y Kim *et al.* (2007) señalan que esto es verdaderamente cierto para el crecimiento, bajo condiciones ambientales no estresantes.

Yong *et al.* (2000) reportaron que altos niveles de CO₂ incrementaron, significativamente, los contenidos de citoquininas en las hojas del algodón con bajo contenido de nitrógeno (hojas viejas), mientras que en tejido foliar en crecimiento activo, el nivel de estas hormonas no varió al cambiar las concentraciones de CO₂ ambiental.

Brunele *et al.* (2009) hallaron en tomate (*Lycopersicon esculentum*) que al enriquecer de manera intermitente la atmósfera con CO₂, a concentraciones que fluctuaron entre 600 y 750 ppm, no se afectó la materia seca total de dos cultivos probados y apenas alteró, ligeramente, la distribución de masa seca de tallo en una de las variedades; en general, se observó una pequeña respuesta fisiológica de las plantas, con el enriquecimiento intermitente de CO₂.

Tal vez esta respuesta obedece al hecho que el enriquecimiento con CO₂ no fue constante, como lo anotan Calvert & Slack (1975), quienes afirman que lo ideal es que las plantas de tomate estén sometidas durante todos los días a altas concentraciones de CO₂, con lo cual, se obtiene una mejor respuesta fisiológica.

Efecto del CO₂ y la temperatura sobre el desarrollo de las plantas. Lu (2005) evaluó un modelo denominado GOSSYM, que examina el impacto de los cambios de estas dos variables sobre el rendimiento y el requerimiento hídrico del algodón. El autor evaluó varios sitios productores y, aunque las respuestas son específicas para cada sitio, algunas tendencias generales indican que cuando la temperatura aumenta la producción declina y los requerimientos hídricos aumentan, por lo que los ingresos netos disminuyen. Por otro lado, cuando el nivel de CO₂ se incrementa, la producción mejora, las necesidades de riego disminuyen y los ingresos netos aumentan. El impacto relativo de cambio de clima en la rentabilidad también varía entre las regiones, debido a las diferencias en los costos de producción (Nelson *et al.* 2009), especialmente, en el caso del agua.

En un trabajo realizado por Reddy & Hodges (2005), bajo condiciones controladas, se evaluó el efecto de la variación de temperatura, CO₂ y estado hídrico de las plantas. Los autores concluyeron varios aspectos importantes, tales como: a) la fotosíntesis neta fue menor bajo temperaturas

mayores y menores que la óptima para el cultivo del algodón; este resultado se obtuvo sometiendo las plantas estudiadas a dos ambientes de CO₂ y cinco temperaturas diferentes; b) a mayor temperatura se encontró una tasa mayor de abscisión de las cápsulas florales, tres a cinco días antes de la antesis; c) la doble concentración de CO₂ indujo un incremento de la eficiencia fotosintética, debido a la intercepción de mayor luz en el dosel y, d) no hubo interacción significativa entre la respuesta fotosintética de plantas germinadas a alta y baja concentración de CO₂ y condiciones de deficiencia hídrica. En ambos ambientes, las plantas disminuyeron sus tasas fotosintéticas cerca de un 43% al mediodía, cuando su potencial hídrico descendía de - 1,2 MPa a -3,0 MPa.

Efectos del déficit y el exceso hídrico sobre la fisiología de las plantas. La tolerancia a la sequía es definida como la capacidad de las plantas de vivir, de crecer y de obtener rendimientos satisfactorios bajo condiciones limitadas de agua en el suelo o en un período de estrés hídrico (Ashley, 1993) y los mecanismos que usan las plantas para hacer frente a la sequía, se agrupan en tres categorías, de acuerdo con Mitra (2001): escape, evitación y tolerancia; no obstante, las plantas pueden usar más de un mecanismo a la vez, para enfrentar la sequía.

Escape es la capacidad de la planta de completar su ciclo de vida antes que las condiciones de suelo presenten un déficit de agua, lo que implica un rápido desarrollo fenológico de la planta, plasticidad durante el período de desarrollo y removilización de asimilados, pero trae como consecuencia una reducción en los rendimientos, con respecto a las plantas de ciclo normal (Agbicodo *et al.* 2009).

Evitación, corresponde a la capacidad de las plantas de mantener las hojas turgentes, a pesar de la escasez de agua en el suelo, lo cual, se explica por una mayor profundidad de las raíces o un sistema de raíces eficiente en la absorción del agua, cierre de estomas, disminución de la absorción de la radiación o evapotranspiración por cierre de las hojas y reducida área foliar; ello repercute en una disminución en la asimilación de carbono, debido a la reducción de la transferencia física de moléculas de dióxido de carbono y el aumento de la temperatura foliar que favorece la reducción de los procesos bioquímicos y, por consiguiente, los rendimientos (Mitra, 2001).

El mecanismo de tolerancia implica que las plantas pueden resistir el déficit de agua en el suelo y se explica por el mantenimiento de la turgencia, a través de un ajuste osmótico, que implica acumulación de solutos en la célula, aumento de la elasticidad de las células, reducción del tamaño de las células y resistencia protoplasmática; sin embargo, se puede presentar una gran acumulación de iones por la pérdida

de agua que, en altas concentraciones, se denomina estado vítreo, pudiendo causar desnaturalización de las proteínas y las membranas, ya que se incrementa la interacción entre moléculas (Agbicodo *et al.* 2009).

Durante la deshidratación, como consecuencia del estrés hídrico, se produce un incremento de las especies reactivas de oxígeno (ROS) (oxígeno singlete, radicales hidroxilo, peróxido de hidrógeno y aniones superóxido), en su mayoría en los cloroplastos y su efecto consiste en inhibir la reparación del daño al fotosistema II y la síntesis de la proteína D1 (Sunkar, 2010). Por otro lado, la sequía induce disminución de la actividad fotosintéticas estomatal y no estomatal e incremento en la actividad de las enzimas antioxidativas superóxido-dismutasa SOD, catalasa CAT, ascorbato-peroxidasa APX, glutatión-reductasa, además del aldehído malónico MDA, que contribuyen a la supervivencia bajo condiciones de sequía (Pompelli *et al.* 2010).

Reddy *et al.* (1997) observaron que las plantas de algodón que crecieron en condiciones deficientes de agua, en cámaras de ambiente controlado, disminuyeron sus tasas de fotosíntesis. Por otra parte, Ephrath *et al.* (2001) señalaron que el crecimiento de la raíz de algodón aumentó en plantas con estrés hídrico, comparado con los tratamientos con buen riego. El potencial hídrico en la hoja fue superior en el tratamiento con altos niveles de CO₂, tanto en condiciones bien hidratadas como en condiciones de déficit hídrico.

Por otra parte, bajo condiciones de inundación, las tasas de asimilación de CO₂ disminuyen drásticamente en especies sensibles a anoxia, como respuesta a este tipo de estrés; sin embargo, en especies tolerantes a inundación, como el álamo gris (*Populus salba x Populus tremula*), no resultan alteradas; incluso, después de una semana de hipoxia, el suministro de carbono reducido en forma de etanol, a través de la corriente de transpiración, se mantuvo alto (Kreuzwieser *et al.* 2009).

Efecto del CO₂ sobre la transpiración y uso del agua por las plantas. La transpiración de los cultivos no responde tanto al incremento del CO₂, como se ha predicho en mediciones foliares. El cierre estomático parcial reduce la tasa de transpiración y el flujo de calor latente, con aumento en la temperatura de la hoja; el resultado es un incremento en el gradiente que controla la pérdida de agua, lo cual, tiende a contrarrestar los efectos de cierre estomatal sobre la transpiración. Las altas temperaturas en el dosel y las reducciones en la transpiración son otra forma de retroalimentación del control estomatal de la transpiración. El déficit de presión de vapor del aire dentro e inmediatamente por encima de la vegetación, depende parcialmente de la transpiración. En la medida en que sea más lenta, tiende a secar el aire en los

estratos del límite del dosel, con incremento del gradiente de presión de vapor (Wayne, 2002).

El agua es la variable crucial que más afecta la producción de algodón. Varios factores afectan el grado, en el cual, una reducción en la transpiración cambia la eficiencia en el uso de agua por unidad de área foliar. Si se considera que niveles elevados de CO₂ causan cierre parcial de estomas es de esperarse un aumento de la temperatura de la hoja, al reducirse la termorregulación. La temperatura aumentada en el follaje incrementa la presión parcial de vapor de agua dentro de las hojas y aumenta la transpiración de la hoja. Al mismo tiempo, el aumento del crecimiento ante estímulos de CO₂ altos ocasiona plantas con mayor área foliar, lo cual, tiende a aumentar la transpiración de la planta entera.

La temperatura del aire también afecta la tasa de transpiración. La tasa de transpiración de hojas individuales interactúa fuertemente con el CO₂ y la temperatura, ya que se incrementó linealmente cuando la temperatura aumentó de 26 a 36°C (Reddy *et al.* 1998). A pesar de lo anterior, los autores recomiendan evitar extrapolar los efectos del CO₂ sobre el dosel de las plantas, a partir de valores de hojas individuales.

Al nivel de la hoja, la eficiencia instantánea en el uso del agua o la eficiencia de transpiración (ET) puede ser definida como la relación entre la tasa de fotosíntesis neta o tasa de asimilación (A) y la transpiración (E) (Wayne, 2002). El valor de A en la hoja exhibe un típico incremento curvilíneo con el aumento del CO₂, que continúa con altas concentraciones de este gas en especies con metabolismo C₃ y C₄ (Pearcy & Ehleringer 1984). El metabolismo C₄ concentra el CO₂ en el sitio de fijación de la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco), indicando que la fotosíntesis en C₄ es relativamente insensible a los incrementos internos de CO₂ por encima de la concentración actual. Las altas temperaturas, por el contrario, reducen la fotosíntesis neta en plantas C₃, debido al incremento en las pérdidas de carbono, que ocurre en el proceso de fotorrespiración (Wayne, 2002).

Efecto de la variación de CO₂ y la nutrición mineral sobre el desarrollo de las plantas. Al relacionar el efecto de la variación del CO₂ y la nutrición del algodónero, Reddy *et al.* (1997) indican que, si la planta presenta un estrés por deficiencias de agua, nitrógeno o potasio, la interacción de éste con el efecto del CO₂ sobre la fotosíntesis es casi nula; sin embargo, los autores encontraron que la fotosíntesis declinó rápidamente durante el período de llenado de frutos cuando el nitrógeno fue deficiente, pero cuando los niveles de éste fueron adecuados la tasa de fotosíntesis del dosel, se mantuvo por encima del 50% al aumentar en dos veces el CO₂, respecto a la misma situación con una condición de CO₂ ambiental. Los autores informan, además, que la deficiencia

de potasio causó una disminución entre 6,8% y 9,1% en la tasa de fotosíntesis en ambientes normales y duplicados de CO₂, respectivamente. Por otra parte, la fotosíntesis fue casi nula en la planta cuando creció con una concentración de potasio, extremadamente baja.

Los estudios sobre el efecto de la fertilización con y sin CO₂ sobre el rendimiento de los principales cultivos han registrado resultados contradictorios en los modelos utilizados por Müller *et al.* (2010). Al respecto, reportaron incrementos del 22% y decrecimientos del 13%, argumentando que el aumento en el rendimiento está en función de un aumento en la tasa de asimilación de carbono así como en el uso eficiente del agua, según Tubiello *et al.* (2007a) Pero el incremento es incierto, ya que para ser aprovechable el carbono por el órgano de interés debe existir un suministro de nutrientes de acuerdo a su demanda.

Por otro lado, la elevada fertilización con CO₂ puede afectar la calidad nutricional, por una reducción del contenido de proteína (Taub *et al.* 2008) o la susceptibilidad a malezas, enfermedades e insectos (Bale *et al.* 2002; Dermody *et al.* 2008; Zavala *et al.* 2008; Olesen *et al.* 2011).

Parry *et al.* (2004) y Roudier *et al.* (2011) reportaron en sus simulaciones relacionadas con el efecto de la fertilización, con y sin CO₂, resultados contrastantes con respecto a Müller *et al.* (2010), entre los años 2020 y 2080, anotando Roudier *et al.* (2011), que ello depende del tipo de cultivo, horizonte de tiempo y escenario de emisiones.

Efecto del ozono sobre el desarrollo de las plantas. Numerosos estudios han demostrado que el ozono (O₃) reduce el crecimiento de las plantas y cambia la partición de los asimilados. El patrón de dichos cambios varía con las especies, pero tiende a sugerirse un modelo general. El O₃, generalmente, reduce la cantidad de materia seca en toda la planta.

Cooley & Manning (1987) indican que este gas puede reducir el número de flores o semillas, pero éstas con frecuencia tienen una acumulación total de materia seca, comparable a las de plantas que no han sido sometidas al mismo estrés. A niveles altos de O₃, la acumulación de asimilados se reduce considerablemente; no obstante, es significativo que los órganos de almacenamiento, aquellos que suministran energía para el nuevo crecimiento en plantas perennes, como los árboles, son los más afectados por los cambios en la partición de asimilados inducida por el ozono, cuando sus concentraciones están en un rango que es común en ambientes contaminados.

Grantz & Yang (1996) evaluaron el efecto del O₃ sobre la arquitectura hidráulica en algodones Pima, resaltando que

altos niveles de O_3 reducen la eficiencia hidráulica radical en todas las plantas, con disminución de intercambio de gases y producción de biomasa. Por su parte, Grantz *et al.* (2003) también reportan una disminución en la actividad de la fuente. Así mismo, Grantz & Farrar (1999) encontraron que el volumen de los carbohidratos transportados desde las hojas fuente se redujo por efectos del ozono, tanto en la asimilación como en el flujo, con un impacto directo sobre la translocación, a través del floema. Este rápido flujo cinético, probablemente, se refleja en un daño oxidativo al plasmalema o plasmodesmos del mesófilo o a células acompañantes del floema.

En otras especies, como calabaza, Castagna *et al.* (2001) reportaron que en hojas jóvenes y maduras, el O_3 indujo una disminución significativa en la tasa fotosintética por impactos sobre las estomas y la fotoquímica. Por otro lado, en hojas de *Phaseolus vulgaris* var. Pinto, expuestas a 0, 10 ppm (196 micra g/m^3) de ozono a 15, 24 y 32°C, el desarrollo del daño foliar fue de 25,3 y 24%, respectivamente. La conductancia estomática de hojas expuestas y no expuestas fue menor en la condición de 15°C, intermedia a 24°C y mayor al crecer a 32°C. La exposición al ozono redujo significativamente la difusión estomática en la condición de 32°C, pero no a 24 o 15°C (Miller & Davis, 1981).

De lo expuesto en esta revisión, se concluye que el cambio climático registrado en los últimos 30 años ha tenido un impacto en la distribución, la abundancia, la fenología y la fisiología de muchas especies y se presume un incremento en la temperatura de 1,1 a 6,4°C, para 2100, con consecuencias de erosión genética, extinción de muchas especies vegetales e inseguridad alimentaria.

El estrés por calor causa cambios morfo-anatómicos, fisiológicos y bioquímicos en las plantas, que afectan su crecimiento y su desarrollo y pueden conducir a una drástica reducción del rendimiento económico de las plantas cultivadas.

Las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación de polen, de semillas y afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas, la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y, en general, el metabolismo de las plantas.

El estrés hídrico conduce a un incremento de las especies reactivas de oxígeno (ROS) (oxígeno singlete, radicales hidroxilo, peróxido de hidrógeno y aniones superóxidos), que causan daños al sistema fotosintético de las plantas y, simultáneamente, se produce un incremento en la actividad de las enzimas antioxidativas super-óxido-dismutasa SOD, catalasa CAT, ascorbato-peroxidasa APX, glutatión-reductasa, además del aldehído malónico MDA, que contribuyen a la

disminución de los daños para la supervivencia, bajo tales condiciones.

La inundación induce disminución de la tasas de asimilación de CO_2 , sobre todo en especies sensibles a anoxia, con disminución del suministro de carbono reducido en forma de etanol en la corriente de transpiración.

La exposición al ozono (O_3) reduce la difusión estomática, la tasa fotosintética y afecta la partición de asimilados y, en general, reduce el crecimiento de las plantas.

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

BIBLIOGRAFÍA

1. AGBICODO, E.M.; FATOKUN, C.A.; MURANAKA, S.; VISSER, R.G.F.; LINDEN VAN DER, C.G. 2009. Breeding drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica* (Holanda). 167(3):353-370.
2. ASHLEY, J. 1993. Drought and crop adaptation. In: Rowland, J.R.J. (ed) *Dryland farming in Africa*. Macmillan Press Ltd, UK. p.46-67.
3. BALE, J.S.; MASTERS, G.J.; HODKINSON, I.D.; AW-MACK, C.; BEZEMER, T.M.; BROWN, V.K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J.C.; FARRAR, J.; GOOD, J.E.G.; HARRINGTON, R.; HARLEY, S.; JONES, T.H.; LINDROTH, R.L.; PRESS, M.C.; SYM-RNIOUDIS, I.; WATT, A.D.; WHITTAKER, J.B. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biol.* (Inglaterra). 8(1):1-16.
4. BRUNELE, F.; DA SILVA, D.; PEDROSA, D.; CARDOSO, T.; PUGNAL, A. 2009. Enriquecimiento intermitente de CO_2 e análise do acúmulo de massa seca e da partição de fotoasimilados em tomateiro. *Acta Agr.* (Colombia). 58(3):133-139.
5. CALVERT, A.; SLACK, G. 1975. Effects of Carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. Responses to controlled concentrations. *Hort. Sci.* (Estados Unidos). 50(1):61-71.
6. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL.COM. 1997. Lista resumen sobre gases invernadero. Disponible desde

- Internet en <http://www.cambioclimaticoglobal.com/gasesinv> (con acceso 26/03/2011).
7. CARTER, A.K.; VAVRINA, CH. S. 2001. High Temperature inhibits germination of jalapeño and cayenne Pepper. Hort. Sci. 36(4):724-725.
 8. CASTAGNA, A.; NALI, S.; CIOMPI, G.; LORENZINI, G.; SOLDATINI, F.; RANIERI, A. 2001. Ozone exposure affects photosynthesis of pumpkin (*Cucurbita pepo*) plants. New Phytologist (Inglaterra). 152(2):223-229.
 9. CONROY, J.P.; SENEWEERA, S.; BASRA, A.S.; ROGERSAND, G.; NISSEN, B. 1994. Influence of rising atmospheric CO₂ concentrations and temperature on growth, yield and grain quality of cereal crops. Aus. J. Plant Physiol. 21(6):741-758.
 10. COOLEY, D.; MANNING, W.J. 1987. The impact of ozone on assimilate partitioning in plants: A review. Environm. Poll. (Estados Unidos). 47(2):95-113.
 11. CRAUFURD, P.Q.; PRASAD, P.V.V.; KAKANI, V.G.; WHEELER, T.R.; NIGAM, S.N. 2003. Heat tolerance in groundnut. Field Crops Res. (Estados Unidos). 80(1):63-77.
 12. CHALLINOR, A.J.; WHEELER, T.R.; CRAUFURD, P.Q.; FERRO, C.A.T.; STEPHENSON, D.B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. Agr., Ecosyst. Environm. (Estados Unidos). 119(1-2):190-204.
 13. CHMIELEWSKI, F.M.; RÖTZER, T. 2001. Response of tree phenology to climate change across. Europ. Agr. Forest Meteorology (Canadá). 108(1):101-112.
 14. CHMIELEWSKI, F.M.; MÜLLER, A.; BRUNS, E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. Agr. Forest Met. 121(1):69-78.
 15. DEEP, F. 2003. Enfoques conceptuales y sistemas de información sobre seguridad alimentaria. Ponencia realizada para el seminario de políticas de seguridad alimentaria y nutrición en América Latina. FODEPAL, Campinas (Brasil), 13p.
 16. DERMODY, O.; O'NEILL, B.F.; ZANGERL, A.R.; BERENBAUM, M.R.; DELÚCIA, E.H. 2008. Effects of elevated CO₂ and O₃ on leaf damage and insect abundance in a soybean agroecosystem. Arthropod-Plant Interactions (Finlandia). 2(3):125-135.
 17. ECHARRI, P.L. 2011. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Libro electrónico. 2011. Disponible desde Internet en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/> (con acceso 26/03/11).
 18. EEI (Estación Espacial Internacional). 1997. La convención marco sobre cambio climático Introducción. Disponible desde Internet en: <http://www.cambioclimaticoglobal.com> (con acceso 24/03/11).
 19. ELIZALDE, A. 2009. ¿Qué desarrollo puede llamarse sostenible en el siglo XXI? Universidad Bolivariana Santiago de Chile. Revista de Educación. Número extraordinario. p.53-75. Disponible desde Internet en: www.revistaeducacion.mec.es. (con acceso 26/07/2011).
 20. EPHRATH, J.; TIMLIN, D.J.; BAKER, J.T.; REDDY, V. 2001. Effects of elevated CO₂ concentration and water stress on the root to shoot ratio of cotton. Abstract of ASA-CSSA-SSSA International Annual Meeting. Disponible desde Internet en: <http://cottondb.org/cgi-bin/ace/tree/cottondb?name=ACS-2001-c02-ephrath080054-P&class=Reference> (con acceso 26/07/2011).
 21. FELLER, U.; CRAFTS-BRANDNER, S.; SALVICCI, Y.M. 1998. Moderately high temperatures inhibit ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco) activase-mediated activation of Rubisco. Plant Physiol. (Estados Unidos). 116(2):539-546.
 22. GAY, C.; CONDE, C. 2004. El cambio climático y el café. Bol. Inform. El Faro. UNAM. p.8-9.
 23. GCCIP (Global Climate Change Information Programme). 1997. La convención marco sobre cambio climático. El presupuesto energético de la atmósfera. Disponible desde Internet en: <http://www.cambioclimaticoglobal.com/presupue.html> (con acceso 25/03/11).
 24. GHANNOUM, O.; VON CAEMMERER, S.; ZISKA, L.H.; CONROY, J.P. 2000. The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. Plant, Cell Environm. (Estados Unidos). 23(9):93-942.
 25. GRANTZ D.; FARRAR, J. 1999. Acute exposure to ozone inhibits rapid carbon translocation from source

- leaves of Pima cotton. *J. Experm. Botany* (Reino Unido). 50(336):1253-1262.
26. GRANTZ, D.; YANG, S. 1996. Effect of O₃ on hydraulic architecture in Pima cotton (biomass allocation and water transport capacity of roots and shoots). *Plant Phys.* 112(4):1649-1657.
27. GRANTZ, D.; SILVA, V.; TOYOTA, M.; OTT, N. 2003. Ozone increases root respiration but decreases leaf CO₂ assimilation in cotton and melon. *J. Exp. Botany.* 54(391):2375-2384.
28. HALL, A.E.; CISSE, N.; THIAW, S.; ELAWAD, H.O.A.; EHLERS, J.D.; ISMAIL, A.M.; FERY, R.; ROBERTS, P.A.; KITCH, L.W.; MURDOCK, L.L.; BOUKAR, O.; PHILLIPS, R.D.; MCWATTERS, K.H. 2003. Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. *Field Crops Res.* 82:103-134.
29. HANSEN, J.; SATO, M.; NAZARENKO, L.; RUEDY, R.; LACIS, A.; KOCH, D.; TEGEN, I.; HALL, T.; SHINDELL, D.; STONE, P.; NOVAKOV, T.; THOMASON, L.; WANG, R.; WANG, Y.; JACOB, D.J.; HOLLANDSWORTH-FRITH, S.; BISHOP, L.; LOGAN, J.; THOMPSON, A.; STOLARSKI, R.; LEAN, J.; WILLSON, R.; LEVITUS, S.; ANTONOV, J.; RAYNER, N.; PARKER, D.; CHRISTY, J. 2002. Climate forcings in the Goddard Institute for Space Studies SI2000 simulations. *J. Geophys. Res.* (Estados Unidos). 107(D18):4347-4384.
30. HANSON, P.M.; CHEN, J.; KUO, G. 2002. Gene action and heritability of high temperature fruit set in tomato line CL5915. *Hort Sci.* 37(1):172-175.
31. HOUGHTON, D. 1985. *Handbook of Applied Meteorology.* John Wiley & Sons. New York, Chapter 40. Environmental impacts. I. Van der Hoven. p.1147-1163. Disponible desde Internet en: <http://www.mma.es> (con acceso 23/03/2011).
32. HUNT, B.G.; ELLIOTT, T. 2002. Mexican mega drought. *Climate Dynamics* (Alemania). 20(1):1-12.
33. IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, CO). 2009. Los fenómenos el niño / la niña. Disponible desde Internet en: <http://www.ideam.gov.co> (con acceso 23/03/2011).
34. IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change). 2001. *Climate Change 2001: Volume II Impacts, Adaptation and Vulnerability,* Cambridge University Press. 397p.
35. IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change). 2004. *Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk and of Options.* Disponible desde Internet en: <http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/ipcc-workshop-2004-may.pdf> (con acceso 25/03/2010).
36. IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change). 2007. *Climate change 2007: Synthesis report. Summary for policymakers.* Disponible desde Internet en: <http://www.ipcc.ch>. (con acceso 25/03/11).
37. IZAURREALDE, R.C.; ROSENBERG, N.J.; BROWN, R.A.; THOMSON, A.M. 2003. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agr. Forest Meteorology.* 117(1-2):97-122.
38. JARVIS, A.; LANE, A.; HIJMANS, R. 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agr., Ecosyst. Environm.* 126(1):13-23.
39. JIMÉNEZ L., T.; MORALES A., T.; REYNA T., V.; HERNÁNDEZ M., S.; OROZCO, F.; LEDESMA G., J. 2004. Dinámica de la sequía intra-estival en el estado de Tlaxcala, México". III Seminario Latinoamericano de Geografía Física, 28 abril- 2 mayo. (CD-ROM). Puerto Vallarta, Jalisco, México, memorias del evento. p.52-64.
40. KIM, S.H.; GITZ, D.C.; SICHER, R.C.; BAKER, J.T.; TIMLIN, D.J.; REDDY, V.R. 2007. Temperature dependence of growth, development, and photosynthesis in maize under elevated CO₂. *Environm. Exp. Botany.* 61(3):224-236.
41. KREUZWIESER, J.; HAUBERG, J.; HOWELL, K.; CARROLL, A.; RENNENBERG, H.; MILLAR, H.; WHELAN, J. 2009. Differential response of gray poplar leaves and roots underpins stress adaptation during hypoxia. *Plant Physiol.* 149(1):461-473.
42. KUBIEN, D.; VON CAEMMERER, S.; FURBANK, R.; SAGE, R. 2003. C₄ photosynthesis at low temperature. A study using transgenic plants with reduced amounts of Rubisco. *Plant Physiol.* 132(3):1577-1585.

43. LAU, CH.; JARVIS, A.; RAMÍREZ, J. 2011. Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 4p.
44. LU, YAO-CHI. 2005. An Economic Analysis of Climate Change on Cotton Production Across the U.S. Cotton Belt. Disponible desde Internet en: <http://www.ars.usda.gov/research/publications/Publications>. (con acceso 06/10/2005).
45. MCGAO. 2001. La simulación del sistema climático y sus cambios. Disponible desde Internet en: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar (con acceso 23/03/2011).
46. MCKEOWN, A.; WARLAND, J.; MCDONALD, M.R. 2005. Long-term marketable yields of horticultural crops in southern Ontario in relation to seasonal climate. *Can. J. Plant Sci.* 85(2):431-438.
47. MERA, R.J.; NIYOGI, D.; BUOL, G.; WILKERSON, G.; SEMAZZI, F. 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and maize (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change (Reino Unido)*. 54(1-2):163-182.
48. MILLER, C.; DAVIS, D. 1981. Effect of temperature on stomatal conductance and ozone injury of pinto bean leaves. *Plant Disease*. 65(9):750-751.
49. MITRA, J. 2001. Genetics and genetic improvement of drought resistance of crop plants. *Current Sci. (India)*. 80(6):758-763.
50. MÜLLER, C.; BONDEAU, A.; POPP, A.; WAHA, K.; FADER, M. 2010. Climate change impacts on agricultural yields. Background note to the World Development Report 2010. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam. 12p. Disponible desde Internet en: www.pik-potsdam.de/research (con acceso 28/08/2011).
51. NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION). 2001. Cotton doesn't shrink from climate change. Disponible desde Internet en: <http://www.gsfc.nasa.gov/news-release/releases/2001/01-118.htm> (con acceso 06/10/2005).
52. NASCIMENTO, W.M.; CANTLIFFE, D.J.; HUBER, D.J. 2000. Thermotolerance in lettuce seeds: Association with ethylene and endo- β -mannanase. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 125 (4):518-524.
53. NELSON, C.; ROSEGRANT, M.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SÜLSER, T.; ZHU, T.; RINGLER, C.; MSANGI, S.; PALAZO, A.; BATKA, M.; MAGALHAES, M.; VALMONTE-SANTOS, R.; EWING, M.; LEE, D. 2009. Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias IPFRI. 30p. Disponible desde Internet en: www.fao.org. (con acceso 10/08/2010).
54. NRDC (Natural Resources Defense Council). 2008. La onda verde; Datos principales sobre el calentamiento global. Disponible desde Internet en: <http://www.nrdc.org/laondaverde/globa> (con acceso 21/03/2011).
55. OLESEN, J.E.; TRNKAB, M.; KERSEBAUM, K.C.; SKJELVAGD, A.O.; SEGUINE, B.; PELTONEN-SAINIO, P.; ROSSIG, F.; KOZYRAH, J.; MICALEI, F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Europ. J. Agron. (Francia)*. 34(1):96-112.
56. ORESKES, N. 2004. Beyond the Ivory Tower. The Scientific Consensus on Climatic Change. *Science*. 306(5702):1686.
57. OSBORN, T.J.; BRIFFA, K.R. 2005. The spatial extent of 20th-century warmth in the context of the past 1200 years. *Science*. 311(5762):841-844.
58. PARRY, M.L.; ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; LIVERMORE, M.; FISCHER, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environm. Change (Reino Unido)*. 14(1):53-67.
59. PEARCY, R.W.; EHLERINGER, J. 1984. Comparative ecophysiology of C₃ and C₄ plants. *Plant, Cell Environm.* 7(1):1-13.
60. POMPELLI, M.; BARATA, R.; VITORINO, H.; GONÇALVES, E.; ROLIM, E.; SANTOS, M.; ALMEIDA, J.; FERREIRA, V.; LEMOS, E.; ENDRES, L. 2010. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. *Biomass Bioenergy (Reino Unido)*. 34(8):1207-1215.
61. REDDY, K.; HODGES, H. 2005. Impacts of climate change on cotton production: a Southcentral assessment. Disponible desde Internet en: <http://nigec.ucdavis.edu/> (con acceso el 06/10/2005).

62. REDDY, K.; HODGES, H.F.; MCKINION, J.M. 1997. Water and nutrient deficits, crop yields and climate change. *World Resource Rev. (Estados Unidos)*. 10(1):23-43.
63. REDDY, K.; REDDY, R.; HODGES, H.F. 1998. Interactive effects of elevated carbon dioxide and growth temperature on photosynthesis in cotton leaves. *Plant Growth Reg. Surafrica*. 26(1):33-40.
64. REDDY, V.; PACHEPSKY, Y.Y. 2002. Temperature effects on node development rates in cotton. *Ann. Botany (Estados Unidos)*. 31:101-111.
65. RIKIN, A.; DILLWITH, J.W.; BERGMAN, D.K. 1993. Correlation between the circadian rhythm of resistance to extreme temperatures and changes in fatty acid composition in cotton seedlings. *Plant Physiol.* 101(1):31-36.
66. ROUDIER, P.; SULTAN, B.; QUIRION, P.; BERG, A. 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environm. Change*. 21(3):1073-1083.
67. SCHLENKER, W.; LOBELL, D.B. 2010. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environm. Res. Letters (Reino Unido)*. 5(1):1-8.
68. SCHNELLHÜBER, H. 2008. Global warming: Stop worrying, start panicking? *PNAS (Estados Unidos)*. 105(38):14239-14240.
69. SCHÖFFL, F.; PRANDL, R.; REINDL, A. 1999. Molecular responses to heat stress. In: Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. (Eds.). *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants*. R.G. Landes Co., Austin, Texas, p.81-98.
70. SHAO, G.; HALPIN, P.N. 1995. Climatic controls of eastern North American coastal tree and shrub distributions. *J. Biogeography (Estados Unidos)*. 22(6):1083-1089.
71. SILVA, A.C.; LEITE, I.C.; BRAZ, L.T. 2000. Avaliação da viabilidade do pólen como possível indicativo de tolerância a altas temperaturas em genótipos de tomateiro. *Rev. Bras. Fisiol. Vegetal*. 12(2):156-165.
72. SOTO, W. 2009. La teoría de la sociedad del riesgo global: ¿es capaz de dar cuenta del acontecer mundial actual? *Bol. Observatorio Política Exterior (Costa Rica)*. 3(11):8-12.
73. STAINFORTH, D.; AINA, T.; CHRISTENSEN, C.; COLLINS, M.; FAULL, N.; FRAME, D.; KETTLEBOROUGH J.; KNIGHT, S.; MARTI, A.; MURPHY, J.; PIANI, C.; SEXTON, D., SMITH, L.; SPICER, R.; THORPE, A.; ALLEN, M. 2005. Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature*:433 (7024):403-406.
74. STOCK, W.D.; LUDWIG, F.; MORROW, C.D.; MIDGLE, G.F.; WAND, S.J.E.; ALLSOPP, N.; BELL, T.L. 2005. Long-term effects of elevated atmospheric CO₂ on species composition and productivity of a southern African C₄ dominated grassland in the vicinity of a CO₂ exhalation. *Plant Ecol. (Australia)*. 178(2):211-224.
75. SUNKAR, R. 2010. *Plant Stress Tolerance. Methods and Protocols*. Oklahoma state University USA. Humana Press. 401p.
76. SVENSMARK, H. 2007. Cosmoclimateology: a new theory emerges. *Astronomy & Geophysics (Reino Unido)*. 48(1):18-24.
77. TAUB, D.R.; MILLER, B.; ALLEN, H. 2008. Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biol.* 14(3):565-575.
78. THOMAS, C.D.; CAMERON, A.; GREEN, R.E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L.J.; COLLINGHAM, Y.C.; ERASMUS, B.F.N.; FERREIRA DE SIQUEIRA, M.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A.S.; MIDGLEY, G.F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTAS, M.A.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, O.L.; WILLIAMS, S.E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*. 427(6970):145-148.
79. TUBIELLO, F.N.; JAMTHOR, J.S.; BOOTE, K.J.; DONATELLI, M.; EASTERLING, W.; FISCHER, G.; GIFFORD, R.M.; HOWDEN, M.; REILLY, J.; ROSENZWEIG, C. 2007a. Crop response to elevated CO₂ and world food supply - A comment on "Food for Thought..." by Long *et al.*, *Science*. 312:1918-1921, 2006. *Europ. J. Agron.* 26(3):215-223.
80. TUBIELLO, F.N.; SOUSSANA, J.F.; HOWDEN, S.M. 2007b. Crop and pasture response to climate change. *PNAS*. Disponible desde internet en: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0701728104>.
81. VAN DUIVENBOODEN, N.; ABDOUSSALAM, S.; MOHAMED, A.B. 2002. Impact of climate change on

- agricultural production in the Sahel-Part 2. Case study for groundnut and cowpea in Niger. *Climatic Change* 54(3):349-368.
82. WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environm. Exp. Botany*. 61(3):199-223.
83. WATSON, R. 2001. Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Disponible desde Internet en: <http://www.ipcc.ch/pub/un/syrspanish/spm.pdf> (con acceso 24/03/2011).
84. WAYNE, H. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Sci.(Estados Unidos)*. 42(1):131-140.
85. WITTIG, R.; KÖNIG, K.; SCHMIDT, M.; SZARZYNSKI, J. 2007. A study of climate change and anthropogenic impacts in West Africa. *Environm. Sci. Poll. Res.* 14(3):182-189.
86. YONG, J.; WONG, CH.; LETHAM, D.; HOCART, CH.; FARQUHAR, G. 2000. Effects of elevated [CO₂] and nitrogen nutrition on cytokinins in the xylem sap and leaves of cotton. *Plant Physiol. (Estados Unidos)*.124(2):767-780.
87. ZAVALA, J.A.; CASTEEL, C.L.; DELÚCIA, E.H.; BERENBAUM, M.R. 2008. Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects. *Proc. Nal Acad. Sci.* 105:5129-5133.

Recibido: Diciembre 12 de 2011

Aceptado: Abril 9 de 2012

POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NÁTAGA EN CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)

POTENTIAL REUSE OF EFFLUENT FROM THE NÁTAGA MUNICIPALITY WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR THE CROP OF COCOA (*Theobroma cocoa* L.)

Eduardo Valencia¹, Renso Alfredo Aragón², Jonathan Romero³

¹ M.Sc. Profesor Asociado, Universidad Surcolombiana, Departamento de Ingeniería Agrícola, Neiva, Huila, Colombia, eduvale@usco.edu.co. Autor para correspondencia. ² Ing. Agrícola; Grupo de Investigación Agroindustria USCO, Universidad Surcolombiana; Neiva-Huila-Colombia; renso733@hotmail.com ³ Ing. Agrícola; Centro de Investigación en Ciencias y Recursos GeoAgroAmbientales – CENIGAA; Neiva – Huila - Colombia; jonathan.romero@cenigaa.org

Rev. Act. & Div. Cient. Año 15(1): 77 - 86, 2012

RESUMEN

El trabajo consistió en determinar el potencial de reutilización del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio Nátaga, departamento Huila, Colombia, con fines de irrigación para un cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Este efluente es vertido a la Quebrada El Pueblo, creando problemas de contaminación y de riesgos de salud pública. Aplicando vigilancia tecnológica, se elaboró el estado del arte y recolección de información, para caracterizar el efluente y evaluar la PTAR; se calculó el balance hídrico del cultivo y los beneficios potenciales de la reutilización en riego de estas aguas residuales. El efluente de la PTAR pertenece a la clase C2S1 (CE = 0,54 dS/m, RAS = 1,5), con peligro de salinización medio y de alcalinización bajo para agua de riego; por su riesgo microbiológico es categoría B (CF = 105 NMP/100mL, HH = 21 HH/L), exigiendo adecuado manejo del riego, que minimice los riesgos de salud pública. La zona de influencia tiene déficit hídrico durante todo el año y el efluente constituye un recurso potencial para el cultivo de cacao, aportando en promedio 223.720 m³/año de agua, macronutrientes N (7.273kg/año), P (839kg/año), K (2.797kg/año) y lodos (958 kg/año de materia seca); con el efluente en verano, se puede regar en promedio 19ha de cacao y, en invierno, 27ha. Se recomienda el riego del cacao con el efluente de la PTAR, pero se debe tener cuidado con los efectos sobre el suelo, la planta y la salud pública.

Palabras clave: Aguas residuales, reutilización de agua, riego, cacao.

SUMMARY

The project consisted in the determination of the potential reuse of the effluent from the Nátaga municipality Wastewater Treatment Plant (WWTP) for irrigation purpose in cocoa cultivations (*Theobroma cacao* L.). The effluent is discharged to the "El Pueblo" river, generating pollution problems and public health risks. By means of technological surveillance, the state of art was elaborated and the information, in order to characterize and evaluate the WWTP effluent, collected. The crops water balance and the potential benefits of reuse in irrigation of wastewater was calculated. The effluent from the WWTP belongs to the C2S1 class (EC = 0.54 dS m⁻¹, SAR = 1.5) with a medium risk of salinization and a low risk of alkalization for water use in irrigation. The microbiological risk assessment is considered in category B (CF = 105 MPN/100 mL, HH = 21 HH/L), demanding an adequate irrigation management to minimize public health risks. The area of influence has a water deficit throughout the year and the effluent is a potential resource for the cultivation of cacao, providing an 223,720 m³ year⁻¹ average of water, macronutrients N (7273 kg year⁻¹), P (839 kg year⁻¹), K (2,797 kg year⁻¹) and sludge (958 kg year⁻¹ of dry matter). The average effluent for irrigation purpose in the dry season can be for 19ha and 27ha in the rainy season. It is recommended to irrigate cocoa cultures with the effluent from the WWTP, being careful with the effects on soil, plant and public health.

Key words: Wastewater, water reuse, irrigation, cocoa.

INTRODUCCIÓN

El concepto de manejo integral del recurso hídrico implica la gestión eficaz basada en el ahorro, la reutilización y la no contaminación del agua, la implementación de tecnologías e infraestructura multipropósito, en una planificación sostenible del territorio y una gestión integrada de las cuencas hidrográficas (Morató *et al.* 2006; O'Connor *et al.* 2010).

Por consiguiente, la OMS (Organización Mundial de la Salud) (2006) y la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2011), están fomentando el uso de las aguas residuales (AR) de origen doméstico en la agricultura, pero reconocen los riesgos que generan para la salud y el ambiente (Pescod, 1992; Kiziloglu *et al.* 2008; Segal *et al.* 2011; Cirelli *et al.* 2012).

Por lo tanto, la reutilización de aguas residuales tratadas (ART) para riego agrícola, se convierte en una solución técnica para minimizar la degradación del suelo y restaurar el contenido de nutrientes del mismo (Kiziloglu *et al.* 2008). Adicionalmente, Qadir *et al.* (2007) plantean el uso de recursos hídricos no convencionales (aguas subterráneas con condiciones salinas, aguas de drenaje agrícola y ART, entre otros), para enfrentar el problema de la seguridad alimentaria de las grandes ciudades, teniendo precaución con los problemas de salinidad y de sodicidad asociados al suelo. Pero, Segal *et al.* (2011) indican que la reutilización de ART para riego de cultivos agrícolas incrementa la susceptibilidad de los cultivos al estrés osmótico y aumenta el potencial de contaminación de aguas subterráneas.

Cuando los cultivos son regados con ART, los primeros y los principales cambios, se encuentran en los parámetros de salinidad y de sodicidad del suelo (Marques *et al.* 2009). Por otro lado, en proyectos de reutilización de AR para riego, las directrices de la OMS son las indicadas para la calidad microbiológica del agua. El objetivo principal del tratamiento de las AR debe ser la eliminación de los organismos patógenos (León, 1995; OMS, 2006), como los relacionados con excretas (bacteria *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp.), helmintos (*Ascaris*, *Ancylostoma*, *Necator*, *Hymenolepis*, *Strongyloides*, *Toxocara*, *Trichuris*, *Taenia* spp.), trematodos, protozoarios, virus, los relacionados con patógenos transmitidos por vectores, irritaciones en la piel y químicos. En lo que respecta a los criterios de calidad físico-química de agua para riego, las directrices de la FAO (1999) proponen la salinidad y la alcalinización de los suelos como parámetros.

De acuerdo con Silva *et al.* (2008), las nuevas guías de uso de AR, de excretas y de aguas grises, publicadas en 2006, sirven como herramienta en el manejo preventivo de AR en

agricultura e, incluyen, análisis microbiano con recolección de información relacionada con patógenos, no da valores para patógenos virales, bacteriales o protozoarios, sólo para HH ($\leq 1/L$) en riego con o sin restricción; para el riego por goteo en cultivos de alto crecimiento, no da recomendación alguna y comprende medidas de control para la protección de la salud. Estas nuevas directrices reafirman las recomendaciones dadas por la OMS en 1989, con criterios de calidad microbiológica, más accesibles de cumplir por los países pobres y en vía de desarrollo (Veliz *et al.* 2009).

En ese orden de ideas, la reutilización del ART puede exigir un cambio en las especies vegetales utilizadas para el cultivo, la modificación de las dosis de fertilizantes, la remodelación del sistema de riego, la adopción de precauciones para proteger a los trabajadores agrícolas y la salud de los consumidores (Mujeriego, 1990).

Se han desarrollado varias investigaciones en el orden mundial para conocer los potenciales beneficios y los problemas de los proyectos de reutilización de ART, para riego de cultivos agrícolas y para trabajos de investigación aplicada, interesados en aumentar los recursos hídricos de zonas áridas (Nunes *et al.* 2005; Fasciolo *et al.* 2005; Rutkowski *et al.* 2006; Hassanli *et al.* 2008).

Medeiros *et al.* (2005) encontraron que ART, con filtros de arena, mejoran las características del suelo, como el pH, el porcentaje de materia orgánica (M.O.), el potasio (K), el calcio (Ca) y el magnesio (Mg), pero incrementa los problemas de salinidad. Umaña (2007) evaluó rendimientos del cultivo de maíz regado con ART y con aguas de riego; no encontró diferencia significativa en rendimientos, pero indica que el riego con AR puede ahorrar el uso de fertilizantes. Kiziloglu *et al.* (2008) evaluaron las mejoras en la fertilidad del suelo sin afectar la calidad del mismo y de las plantas al aplicar riego con ART. Los resultados indican que el riego con ART afecta, significativamente, las propiedades químicas del suelo en los primeros 30cm de profundidad y el contenido de nutrientes en las plantas después de la cosecha. El experimento no arrojó afectaciones por metales pesados ni excesos de sales. Se concluye, que las AR domésticas sin tratar, se pueden usar con confianza para riego agrícola a corto plazo y con tratamiento primario, en agricultura sustentable, a largo plazo. De igual forma, en Argentina, se comparó el rendimiento de tubérculos (topinamburregados) con AR y con agua subterránea, obteniendo mejor rendimiento con el primer tipo de riego (Lelio *et al.* 2009).

De otra parte, Marques *et al.* (2009) evaluaron los efectos de la salinidad y la sodicidad del suelo en una plantación de caña de azúcar en condiciones tropicales, regada 16 meses con ART, en Sao Pablo, Brasil. Los resultados indican

diferencias significativas en el incremento de porcentaje de sodio intercambiable, dispersión de arcillas, tasa de adsorción de sodio y conductividad eléctrica; sin embargo se concluye, que el incremento del contenido de sodio en el suelo está más asociado a la frecuencia de riego con ART que a la cantidad de ART aplicada al cultivo. Por lo tanto, se recomienda estudiar los procesos de remediación del suelo para poder implementar la reutilización de ART, como solución técnica.

Actualmente, el municipio de Nátaga, se proyecta como productor potencial de cacao, en el departamento del Huila. Particularmente, se ha presentado un proyecto para la construcción del distrito de riego a pequeña escala de Nátaga "Asodriana", para abastecer de agua 120 ha de cacao.

Por consiguiente, este estudio presenta el potencial de reutilización del efluente de la PTAR del municipio de Nátaga: Agua y nutrientes para el cultivo de cacao, como una alternativa ambiental y productiva, considerada como un tratamiento terciario para la PTAR, donde el efluente pasa de ser un contaminante a convertirse en un recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El municipio de Nátaga está localizado en la región Sur – Occidental del Departamento del Huila, su cabecera municipal se encuentra a 2° y 34' de latitud Norte y 75° 49' de longitud Oeste, a una distancia de 120 km de la capital, en las laderas de una ramificación de la cordillera central. Tiene una superficie de 132,7 km², perteneciendo 44,6 ha, al perímetro urbano. Se encuentra a una altitud de 1.480 msnm, donde el 3,55% del territorio corresponde a piso térmico cálido, con una temperatura promedio de 24°C; el 53,88% corresponde a Clima Medio Húmedo (MH), con temperaturas entre 18° y 24°C; el 42,56% pertenece a Clima Medio muy Húmedo (MMH), con alturas superiores a los 2.000 msnm. La PTAR, se encuentra ubicada a unos 300 m de la Alcaldía municipal y el distrito de riego, se situaría contiguo a la PTAR.

Caracterización de los recursos geofísicos de la zona de estudio: Se realizó la consulta de casos de estudio y del estado del arte, lo cual, consistió en revisión de artículos científicos y de bases de datos especializadas, utilizando herramientas de vigilancia tecnológica. Se hizo el reconocimiento y el análisis del área de estudio; recolección de información del diseño y monitoreo de la PTAR; se tomaron datos e información sobre las unidades del sistema de tratamiento, población, caudales y disposición del efluente; se analizaron los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de una caracterización del afluente y efluente y, finalmente, se recolectó información climatológica de la zona de estudio, como precipitación,

evaporación, temperatura, las propiedades físicas y químicas del suelo.

Descripción de la PTAR y cálculo de eficiencias: Para la caracterización del efluente, se realizaron muestreos puntuales del afluente y del efluente de la PTAR, el 23 de marzo de 2010, en horas de la mañana y analizados en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana: Fisicoquímico, demanda biológica de oxígeno DBO₅ (método de Winkler), sólidos suspendidos SS (método gravimétrico), grasas y aceites G y A (método partición gravimétrica) y microbiológico, coliformes totales CT y coliformes fecales CF (método de tubos múltiples) y también algunos datos fueron tomados de la literatura. Se determinó la eficiencia de la PTAR, que permitiera la caracterización del efluente y su categorización como agua para riego, de acuerdo con las directrices de la FAO (1999) y de la OMS (2006) y la descripción de las unidades de tratamiento. Para el cálculo de la eficiencia se empleó la fórmula (1):

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Concentración Af} - \text{Concentración Ef}}{\text{Concentración Af}} * 100 \quad (1)$$

Af : Afluente; *Ef* : Efluente

Determinación del balance hídrico: Para la caracterización del clima, se seleccionó la estación climatológica Nátaga, considerando criterios de representatividad y de homogeneidad sobre el área de estudio y por encontrarse dentro del área de influencia del proyecto; debido a que sólo cuenta con registros pluviométricos, también se utilizó la estación Escuela Agrícola La Plata, con registros completos de los elementos del clima. La información climatológica para el estudio corresponde a datos multianuales, del periodo 1998 – 2008. Se determinó el balance hídrico del cultivo para la zona de estudio, mediante la precipitación efectiva por el método USDA Soil Conservation Service (Jaramillo, 2008), la evapotranspiración del cultivo, por el método de tanque evaporímetro (Allen *et al.* 1998), la demanda de riego neta y la necesidad de riego.

Potencialidad de reutilización del efluente de la PTAR: La determinación del volumen de agua disponible para reutilizar en riego del cultivo de cacao, se realizó con base en la población de Nátaga, empleando el método geométrico para el cálculo de la población, con tasa de crecimiento de 2,8 y un periodo de 20 años. Se determinó el área a regar, por medio de la metodología de Jaramillo (2008) y los aportes en nutrientes: Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para el cultivo de cacao, mediante el cálculo de los recursos aportados por el efluente; se utilizaron las expresiones (2) y (3):

$$Cantidad\ Nutrientes = Población * Ca_{pc} \quad (2)$$

Ca_{pc} = carga per cápita de Nutriente.

$$Ca_{pc} = Dot * C \quad (3)$$

Dot= Dotación; C= Concentración de nutriente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de la Planta de Tratamiento: El municipio de Nátaga, en el 2006, contaba con 6.785 habitantes, de los cuales, 4.550 pertenecían a la zona rural y 2.235, a la zona urbana; es de vocación agrícola y su principal cultivo es el café. Cuenta con los servicios públicos básicos, la dotación estimada para el 2010 es 330L/hab-d y se contempla una disminución gradual hasta 150L/hab-d, para el 2026. Su PTAR tiene una cobertura del 100% y recibe un caudal de 4,66L/s.

La figura 1 muestra el esquema general, que incluye la propuesta de reutilización del efluente en un cultivo de cacao, la cual, está conformada por las siguientes

unidades: Tratamiento preliminar, que consta de un canal de aproximación, un vertedero de excesos, dos rejillas y dos desarenadores en paralelo y una canaleta Parshall; tratamiento secundario, conformado por cuatro UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) y dos Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA), con lechos filtrantes plásticos; los lodos son llevados a cuatro lechos de secado; actualmente, el efluente es vertido a la Quebrada El Pueblo. Es pertinente aclarar que el vertedero de excesos se utiliza, principalmente, en épocas de lluvia, para aguas de escorrentía superficial y se vierten en la quebrada. En este sentido, se propone construir un pequeño reservorio que almacene el agua de escorrentía y que luego sea bombeada al canal de aproximación, para su respectivo tratamiento; de esta manera, se evita la posible fuente de contaminación que se presenta cuando hay demasiada escorrentía superficial.

Evaluación del sistema

Caracterización del Efluente y Eficiencia de la PTAR: Las tablas 1 y 2 presentan los resultados de la eficiencia de la PTAR y de las características del efluente, respectivamente.

El efluente de la PTAR de Nátaga, según la clasificación propuesta por Mara & Cairncross (1990) y de acuerdo con sus valores de conductividad eléctrica (CE) = 0,54 dS/m y la relación de adsorción de sodio (RAS) = 1,5 se clasifica C2S1, agua de buena calidad para riego, con peligro de salinización

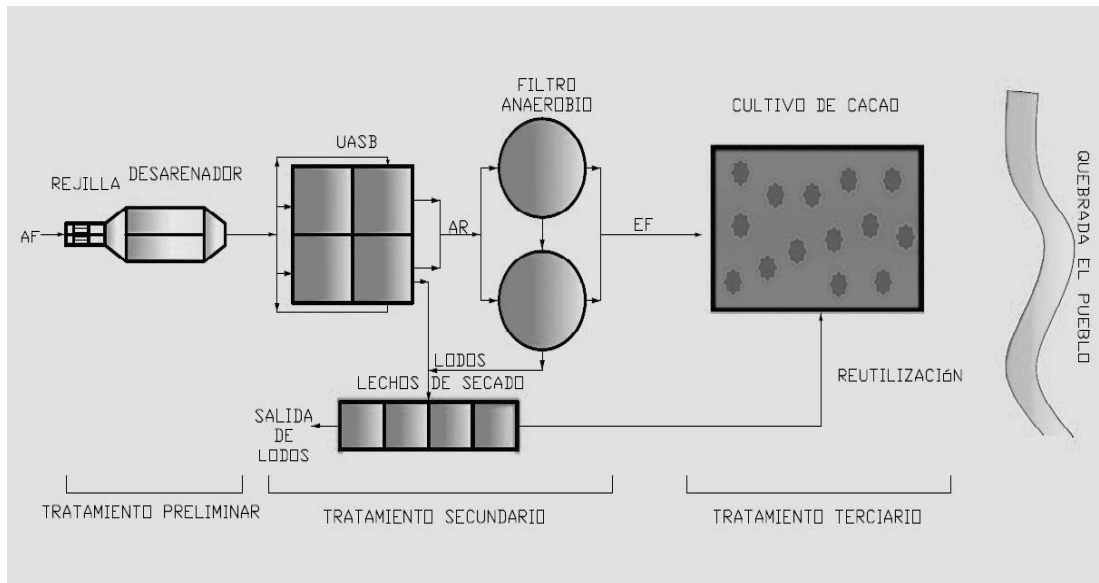


Figura 1. Esquema general de la PTAR de Nátaga incluyendo reutilización.

Tabla 1. Eficiencia de la PTAR.

PARÁMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN
DBO (mg/L)	170	39	77
SS (mg/L)	153	27	82
G y A (mg/L)	16	2,3	86
N (mg/L)	30 ^b	26 ^a	13
P (mg/L) ^b	6	3	50
CT NMP/100mL)	10 ¹⁰	10 ⁶	99,99
CF (NMP/100mL)	10 ⁹	10 ⁵	99,99
HH (No./L) ^a	21	21	0

Fuente: ^aValencia, 2003; ^bRAS, 2000.

Nota: CT: Coliformes Totales; G y A: Grasas y Aceites.

Tabla 2. Caracterización del Efluente.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
DBO ₅	mg/L	39
SS	mg/L	27
G y A	mg/L	2,3
N ^a	mg/L	26
P ^b	mg/L	3
K ^a	mg/L	10
CT	NMP/100mL	10 ⁶
CF	NMP/100 mL	10 ⁵
HH ^a	No./L	21
CE ^a	dS/m	0,54
RAS ^a		1,5

Fuente: ^aValencia, 2003; ^bRAS, 2000.

medio y de alcalinización bajo; de menor calidad a las aguas de la mayoría de los tramos del río Cauca, que son C1S1 aguas excelentes para riego e igual a la de otros tramos del mismo y, a las aguas subterráneas, utilizadas en el Valle del Cauca, que son C2S1 y según las Directrices de la FAO (1999), presenta un Grado de Restricción Moderado, requiriéndose un cuidado gradualmente mayor en la selección del cultivo y de las alternativas de manejo del mismo y del suelo, como el drenaje agrícola, para alcanzar el potencial máximo de rendimiento. Este peligro de salinización, se puede convertir

en un impacto ambiental negativo, debido a los problemas que puede presentar por procesos de infiltración y de acumulación de sales en el tiempo.

Respecto a la calidad microbiológica, por el valor de coliformes fecales (CF) = 10⁵ NMP/100mL, el efluente pertenece a la Categoría B, que puede ser empleado para riego de cultivos, como: cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles (OMS, 2006), por tanto, el efluente se puede utilizar para riego del cultivo de cacao; sin embargo,

según la OMS existe riesgo microbiológico que puede afectar la salud pública, fundamentalmente, por el alto contenido de huevos de helmintos (HH) = 21 HH/L; el grupo expuesto son los agricultores y se recomienda el riego por microaspersión para minimizarlo. La densidad de HH, se tomó teniendo como antecedente el valor encontrado en el afluente, en un estudio realizado por Valencia (2003) y se asumió que no había remoción, teniendo en cuenta que, según el RAS (2000), las remociones esperadas para el tipo de sistema de tratamiento del municipio de Nátaga son muy bajas.

Para asegurar la calidad del efluente y poder utilizarlo en riego del cultivo de cacao, la PTAR de Nátaga debe funcionar de acuerdo con su diseño, lo que exige una correcta operación y mantenimiento. Las remociones de DBO del 77% y SS del 82% (Tabla 1), indican que la PTAR es eficiente en la remoción de contaminantes, eficiencias que se pueden aumentar mejorando su operación; no obstante, microbiológicamente, no se esperan remociones mayores de CF y HH por el tipo de unidades que conforman la PTAR. La evaluación microbiológica del AR constituye un factor importante a la hora de restringir la forma de regar, pues se pueden presentar enfermedades que se propagan, cuando se realiza mal manejo de AR, como las diarreas, la tifoidea y la paratifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa, la amibiásis, giardiasis, entre otras (Sáenz, 1994).

Componente Climático de la zona de estudio: En la zona donde está ubicada la PTAR, se proyecta el distrito de riego "Asodriana"; la temperatura media mensual multianual varía ligeramente durante el año, con un valor mínimo de 21,2°C, en julio y máximo de 22,3°C, en marzo. La distribución de la precipitación mensual multianual presenta dos picos extremos, con dos periodos de lluvias comprendidos entre marzo a junio y de octubre a diciembre y un periodo de transición con precipitaciones menores entre enero y febrero; enero es el más seco, con un promedio de 183mm y mayo el de mayor valor mensual promedio, con 416mm. La mayor evaporación media se presenta en septiembre, con un valor de 111,9mm y, la menor, en abril, con 81,7mm (Tabla 3).

Balance Hídrico: La tabla 3 y la figura 2 muestran que durante todo el año la zona donde se encuentra la PTAR presenta déficit hídrico, convirtiéndose el efluente en un recurso importante para suplir, en parte, las necesidades de riego. Esta situación posibilita la consecución de agua suplementaria, como en el caso citado por Mujeriego (1990), donde las mayores posibilidades de aumentar los recursos hidráulicos es mediante la utilización de AR regenerada, es decir, conseguir agua adicional para el estado de California.

Pero se debe tener en cuenta que la reutilización de esta agua puede provocar efectos ambientales adversos, entre

Tabla 3. Balance Hídrico Mensual Multianual.

MESES	PRECIPITACIÓN EFECTIVA (mm/mes)	EVAPORACIÓN (mm/mes)	USO CONSUNTIVO (mm/mes)	DEMANDA DE RIEGO NETA (mm/mes)
Enero	21,13	95,70	100,49	79,35
Febrero	21,41	92,20	96,81	75,40
Marzo	21,50	95,50	100,28	78,77
Abril	21,41	81,70	85,79	64,37
Mayo	21,13	87,10	91,46	70,32
Junio	20,85	89,20	93,66	72,81
Julio	20,48	99,20	104,16	83,68
Agosto	20,95	110,50	116,03	95,08
Septiembre	21,23	111,90	117,50	96,27
Octubre	21,04	110,00	115,50	94,46
Noviembre	20,95	85,90	90,20	69,25
Diciembre	21,04	86,80	91,14	70,10

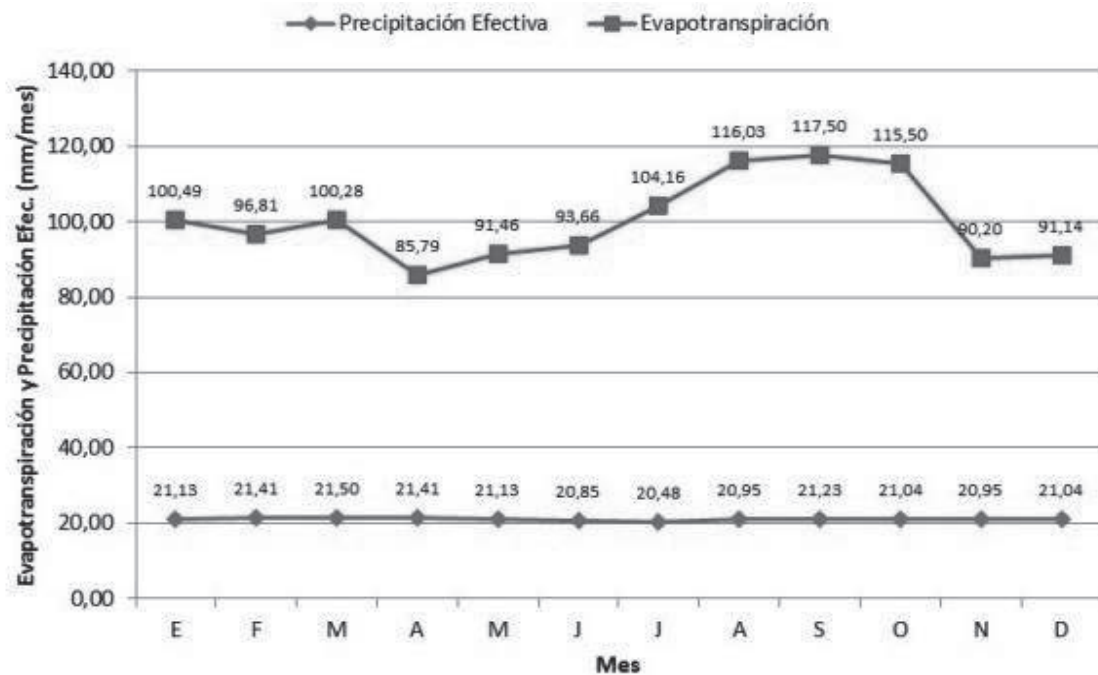


Figura 2. Balance hídrico.

los cuales, se encuentra la contaminación de acuíferos, de corrientes superficiales, de salinización del suelo; como lo indica WIKI (2007), las AR aportan sales al suelo, volviéndolo, en casos extremos, improductivo y dichos problemas se darán con más frecuencia durante los períodos cálidos, debido a la frecuencia de los riegos y al mayor consumo de agua por parte de las plantas. Se obtuvo una demanda de riego neta de 96,27mm para septiembre, como dato representativo de los meses de menor pluviosidad y 68,51mm, como promedio de los meses de mayor pluviosidad (abril, mayo, noviembre y diciembre).

Potencialidad de Reutilización del Efluente: Como se observa en la tabla 4, el efluente de la PTAR aporta en promedio 223.720m³/año de agua, con los cuáles, se puede regar, en promedio, 19ha de cacao, en verano y, 27ha, en invierno; aporta además macronutrientes: N = 7.273kg/año, P = 839kg/año, K= 2.797kg/año y lodos 958 kg/año de materia seca, disminuyendo los costos por fertilizantes.

Los lodos, se caracterizan por presentar un alto contenido de M.O. y nutrientes que con su aplicación pueden contribuir a mejorar propiedades del suelo, pero para el adecuado uso de los lodos de plantas de tratamiento de AR, en agricultura, se hace necesario una previa caracterización física, química

y biológica, que permita descartar la presencia de sustancias tóxicas y peligrosas, pues los dos principales problemas que se pueden presentar con su uso inadecuado, son los metales pesados y la presencia de microorganismos patógenos (Torres, 2002).

En conclusión, el efluente de la PTAR de Nátaga, por su calidad como agua para riego, pertenece a la clase C2S1, considerada como agua de buena calidad en irrigación y se puede usar para regar cacao. Posee peligro de salinización Medio y de Alcalinización Bajo, por lo que puede salinizar los suelos con el tiempo, si no se aplican prácticas de manejo adecuadas al cultivo y al suelo.

Por su riesgo microbiológico, el efluente pertenece a la categoría B que puede ser empleado para riego de cultivos, como cereales, industriales y forrajeros, praderas y árboles, de acuerdo con las Directrices de la OMS (2006), lo que exige un adecuado manejo del riego que minimice los riesgos de salud pública. La zona de influencia de la PTAR tiene déficit hídrico durante todo el año y el efluente se constituye en un recurso potencial para el cultivo de cacao, aportando agua 223720 m³/año.

Con el efluente de la PTAR de Nátaga, en verano se puede regar en promedio 19 Has de cacao y en invierno 27 Has,

Tabla 4. Potencial de Reutilización del Efluente de la PTAR de Nátaga.

AÑO	Población	Dotación (L/hab-d)	Q _{AR} (L/s)	Vol. Agua (m ³)	Has a regar Verano	Has a regar Invierno	N (Kg/año)	P (Kg/año)	K (Kg/año)	LODOS (materia seca, Kg/año)
2010	2496	330	7,6	239674	20,4	28,8	7817	902	3006	1026
2011	2566	327	7,8	245981	21,0	29,3	7956	918	3060	1053
2012	2638	323	7,9	249134	21,2	29,8	8097	934	3114	1066
2013	2712	320	8,0	252288	21,5	30,3	8241	951	3169	1080
2014	2788	317	8,2	258595	22,0	30,9	8387	968	3225	1107
2015	2866	314	8,3	261749	22,3	31,4	8536	985	3282	1120
2016	2946	293	8,0	252288	21,5	30,2	8204	947	3155	1080
2017	3028	274	7,7	242827	20,7	29,0	7884	910	3033	1039
2018	3113	257	7,4	233366	19,9	27,9	7578	874	2915	999
2019	3200	240	7,1	223906	19,1	26,8	7284	840	2802	958
2020	3290	224	6,8	214445	18,3	25,8	7002	808	2693	918
2021	3382	210	6,6	208138	17,7	24,8	6730	777	2588	891
2022	3477	196	6,3	198677	16,9	23,8	6469	746	2488	850
2023	3574	183	6,1	192370	16,4	22,9	6217	717	2391	823
2024	3674	171	5,8	182909	15,6	22,0	5976	690	2298	783
2025	3777	160	5,6	176602	15,0	21,2	5744	663	2209	756
2026	3883	150	5,4	170294	14,5	20,3	5521	637	2123	729

Abreviatura: Q_{AR}= Caudal aguas residuales

valores que corresponden al 16% y 23%, respectivamente, de las 120 hectáreas del Distrito de Riego, a pequeña escala de Nátaga "Asodriana".

Analizando los sistemas de riego disponibles para el proyecto, por condiciones topográficas (alta pendiente) y sanitarias, los sistemas de riego por superficie son descartados, por otro lado, los sistemas de riego localizados son los más adecuados, debido a que tienen el menor contacto con los regadores y el cultivo, pero se presenta inconvenientes por taponamiento de goteros y de mangueras, por el crecimiento de algas y altos contenido de sales en el AR. En este sentido y teniendo en cuenta los precedentes, se recomienda el sistema de riego por microaspersión, por ser un sistema localizado y menos exigentes en términos de filtración.

En este sentido, la propuesta de reutilización de AR es una alternativa ambiental y productiva, que introduce la concepción del suelo como agente filtrante y, a su vez, implementa un tratamiento terciario a la PTAR de Nátaga, por lo tanto, se minimiza el riesgo de contaminación de la quebrada El Pueblo y se mejora la calidad de vida de los pobladores aguas abajo de la descarga.

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

Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad Surcolombiana y los autores.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements – FAO. Irrigation and drainage. (Italia). Paper 56. 300.
2. CIPELLI, G.; CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; AIELLO, R.; GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C. 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. *Agr. Water Manag.* (USA). 104:163-170.
3. FASCIOLO, G.; MECA, M.; CALDERÓN, E.; REBOLLO, M. 2005. Contaminación microbiológica en ajos y suelos regados con efluentes domésticos tratados. *Rev. FCA. UNCuyo.* (Argentina). 37(1):31-40.
4. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS FAO. 1999. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Disponible desde Internet en: www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.html (con acceso el 18/10/2009).
5. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS FAO. 2011. Reflections on reused water as a resource. Disponible desde Internet en <http://www.fao.org/nr/water/news/wastewater.html> (con acceso 27/01/2012).
6. HASSANLI, A.; EBRAHIMIZADEH, A.; BEECHAM, S. 2008. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an Arid Region. *Agr. Water Manag.* 96(1):93-99.
7. JARAMILLO, B. 2008. Riegos y Drenaje. Ed, Universidad Nacional de Colombia (Palmira).420p.
8. KIZILOGLU, F.; TURAN, M.; SAHIN, U.; KUSLU, Y.; DURSUN, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. *Agr. Water Manag.* 95:716-724.
9. LELIO, H.; REBORA, C.; GÓMEZ, L. 2009. Potencial de obtención de bioetanol a partir de topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) regado con aguas residuales urbanas. *Rev. FCA. UNCuyo.* 41(1):123-133.
10. LEÓN, G. 1995. Parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales. Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud. Ed. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (Perú). 20p.
11. MARA, D.; CAIRNCROSS, S. 1990. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. OMS (Colombia). 220p.
12. MARQUES, R.; HERPIN, U.; FERREIRA, A.; PITTOL, L.; REGINA, C.; MELFI, A. 2009. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agr. Water Manag.* 96:307-316.
13. MEDEIROS, S.S.; SOARES, A.A; FERREIRA, P.A; NEVES, J.C; MATOS, A.T; SOUZA, J.A.A. 2005. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. *Rev. Bras. Engenharia Agr. Amb.* 9(4):603-612.
14. MORATÓ, J.; SUBIRANA, A.; GRIS, A.; CARNEIRO, A.; PASTOR, R. 2006. Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Rev. Lasallista Invest.* (Colombia). 3:19-29.
15. MUJERIEGO, R. 1990. Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada. Ed. Universidad Politécnica de Catalunya – UPC. 520p.
16. NUNES HENRIQUE, I.; TAVARES DE SOUSA, J.; DUARTE LEITE, V.F.; FIDELES FILHO, J.; PIRES DANTAS, J. 2005. Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura pimentão (*Capsicum annuum* L.). En: Memórias 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil. 7p.
17. O'CONNOR, T.; RODRIGO, D.; CANNAN, A. 2010. Total water management: The new paradigm for urban water resources planning. *World Environm. and Water Res. Congress. Challenges of Change – Proc. the World Environm. Water Res. Congr.* p.3251-3260.
18. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD OMS. 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Disponible desde Internet en http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/index.html (con acceso el 11/11/2011).
19. PESCOD, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in

- agriculture. Irrig. Drain. (Italia). Paper 47. 400.
20. QADIR, M.; SHARMA, B.; BRUGGEMAN, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; KARAJEH, F. 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agr. Water Manag.* 87:2-22.
21. RAS. 2000. Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico. Disponible desde Internet en http://www1.minambiente.gov.co/viceministerios/ambiente/dir_agua_potable_saneam_basico/direccion/direccion_agua_potable.htm (con acceso el 18/10/2009).
22. RUTKOWSKI, T.; RASCHID, L.; BUECHLER, S. 2006. Wastewater irrigation in the developing world - two case Studies from the Kathmandu Valley in Nepal. *Agr. Water Manag.* 88(1-3):83-91.
23. SÁENZ, R. 1994. Introducción y uso de aguas residuales tratadas en agricultura y acuicultura: Riego y salud. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE). Disponible desde Internet en <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep153/rys/rys.html> (con acceso el 17/10/2009).
24. SEGAL, E.; DAG, A.; BEN-GAL, A.; ZIPORI, I.; EREL, R.; SURYANO, S.; YERMIYAHU, U. 2011. Olive orchard irrigation with reclaimed wastewater: Agronomic and environmental considerations. *Agr., Ecosyst. Environm. (USA)*. 140:454-461.
25. SILVA, J.; TORRES, P.; MADERA, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agr. Col.* 26(2):347-359.
26. TORRES, E. 2002. Reutilización de aguas y lodos residuales. Disponible desde Internet en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf> (con acceso el 06/04/2010).
27. UMAÑA, E. 2007. El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) una alternativa ambiental y productiva. *Rev. La Calera. (Perú)*. 7(8):22-27.
28. VALENCIA, E. 2003. Uso de aguas residuales domésticas tratadas en lagunas de estabilización. *Rev. Ing. Región (Colombia)*. 2(1):22-27.
29. VELIZ, E.; LLANES, J.; FERNÁNDEZ, L.; BATALLER, M. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración científica. *Rev. CENIC Cienc. Biol. (México)*. 40(1):35-44.
30. WIKI. 2007. Ingeniería de Aguas Residuales. Ed. Wiki (España). 238p.

Recibido: Marzo 8 de 2011

Aceptado: Marzo 21 de 2012

EFFECTO DE LA LIMPIEZA SANITARIA DE CORMOS DE PLÁTANO (*Musa AAB SIMMONDS*) SOBRE NEMATODOS FITOPARÁSITOS

EFFECT OF SANITARY CLEANNESS OF PLANTAIN (*Musa AAB SIMMONDS*) CORMS ON PLANT PARASITIC NEMATODES

Óscar Adrián Guzmán¹, Jairo Castaño², Bernardo Villegas³

^{1,2,3} Programa de Maestría en Fitopatología. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas, Manizales, Caldas. ¹ Profesor Auxiliar, Universidad de Caldas. Correo electrónico: oscar.guzman@ucaldas.edu.co ² Profesor Titular, Universidad de Caldas. Correo electrónico: jairo.castano_z@ucaldas.edu.co ³ Profesor Asistente, Universidad de Caldas. Correo electrónico: bernardo.villegas@ucaldas.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 87 - 95, 2012

RESUMEN

El empleo de semilla vegetativa de banano y de plátano favorece la diseminación de nematodos fitoparásitos, como *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multicinctus*, *H. dihystra*, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* y *Rotylenchulus reniformis*. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la limpieza sanitaria “pelado” de cormos de plátano Dominico-Hartón sobre el crecimiento de plántulas y de poblaciones de nematodos fitoparásitos en almácigo. Se utilizaron seis tratamientos, cada uno con 20 cormos, 40 con limpieza sanitaria “pelado” en suelo estéril con y sin inmersión en aldicarb; 40 cormos tradicionales (sin pelar), con y sin inmersión en aldicarb y 40 cormos con limpieza sanitaria “pelado”, con y sin inmersión en aldicarb, en suelo infestado por fitonematodos. Los tratamientos fueron asignados en un diseño experimental completamente aleatorio. El mejor tratamiento fue el empleo de suelo esterilizado (libre de nematodos) y cormos con limpieza sanitaria “pelado”, sin encontrarse diferencia estadística con el uso o no de aldicarb, ya que no se hallaron nematodos fitoparásitos, tanto en raíces como en suelo, después de 50 días; mientras que en los demás tratamientos, la cantidad de nematodos fitoparásitos osciló entre 143 y 2.495 individuos, en 100g de raíces y entre 11 y 18 nematodos, en 100g de suelo. Los resultados demostraron que la limpieza sanitaria “pelado” de cormos permite obtener plántulas libres de nematodos fitoparásitos, lo que favorece su buen crecimiento y desarrollo, práctica que permite llevar material sano al campo.

Palabras clave: Semilla, sanidad, musáceas, *Radopholus similis*.

SUMMARY

The use of vegetative seed of banana and plantain favor the dissemination of plant parasitic nematodes such as: *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Helicotylenchus multicinctus*, *H. dihystra*, *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* and *Rotylenchulus reniformis*. The objective of this study was to determine the effect of the sanitary cleanness “peeled” of corms of Dominico-Hartón plantain on seedlings’ development and plant parasitic nematodes population, in the nurseries. The assay included six treatments, each one, with 20 corms, distributed as follow: 40 corms with sanitary cleanness “peeled” in sterilized soil, with and without immersion in aldicarb; 40 traditional corms with and without immersion in aldicarb; and, 40 corms with sanitary cleanness “peeled” with and without immersion in aldicarb, in infested soil with plant parasitic nematodes. The treatments were assigned in a completely randomized experimental design. The best treatment was the use of sterilized soil (free of nematodes) and corms with sanitary cleanness, without having statistically differences using or not aldicarb, since was not found plant parasitic nematodes after 50 days, in comparison to the other treatments in which the population of nematodes ranged between 143 y 2,495 individuals on 100g of roots and between 11 and 18 nematodes on 100g of soil. The results demonstrated that the practice of the sanitary

cleanness “peeled” of corms, allows producing seedlings free of nematodes, which favors good growth and development of the seedlings, permitting to bring clean planting material to the field.

Key words: Seed, health, musaceae, *Radopholus similis*.

INTRODUCCIÓN

El plátano, se siembra tradicionalmente por medio de material vegetativo o asexual, como cepas, cormos o yemas laterales, que emergen de la base de la planta principal de cultivos previos (Martínez *et al.* 1999; Aguas & Martínez, 2003; Tenkouano *et al.* 2006; Díaz *et al.* 2007). Debido a esto, el material de siembra infectado ha propiciado la diseminación mundial de plagas, como el nematodo barrenador *Radopholus similis* (Cobb) Thorne y otros fitonematodos (Sarah *et al.* 1996; Gowen *et al.* 2005).

R. similis es, en la mayoría de los países donde se siembra plátano, el más abundante y constituye más del 70% de la población de nematodos en las raíces. Este fitonematodo se desarrolla y completa su ciclo de vida dentro de las raíces de las plantas afectadas (Araya, 2003) y puede producir lesiones de longitud variable (5 cm o más) en forma de estrías que, inicialmente, son de color amarillo claro, luego, rosado rojizas y, finalmente, cafés o negras. En algunos casos produce depresiones en el tejido que modifican la anatomía cilíndrica original de las raíces (Blake, 1969; Oramas & Román, 2006). En infestaciones altas, las lesiones rodean completamente las raíces, destruyéndolas totalmente (Sarah *et al.* 1996; Marín *et al.* 1998; Gowen *et al.* 2005). Dicha coloración, se caracteriza por estar infestada con todos los estados de desarrollo del nematodo (Sarah *et al.* 1996; Marín *et al.* 1998; Gowen *et al.* 2005).

Las plantas afectadas por *R. similis* pierden anclaje por el deterioro del sistema radical, por lo cual, tienden a desraizarse o volcarse, particularmente, durante vientos y lluvias fuertes (Loos & Loos, 1960; Sarah *et al.* 1996; Sarah, 2000; Araya, 2003), lo que reduce el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) entre 52 y 80% (Fogain, 2000; Moens *et al.* 2004).

Las principales estrategias de manejo de los nematodos fitoparásitos en musáceas están determinadas por prácticas agronómicas, tales como: evitar la introducción de los nematodos en el suelo antes de establecer un cultivo, promover la sanidad y el vigor de las raíces de las plantas, reducir la oportunidad que el nematodo penetre las raíces o rizomas y utilizar material de siembra libre de fitonematodos (Loos & Loos; 1960; Blake, 1969; Sarah, 2000; Guzmán & Castaño, 2004; Araya, 2003; Gowen *et al.* 2005; Hauser, 2007).

En Colombia, los cultivos menores de 5ha son establecidos, en su mayor parte, con cormos sin tratar; consecuentemente, estos llevan consigo problemas fitosanitarios, resultando en la contaminación de los nuevos cultivos. En algunas ocasiones, se realizan prácticas como la inmersión de los cormos en solución de aldicarb, en dosis de 10mL L⁻¹, en carbofuran, en dosis de 20mL L⁻¹, en agua caliente, a 60°C durante 30 min o en agua hirviendo a 100°C por 1 min, que contribuyen a la reducción de la población de nematodos (Guzmán & Castaño, 2004; Ramírez & Castaño, 2009).

Debido a que uno de los métodos más sencillos y económicos para el manejo de los nematodos fitoparásitos consiste en pelar o mondar los rizomas hasta cerca de la región de mangin para remover los tejidos lesionados y erradicar los nematodos fitoparásitos, se planteó este trabajo, cuyo objetivo fue determinar el efecto de la limpieza sanitaria “pelado” o “mondado” de los cormos de plátano Dominico-Hartón, sobre el crecimiento de las plántulas y poblaciones de nematodos fitoparásitos, en condiciones de almácigo, método que hasta el momento no se ha utilizado ni recomendado en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento, se realizó en la granja Montelindo, de la Universidad de Caldas, ubicada en la vereda Santágueda, municipio de Palestina, departamento de Caldas, a 5° 05' N y 75° 40' W y a 1.050 msnm. Durante el experimento, se registró una temperatura promedio anual de 23°C y precipitación acumulada de 1.800 mm.

Se utilizaron cormos de plátano Dominico-Hartón, con un peso promedio de 1.357g. Unos, como cormos tradicionales, a los cuales, se les retiraron las raíces solamente (Figura 1A) y, otros, con limpieza sanitaria “pelado” (Figura 1B).

La limpieza sanitaria consistió en hacer cortes “pelado” con un cuchillo del tejido necrosado de los cormos afectados, principalmente, por nematodos fitoparásitos y picudos, para eliminarlos, de tal manera que al finalizar el procedimiento, se obtuvieron cormos de color crema claro. La práctica de limpieza sanitaria, en algunos cormos, se realizó máximo hasta 5cm antes de la región donde se forman las raíces o región de mangin. Los cormos con daño severo que involucraba profundizar hasta la región de mangin fueron desechados. Después de realizar esta práctica, los cormos quedaron con un peso promedio de 771g, lo que indica que el tejido eliminado fue de aproximadamente 585g.

Los cormos, se sembraron en bolsas de 5 kg de capacidad. El llenado de las bolsas, se hizo con suelo de la misma gran-

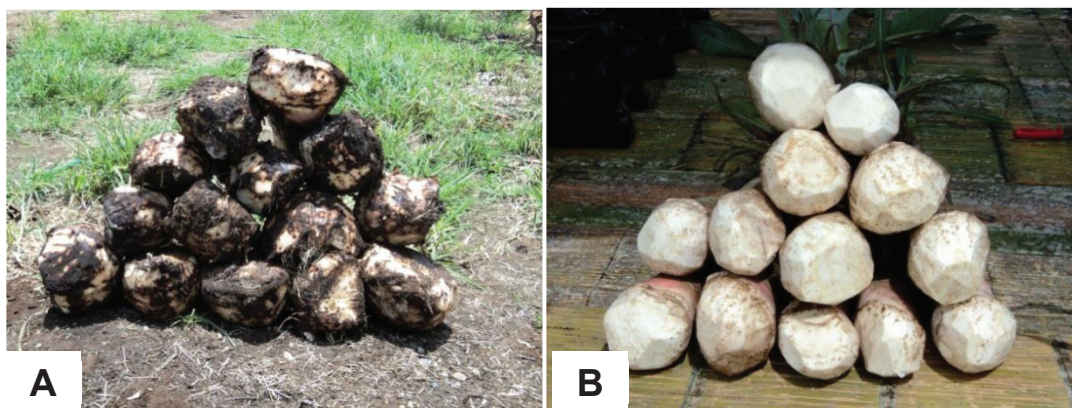


Figura 1. Material de siembra de plátano Dominico-Hartón. A. Cormo tradicional sin raíces. B. Cormos con limpieza sanitaria “pelado”.

ja, originado a partir de cenizas volcánicas andesíticas de grano fino, clasificado como Tipic dystrandept con buena fertilidad natural y textura franco arenosa (Salazar & Duque, 1994).

Para conocer el efecto de la limpieza sanitaria “pelado” de los cormos de plátano sobre el desarrollo de las plántulas y su efecto en las poblaciones de nematodos fitoparásitos, se utilizaron 120 cormos, repartidos en seis tratamientos, con 20 cormos cada uno, de la siguiente manera: los tratamientos 1 y 2, correspondieron a cormos pelados con y sin inmersión en aldicarb (Temik® 15GR, 1% durante 1 hora), respectivamente, sembrados en suelo esterilizado con dazomet (Basamid®, 50g m²-1, durante 15 días); los tratamientos 3 y 4 fueron cormos tradicionales con y sin inmersión en aldicarb, respectivamente, también sembrados en suelo esterilizado con dazomet y los tratamientos 5 y 6, correspondieron a cormos con limpieza sanitaria “pelado” con y sin inmersión en aldicarb, respectivamente, sembrados en suelo infestado naturalmente con *R. similis*.

Antes del establecimiento del experimento, se contabilizó la población inicial de nematodos fitoparásitos, tanto en el suelo esterilizado e infestado como en las raíces de las plantas de donde se obtuvieron los cormos. Para ello, se recolectaron 2kg de muestra de cada uno y se trasladaron al laboratorio de Fitopatología del departamento de Producción Agropecuaria de la Universidad de Caldas, donde se realizó la extracción de los nematodos, basados en el principio de flotación en azúcar, descrito por Meredith (1973) y Araya *et al.* (1995).

Se obtuvieron los promedios para la variable ‘número de nematodos fitoparásitos’, de cada género o especie. La identificación, se realizó en un microscopio de luz marca LW

Scientific Revelation III en el objetivo 40X y con las claves taxonómicas de Thorne (1961), Maggenti *et al.* (1987), Luc *et al.* (1990), Hunt (1993), Mai *et al.* (1996) y Siddiqi (2000).

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con 20 unidades experimentales (cormos) en cada tratamiento. A cada unidad experimental, se le aplicó riego cuando fue requerido, hasta el final del experimento, con un intervalo de 4-5 días, con el fin de mantenerla a 60% de capacidad de campo. A los 60 días después de la siembra, se realizó un muestreo destructivo de todas las plantas de cada tratamiento, para evaluar la población de fitonematodos: número de nematodos por 100 g de suelo y de raíces y las variables de crecimiento: porcentaje de brotación (plántulas efectivas/cormos sembrados), altura de plántulas (distancia en centímetros desde el nivel del suelo hasta la base de hoja bandera) y biomasa (materia seca de raíces de cada unidad experimental).

Para el análisis de los datos, se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis System), con el cual, se obtuvo el análisis de varianza y las diferencias entre tratamientos, según la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La población inicial de nematodos fitoparásitos resultante del análisis de suelo, antes de ser tratado con dazomet, fue de cinco individuos del género *Helicotylenchus* Cobb, mientras que en el suelo infestado se obtuvieron 190 individuos de *R. similis* y 246 de *Helicotylenchus*, en 100g de suelo.

La población inicial de nematodos fitoparásitos en raíces fue de 33.390 individuos de *R. similis* y de 2.385 de *Helicotylen-*

chus en 100g de raíces, lo cual, evidenció la alta población de nematodos en los cormos utilizados en el experimento.

En la población de nematodos fitoparásitos, después de los tratamientos, el mejor tratamiento fue el empleo de suelo esterilizado (libre de nematodos) y cormos con limpieza sanitaria “pelado”, sin presentar diferencia con el uso (tratamiento 1) o no (tratamiento 2) de aldicarb, ya que no se encontraron nematodos fitoparásitos, tanto en raíces como en suelo, después de 50 días del tratamiento, en comparación con los demás tratamientos, en los que la cantidad de nematodos fitoparásitos osciló entre 143 y 2.495 individuos en 100g de raíces y entre 11 y 18 nematodos en 100g de suelo (Figura 2).

En suelo esterilizado y cormos tradicionales con inmersión en aldicarb (tratamiento 3) o sin ésta (tratamiento 4), sólo se encontró *R. similis* en raíces, mientras que en suelo infestado de nematodos y cormos con limpieza sanitaria con inmersión en aldicarb (tratamiento 5) o sin ésta (tratamiento 6), el 79% de los fitonematodos fueron *R. similis*, el 11% *Helicotylenchus* y el resto *Tylenchus* Bastian y *Aphelenchus* Bastian (Figura 2).

Estos resultados coinciden con los de Loos & Loos (1960), quienes al hacer un pelado superficial de cormos parasitados fuertemente por *R. similis* y sembrados en aserrín y suelo estériles, obtuvieron plántulas libres de nematodos fitoparásitos, después de 12 y 19 semanas del tratamiento, respectivamente.

Tenkouano *et al.* (2006) y Hauser (2007) afirman que los cormos de plátano y banano pelados a 5mm de la capa más externa, desprovistos de raíces y tejido necrosado, están libres de nematodos fitoparásitos y picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar). En esta investigación, el pelado se hizo hasta cerca de la región de mangin, cuya ubicación depende del tamaño del cormo, lo que demuestra que el empleo de esta práctica sanitaria evita que poblaciones de nematodos fitoparásitos sean transportadas con los cormos “semillas” infectados a áreas libres de éstos.

Cormos obtenidos de plantaciones de banano y de plátano infectadas por el nematodo Barrenador (*R. similis*) son el principal medio de supervivencia y de dispersión de este (Loos & Loos, 1960; Sarah *et al.* 1996; Araya, 2003; Coyne *et al.* 2003; Gowen *et al.* 2005). Por tal motivo, la limpieza

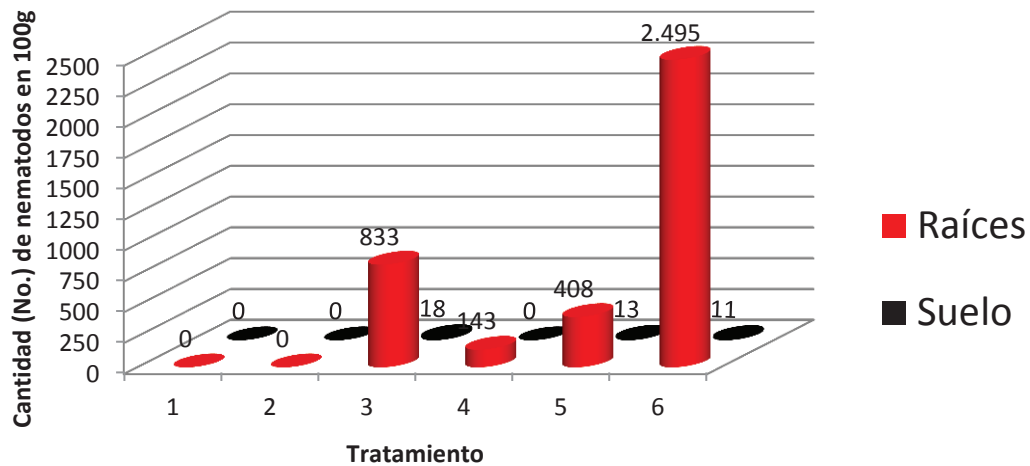


Figura 2. Cantidad de nematodos fitoparásitos en suelo y raíces después de 50 días del tratamiento. 1. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 2. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb, 3. Cormos tradicionales con inmersión en aldicarb, 4. Cormos tradicionales sin inmersión en aldicarb, 5. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 6. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb.

sanitaria “pelado” de cormos de lotes infestados de nematodos fitoparásitos permite obtener plántulas libres de estos (Fogain, 2000; Tenkouano *et al.* 2006; Hauser, 2007), como queda confirmado en esta investigación.

El sistema radical de las plántulas con limpieza sanitaria “pelado” o “mondado” (tratamientos 1 y 2) fue completamente blanco, indicando raíces sanas y libres del nematodo Barrenador (*R. similis*), como se indicó anteriormente. Así mismo, el sistema radical de las plántulas obtenidas de cormos tradicionales y sembrados en suelo estéril (tratamientos 3 y 4), presentó algunas raíces con necrosis y las plántulas provenientes de cormos con limpieza sanitaria y sembrados en suelo infestado de nematodos fitoparásitos (tratamientos 5 y 6), mostraron raíces necróticas y de coloración violeta. De estas raíces, se extrajo el nematodo espiral *Helicotylenchus* spp., el cual, ha sido asociado a dicha sintomatología, por Gowen *et al.* (2005), quienes afirman que *H. multicinctus* (Cobb) Golden produce lesiones color marrón rojizo a negro en banano y plátano.

Según Díaz *et al.* (2007), el cormo de las musáceas funciona, inicialmente, como reserva temporal de nutrimentos para la nueva planta, que emergerá e iniciará su desarrollo, dependiendo de dichas reservas, mientras ocurre la emisión de raíces suficientes, que le permita absorber agua y nutrimentos del suelo, requeridos para su desarrollo. Al eliminar el tejido dañado de los cormos, también se elimina tejido sano, que

sirve de fuente de nutrimentos, lo que reduce viabilidad y vigor de las plántulas que emergen, con alta probabilidad de morir antes de desarrollar un sistema radicular apropiado. Estas afirmaciones no coinciden con los resultados de esta investigación, debido a que los cormos con limpieza sanitaria “pelado”, presentaron una excelente brotación y, además, las plántulas tuvieron un apropiado desarrollo del sistema radical y aéreo (Figura 3). Debido a que los cormos estaban libres de nematodos, aunque la brotación fue muy buena, ésta ocurrió ocho días después de la brotación de los cormos tradicionales.

Cuando el cormo está afectado por *R. similis*, la remoción de tejidos contaminados, mediante limpieza sanitaria “pelado”, es una práctica sencilla, eficaz y de fácil adopción por los agricultores para el manejo de este nematodo (Loos & Loos; 1960; Blake, 1969; Sarah, 2000; Gowen *et al.* 2005; Hauser, 2007).

Los resultados anteriores demuestran que la limpieza sanitaria “pelado” de los cormos permite obtener plántulas libres de nematodos fitoparásitos, como el nematodo Barrenador (*R. similis*), lo cual, favorece el crecimiento y el desarrollo de las plántulas e incrementa la producción.

En relación con las variables de crecimiento, se obtuvo una brotación alta de los cormos en todos los tratamientos, que osciló entre 90 y 100%. Esta última, se obtuvo utilizando

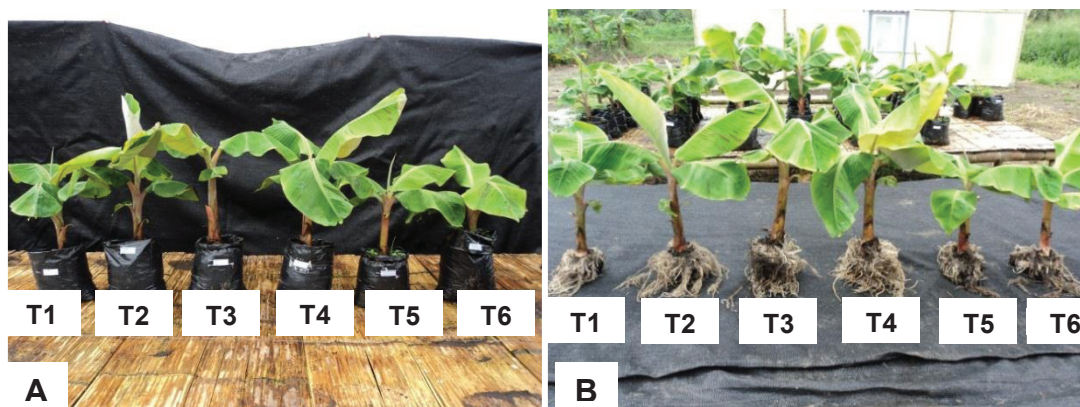


Figura 3. Plántulas de plátano Dominico-Hartón (*Musa AAB*) en bolsas de almácigo (A) y con raíces desnudas (B), después de 50 días del tratamiento. 1. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 2. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb, 3) Cormos tradicionales con inmersión en aldicarb, 4. Cormos tradicionales sin inmersión en aldicarb, 5. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 6. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb.

suelo tratado con el fumigante dazomet más cormos con limpieza sanitaria “pelado” y cormos convencionales, ambos tratados con el nematicida aldicarb.

Referente a la materia seca de raíces, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el sistema de raíces de las plántulas provenientes de cormos con limpieza sanitaria “pelado” y los cormos tradicionales (Figura 4). Es de resaltar los tratamientos 5 y 6 (suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con y sin inmersión en aldicarb, respectivamente), donde la materia seca presentó los valores más bajos (Figura 4), atribuidos a la presencia de *R. similis* y *Helicotylenchus* spp., que afectaron el crecimiento del sistema radical de las plántulas.

En cuanto a la materia seca de la parte aérea de las plántulas, los tratamientos 2, 3 y 4 con suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en nematicida y los tratamientos en suelo esterilizado y cormos tradicio-

nales con y sin inmersión en nematicida, respectivamente, fueron los que presentaron el mayor contenido de materia seca, con un peso promedio de 13,86g, sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos, pero sí con los demás tratamientos. (Figura 4). Esto se explica, porque los cormos tradicionales no presentan daño mecánico por acción del pelado y, para el caso del cormo pelado, el efecto de la sanidad también contribuye al buen desarrollo y no afecta el contenido de materia seca. Aunque el tratamiento 1 (suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb) presentó diferencias estadísticas con los tratamientos que obtuvieron el mayor peso en materia seca de la parte aérea, el peso promedio de materia seca fue de 12g, similar al promedio de los mejores tratamientos arriba mencionados.

Tal como se obtuvo en los resultados de materia seca de raíces, los tratamientos 5 y 6 presentaron el menor contenido de materia seca aérea, con un peso promedio de 7,89g (Fi-

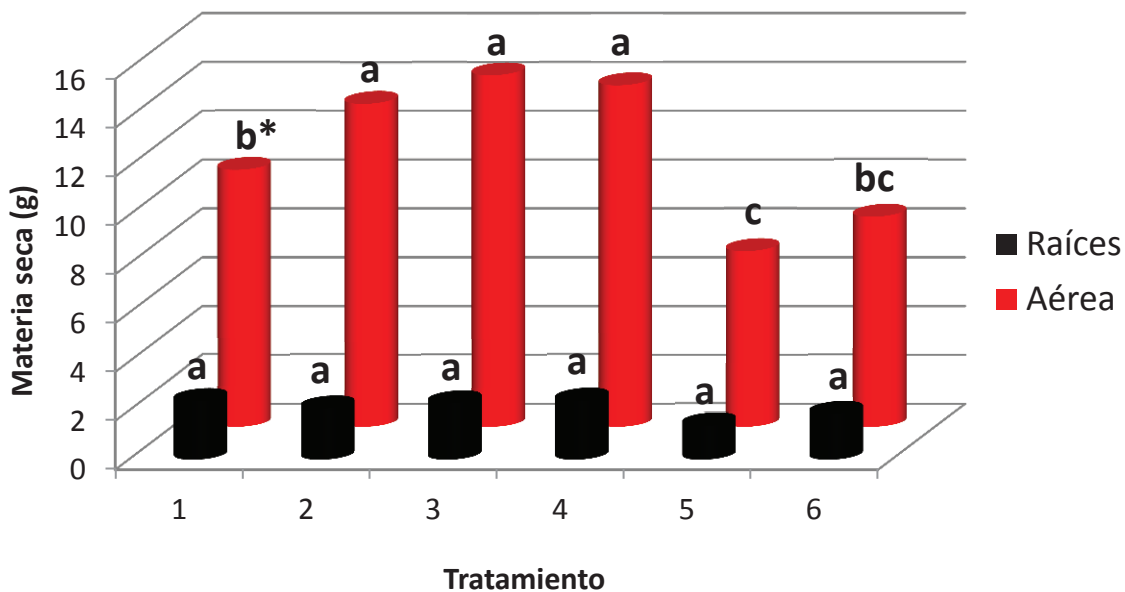


Figura 4. Materia seca de raíces y parte aérea de plántulas de plátano Dominico-Hartón, después de 50 días del tratamiento. 1. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 2. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb, 3. Cormos tradicionales con inmersión en aldicarb, 4. Cormos tradicionales sin inmersión en aldicarb, 5. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 6. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb.

*Las columnas seguidas por la misma letra no se diferencian significativamente, de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%.

gura 4), atribuido a la presencia de *R. similis* y *Helicotylenchus* spp., que afectaron el crecimiento y desarrollo aéreo de las plántulas (Figura 3).

Moens *et al.* (2003) encontraron una reducción lineal en el peso de raíces de *Musa* AAA cv. Grande Naine cuando *R. similis* fue inoculado. Como consecuencia, el peso de las raíces disminuyó en 3,9g (16%) por cada inoculación sucesiva de 1.000 nematodos. Sarah *et al.* (1993) hallaron que después de ocho semanas de exponer plántulas de plátano Valery a una población de 300 individuos de *R. similis*, el peso de las raíces se disminuyó entre 19 y 80%. Así mismo, Hahn *et al.* (1996), empleando la misma cantidad de individuos de este nematodo y en la misma variedad, encontraron, después de doce semanas, una reducción en el peso de las raíces superior al 30%.

Respecto a la altura de las plántulas, se hallaron resultados similares a los obtenidos con la materia seca aérea, en donde el uso de suelo esterilizado y cormos con limpieza sani-

taria “pelado” sin inmersión en nematicida (tratamiento 2) y cormos tradicionales con y sin inmersión en nematicida (tratamientos 3 y 4) fueron los que presentaron la mayor altura con un promedio de 24,84cm, sin presentar diferencias estadísticas significativas entre ellos (Figura 5).

Por el contrario, las plántulas que presentaron menor altura fueron aquellas provenientes del empleo de suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con y sin inmersión en aldicarb, cuya altura promedio fue de 16,41cm, es decir, 8cm menos que en los tratamientos con suelo libre de nematodos fitoparásitos.

Como resultado del ataque de los nematodos fitoparásitos, principalmente *R. similis*, Fogain (2000), en Njombe (Camerún), encontró que las plantas parasitadas por este nematodo tuvieron una altura menor de 21 y 18cm, en comparación con las plantas tratadas con nematicidas en el primero y segundo ciclo productivo, respectivamente.

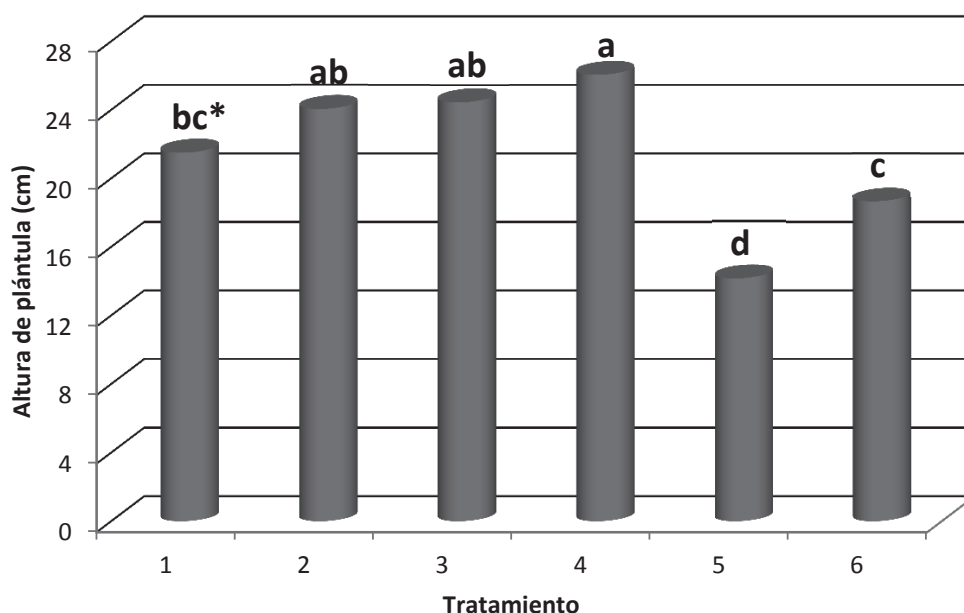


Figura 5. Altura (cm) de plántulas de plátano Dominico-Hartón (*Musa* AAB) después de 50 días del tratamiento. 1. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 2. Suelo esterilizado y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb, 3. Cormos tradicionales con inmersión en aldicarb, 4. Cormos tradicionales sin inmersión en aldicarb, 5. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” con inmersión en aldicarb, 6. Suelo infestado por nematodos fitoparásitos y cormos con limpieza sanitaria “pelado” sin inmersión en aldicarb.

*Las columnas seguidas por la misma letra no se diferencian significativamente, de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%.

La limpieza sanitaria, pelado o mondado de cormos, permitió obtener plántulas de plátano Dominico-Hartón libres de nematodos fitoparásitos, como el nematodo Barrenador (*R. similis*), al igual que un mayor contenido de materia seca, lo cual, permite llevar al campo material de propagación sano e incrementar la producción del cultivo.

En Colombia, la práctica de limpieza sanitaria de cormos puede ser fácilmente adoptada por los cultivadores de plátano y de banano, debido a que es sencilla, económica y no contamina el medio ambiente; por lo tanto, se recomienda incluirla en el manejo integrado de plagas, como nematodos fitoparásitos y picudos.

Agradecimientos. Este estudio fue financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas. **Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIAS, A.A.; MARTÍNEZ, M. 2003. Técnicas rápidas para la multiplicación de semillas de plátano. Boletines Divulgativos Ecorregión Caribe (COL), (69), 7p.
- ARAYA, M.; CENTENO, M.; CARRILLO, W. 1995. Densidad poblacional y frecuencia de los nematodos parásitos de banano (*Musa AAA*) en nueve cantones de Costa Rica. CORBANA (Costa Rica). 20(43):6-11.
- ARAYA, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. En: Rivas G.; Rosales, F. eds. Manejo Convencional y alternativo de la Sigatoka Negra, Nematodos y Otras Plagas Asociadas al Cultivo de Musáceas en los Trópicos. INIBAP, Francia.p.79-102.
- BLAKE, C.D. 1969. Nematode parasites of banana and their control. In: Peachy, J.E. (Ed). Nematodes of Tropical Crops. Technical Communication No. 40. St Albans, UK, Commonwealth Bureau of Helminthology. p.109-132.
- COYNE, D.; KAJUMBA, C.; KAGODA, F. 2003. Nematode management at the International Institute of Tropical Agriculture. In: Blomme, G.; Gold, C.; Karamura, E. (eds.), Farmer-Participatory Testing of Banana Integrated Pest Management Options for Sustainable Banana Production in Eastern Africa, Proc. Workshop on Farmer-participatory testing of IPM options for sustainable banana production in Eastern Africa, held in Seeta, Uganda, 8-9 December 2003, INIBAP, Montpellier, France. p.141-148.
- DÍAZ, M.J.; RIVERA, C.M.; DURÁN, L. 2007. Como proteger de las plagas del suelo los cormos-semilla de plátano y banano. 1a ed. La Lima, Cortés, Honduras: FHIA, Departamento de Protección Vegetal. 18 p.
- FOGAIN, R. 2000. Effect of *Radopholus similis* on plant growth and yield of plantain (*Musa AAB*). Nematology. 2:129-133.
- GOWEN, S.; QUÉNÉHERVÉ, P.; FOGAIN, R. 2005. Nematodes parasites of bananas and plantains. Chapter 16: En: Luc, M.; Sikora, J.; Bridge, J. (eds). Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. p.611-643.
- GUZMÁN, O.; CASTAÑO, J. 2004. Reconocimiento de nematodos fitopatógenos en Dominico Hartón (*Musa AAB* Simmonds) África, FHIA 20 y FHIA 21 en la granja Montelindo, municipio de palestina (Caldas), Colombia. Rev. Acad. Col. Cienc. Ex., Fís. Nat. 38(107):295-301.
- HAHN, M.L.; SARAH, J.L.; BOISSEAU, M.; VINES, N.J.; WRIGHT, D.J.; BURROWS, P.R. 1996. Reproductive fitness and pathogenicity of selected *Radopholus similis* populations on two banana cultivars. Plant Path. 45:223-231.
- HAUSER, S. 2007. Plantain (*Musa* spp. AAB) bunch yield and root health response to combinations of physical, thermal and chemical sucker sanitation measures. Afr. Plant Prot. 13:1-15.
- HUNT, D.J. 1993. Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: Their Systematics and Bionomics. CABI Bookshop. 368p.
- LOOS, C.A.; LOOS, S. 1960. Preparing nematode-free banana "seed". Phytopath. 50:383-386.
- LUC, M.; SIKORA, R.; BRIDGE, J. 2005. Plant Parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2nd Edition. 871p.
- LUC, M.; HUNT, D.; MACHON, J. 1990. Morphology, Anatomy and Biology of plant parasitic nematodes – a Synopsis. En: Luc, M.; Sikora, R.; Bridge, J. (eds). Plant Parasitic Nematodes in Tropical Agriculture. CAB International. London. p.1-44.

16. MAGGENTI, A.; LUC, M.; RASKI, D.; FORTUNER, R.; GERAERT, E. 1987. A Reappraisal of Tylenchina (Nemata). 2. Classification of the suborder Tylenchina (Nemata: Diplogasteria). *Revue Nématol.* 10(2):135-142.
17. MAI, W.; MULLIN, P.; LYON, H.; LOEFFLER, K. 1996. Plant parasitic nematodes. A pictorial key to genera. Fifth edition. Comstock Publ. Assoc. A Division of Cornell University Press. 277p.
18. MARÍN, D.; SUTTON, T.B.; BARKER, K.R. 1998. Dissemination of bananas in Latin America and the Caribbean and its relationship to the occurrence of *Radopholus similis*. *Plant Dis.* 82(9):964-974.
19. MARTÍNEZ, G.; MANZANILLA, E.; PARGAS, R. 1999. Modelo de propagación y producción simultánea en musáceas. FONAIAP Divulga (VEN.). 64:2-6.
20. MEREDITH, J. 1973. Algunos métodos de campo y laboratorio para trabajar con nematodos. Maracaibo (Venezuela). 44p.
21. MOENS, T.; ARAYA, M.; SWENNEN, R.; DE WAELE, D.; SANDOVAL, J. 2003. Growing medium, inoculum density, exposure time and pot volume: factors affecting the resistance screening for *Radopholus similis* in banana (*Musa* spp.). *Nematropica* 33(1):9-26.
22. MOENS, T.; ARAYA, M.; SWENNEN, R.; DE WAELE, D. 2004. Enhanced biodegradation of nematicides after repetitive applications and its effect on root and yield parameters in commercial banana plantations. *Bio-FertilSoils* 39:407-414.
23. ORAMAS, D.; ROMÁN, J. 2006. Histopatología de los nematodos *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae*, *Rotylenchulus reniformis* y *Meloidogyne incognita* en plátano (*Musa acumulata* X *M. balbisiana*, AAB). *J. Agric. Univ. P.R.* 90(1-2):83-97.
24. RAMÍREZ, C.; CASTAÑO, J. 2009. Efecto del tratamiento químico de la semilla de plátano con diferentes productos y tiempos de exposición sobre la población de nematodos fitoparásitos. *Fitotecnia.* 144:2.
25. SALAZAR, H.; DUQUE, S. 1994. Manejo cultural y químico de la pudrición acuosa del pseudotallo (*Erwinia chrysantemi* pv. *paradisica*) en *Musa* sp. *Fitopat.* Col. 18(1):20-35.
26. SARAH, J.L. 2000. Burrowing nematode. In: Jones, D.R. (ed.) Diseases of banana, Abacá and Enset. CABI Publishing, Wallingford, UK. p.295-303.
27. SARAH, J.L.; PINOCHET, J.; STANTON, J. 1996. El nematodo barrenador del banano *Radopholus similis* Cobb. Plagas de *Musa* - INIBAP, Francia. Hoja Divulgativa No. 1. 2p.
28. SARAH, J.L.; SABATINI, C.; BOISSEAU, M. 1993. Differences in pathogenicity to banana (*Musa* sp. cv. Poyo) among isolates of *Radopholus similis* from different production areas of the world. *Nematropica.* 23:73-79.
29. SIDDIQI, M.R. 2000. Tylenchida: Parasites of plants and insects, 2nd Edition. CABI Bookshop. 834p.
30. TENKOUANO, A.; HAUSER, S.; COYNE, D.; COULIBALE, O. 2006. Clean planting materials and management practices for sustained production of banana and plantain in Africa. *Chron. Hort.* 46:1418.
31. THORNE, G. 1961. Principles of nematology. New York, McGraw Hill, Book Company. 553p.

Recibido: Octubre 10 de 2011

Aceptado: Abril 19 de 2012

CRECIMIENTO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FLORES EN CALAS (*Zantedeschia aethiopica* (L.) K. Spreng) EXPUESTAS A DIFERENTE CALIDAD DE LUZ

GROWTH, PRODUCTION AND FLOWER QUALITY IN CALLA LILY (*Zantedeschia aethiopica* (L.) K. Spreng) EXPOSED TO DIFFERENT LIGHT QUALITY

Fánor Casierra-Posada¹, Paola J. Nieto², Christian Ulrichs³

¹ Ingeniero Agrónomo, PhD. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - UPTC, Tunja. Grupo de investigación Ecofisiología Vegetal. E-mail: fanor.casierra@uptc.edu.co (Autor para correspondencia).

² Ingeniera Agrónoma, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia – UPTC. ³ Prof. Dr. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Urbane Ökophysiologie der Pflanzen, Lentzeallee 55/57, 14195 Berlin, Germany.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 97 - 105, 2012

RESUMEN

La cantidad, la calidad y la duración de la luz afectan el crecimiento vegetal. La calidad de la luz, se refiere al color o la longitud de onda que llega a la planta. La manipulación espectral, se orienta a promover, específicamente, respuestas fisiológicas deseadas. Se estudió la influencia de la calidad de la luz sobre el crecimiento, la producción y la calidad de flor en calas (*Zantedeschia aethiopica*). Las plantas, se cultivaron en el municipio de Tunja, Colombia, en invernadero, bajo diferentes calidades de luz, proporcionadas por películas de polipropileno (control sin cobertura de color, amarillo, verde, azul transparente y rojo). Las películas de color permitieron, también, diferentes niveles de sombreado. Los tratamientos, se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar, con diez repeticiones. Las películas del filtro, se colocaron 1m por encima del cultivo, desde el momento del trasplante hasta la cosecha de las plantas. La calidad de la flor, en cuanto a la longitud del pedúnculo, fue afectada positivamente por el sombreado; sin embargo, el número de flores, su tiempo de aparición y la asignación de masa seca a las flores no fueron influenciados por los tratamientos aplicados. Las respuestas de las plantas de cala en relación con las tasas de crecimiento fueron la consecuencia de la acción conjunta de la cantidad y la calidad de la luz incidente. Cala mostró gran versatilidad para adaptarse a las condiciones de la oferta ambiental, lo que se manifestó en modificaciones morfo-anatómicas y fisiológicas en los vegetales, que crecieron bajo condiciones de espectro manipulado.

Palabras clave: *Zantedeschia aethiopica*, área foliar, masa seca, fotomorfogénesis, flores de corte.

SUMMARY

The quantity, quality and duration of light affect plant growth. Light quality refers to color, or wavelength, that reaches the plant. The spectral manipulation is aimed to specifically promote desired physiological responses. The influence of light quality on growth, production and flowers quality was studied in calla lily plants (*Zantedeschia aethiopica*). Plants were grown in Tunja / Colombia, in a greenhouse, under different light qualities (control without colored cover, yellow, green, blue transparent and red) provided by polypropylene filter film. The colored films provided too different levels of shading to plants. The treatments were laid out in a randomized complete block design where each treatment was replicated ten times. The filter films were set 1m above the crop canopy at transplanting until the harvest of plants. The flowers quality related to the length of peduncle was positively affected by shading, however the number of flowers, the flowering time and the dry mass allocation to flowers were not influenced by the applied treatments. The response of plants in relation to growth rates were the result of joint action of both, the quantity and quality of incident light. Calla lily showed versatility to adapt to environmental conditions, which was manifested through physiological and morpho-anatomical changes in plants growing under manipulated spectra.

Key words: *Zantedeschia aethiopica*, leaf area, dry mass, photomorphogenesis, cut flowers.

INTRODUCCIÓN

Zantedeschia sp. es una planta de origen sudafricano (Cruz-Castillo *et al.* 2008), conocida como cala, lirio de agua o cartucho; es una especie bulbosa, cuyo cultivo mundial es relativamente reciente (Funnell, 1994). Entre los factores que limitan el incremento de las áreas sembradas en Colombia y en otros países, se encuentran la falta de información sobre el manejo agronómico, los altos costos de material vegetal y la susceptibilidad de los bulbos al ataque de agentes patógenos.

Esta planta es apreciada por sus inflorescencias, que consisten de numerosas flores adjuntas a lo largo de un espádice envuelto por una espata, la cual, junto con el espádice, sostenidos por el pedúnculo, se consideran como la flor (Funnell, 1993). Generalmente, su producción protegida y a cielo abierto ocurre en áreas con clima templado, como en Estados Unidos de Norteamérica, en Nueva Zelanda, en Italia y en México (Cruz-Castillo *et al.* 2008). En Colombia, se le cultiva tanto en invernadero como a cielo abierto. Estas plantas presentan fotoperiodo neutro (Robinson *et al.* 2000) y prefieren temperaturas entre 15 y 28°C que, por lo general, son proporcionadas dentro de invernaderos (De Pascale & Paradiso, 2006)

Por otra parte, la luz, uno de los factores más importantes del entorno vegetal, no sólo es un sustrato energético, sino un regulador de procesos fisiológicos en los vegetales (Alyabyev *et al.* 2002). Se han determinado utilizando plantas de *Arabidopsis*, tres tipos de receptores de la luz: el criptocromo 1, el criptocromo 2 y la fototropina, los cuales, regulan, primordialmente, la inhibición del hipocótilo, el momento de la floración y el fototropismo, respectivamente (Lin, 2000). Se han realizado ensayos para evaluar la respuesta de las plantas a la luz de diferentes colores. Es así, como se encontró que la regulación de la posición de las hojas de *Arabidopsis* sp. es altamente dependiente de la luz azul y roja (Inoue *et al.* 2008). En plantas de fresa, en relación con las plantas que crecieron a libre exposición, los valores de la fluorescencia F_v , F_m y F_t fueron mayores en las plantas colocadas bajo coberturas de polipropileno de colores amarillo, verde, azul, rojo y transparente; además, el valor de F_0 fue mayor bajo las coberturas amarilla y transparente, mientras que el cociente F_v/F_m fue menor bajo las películas de estos colores (Casierra-Posada *et al.* 2011)

Dado que se deben presentar a los cultivadores alternativas de cultivo que incrementen el rendimiento, el objetivo del presente estudio fue la evaluación del efecto de cubrimiento

de diferentes colores sobre los parámetros básicos del crecimiento, la producción y la calidad de la flor en plantas de cala, cultivadas bajo invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo, se llevó a cabo en el municipio de Tunja, Colombia, en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), bajo condiciones de invernadero. En promedio, se registró dentro del invernadero, una temperatura de 16,2°C y 71,8% de humedad relativa, durante el ensayo. Se utilizaron plantas de cala, cuya propagación se realizó de manera vegetativa. El material usado para las coberturas fue papel celofán de colores: transparente, azul, amarillo, rojo y verde. Las características de radiación y de opacidad registradas bajo las coberturas, se presentan en la tabla 1, las cuales, fueron determinadas con un medidor de luz Fieldsout 3415F (Spectrum Technologies, Inc, USA). Las plantas control crecieron bajo las mismas condiciones que las demás, pero sin cobertura. Se adecuó el invernadero con tubería y con mangueras, para la conexión de un sistema de aireación a contenedores de vidrio, con el fin de oxigenar las plantas. Los contenedores, se cubrieron con papel aluminio y se colocaron las plántulas en una solución nutritiva completa. Se montaron bastidores forrados cada uno, con una cobertura diferente de color.

La solución nutritiva (pH 6,5) tenía la siguiente composición en mg L⁻¹: nitrógeno nítrico, 40,3; nitrógeno amoniacal, 4,0; fósforo, 20,4; potasio, 50,6; calcio, 28,8; magnesio, 11,4; azufre, 1,0; hierro, 1,12; manganeso, 0,112; cobre, 0,012; zinc, 0,0264; boro, 0,106; molibdeno, 0,0012 y cobalto, 0,00036. Los bastidores, se colocaron sobre las mesas, cada uno con diez plántulas en su interior, separadas 40cm.

Se realizó el seguimiento del consumo de agua, que se tomaba una vez por semana, como el agua faltante en los contenedores. Con este valor, se calculó la eficiencia en el uso del agua, como el cociente entre la masa seca total por planta y el agua consumida, durante el tiempo del ensayo. De la misma manera, se determinó el tiempo de aparición de la flor, mediante monitoreos semanales. Se evaluó la calidad de la flor dada por la longitud del tallo y el diámetro de la base de la espata. Para la toma de esta variable, se realizaba el corte en la base de la flor para luego ser medida con un metro y con un pie de rey el diámetro; así mismo, se llevaba el registro del número de flores cortadas en cada planta, según los tratamientos.

Para la determinación de la masa seca, se tomó cada planta y se separó la raíz de los pecíolos y éstos de las hojas, a las cuales, se les hacía la lectura de área foliar, con un medidor Li-cor 3000A (Li-cor, Lincoln, Nebraska – USA).

Tabla 1. Radiación y opacidad medidas bajo las coberturas de color.

Color de la cobertura	Radiación fotosintéticamente activa	Opacidad
	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	(%)
Control	299,94	0
Transparente	210,46	29,83
Azul	99,31	66,89
Amarillo	152,19	49,25
Rojo	86,95	71,01
Verde	78,87	73,70

Al inicio del experimento, se registró el peso seco de los diferentes órganos en diez plantas de las plántulas, tomadas como material de siembra, con miras a tener estos valores iniciales, para el cálculo de los índices de crecimiento, según la metodología reportada por Hunt (1990).

Se utilizaron 60 plantas, 6 tratamientos, cada uno con 10 plantas. Cada tratamiento correspondió a un color de cobertura (control sin cobertura de color, amarillo, verde, azul transparente y rojo). Para el análisis, se tomó una planta, como unidad experimental; se dispuso de un diseño completamente al azar, con 10 replicaciones. Se realizó el análisis de varianza (ANAVA) y los tratamientos se compararon, mediante la prueba de separación de promedios de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los análisis estadísticos, se realizaron con la versión 17.0.0 de SPSS (Statistical Product and Service Solutions, Chicago, Illinois, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de agua: Con relación a las plantas control sin cobertura, el consumo de agua se redujo en todas las plantas expuestas a las coberturas de color, incluso, en la cobertura transparente, con diferencias altamente significativas ($P < 0,01$). En comparación con las plantas control sin cobertura, la mayor reducción se presentó en las plantas que se desarrollaron bajo la cobertura azul, con 22,68% menos consumo de agua. Por su parte, la cobertura de color verde provocó una reducción del consumo de agua de 8,95% (Tabla 2).

De acuerdo con Maleszewski & Kozłowska-Szerenos (1998), tanto la luz roja como la azul afectan la apertura estomática; sin embargo, algunos autores consideran que sólo la luz azul es la responsable de este mecanismo (Lawson *et al.* 2002). Rabiza-Świder & Skutnik (2004) encontraron que en hojas cortadas de *Z. aethiopica*, la mayor apertura estomática

(8,2 μm) se observó con la exposición a la luz azul. Bajo condiciones de luz roja, los estomas mantuvieron una apertura de 4,6 μm , lo que sería casi la mitad de la encontrada con la luz azul. Por tanto, sería de esperarse que en el presente estudio, las plantas expuestas a la luz azul tuvieran mayor consumo de agua que aquellas colocadas bajo la cobertura de color rojo; no obstante, sucedió lo contrario, puesto que al analizar el consumo de agua, sin excluir el efecto de la apertura de los estomas, se debe considerar también el área foliar. Fue así como las plantas bajo la cobertura roja tuvieron mayor área foliar que las que crecieron bajo la cobertura azul, lo que les permitió una mayor posibilidad de transpiración, como se muestra en la tabla 2.

Eficiencia en el uso del agua: Bajo la cobertura de color azul, las plantas presentaron un valor de la eficiencia en el uso del agua 12,65% menor que las plantas control, mientras que las demás coberturas revelaron valores porcentuales por encima de las plantas control. Los valores más elevados, se registraron con las coberturas transparente y verde, cuyos promedios fueron 23,41 y 19,36% superiores a los registrados por las plantas control (Tabla 2). Al respecto, se hallaron diferencias significativas ($P < 0,01$).

Se debe tomar en consideración que la eficiencia en el uso del agua es una medida de la efectividad de los estomas en maximizar la fotosíntesis, reduciendo la pérdida de agua por transpiración (Hatfield *et al.* 2001). Wang *et al.* (2009) reportaron que en *Cucumis sativus*, las plantas que crecieron expuestas a luz monocromática mostraron crecimiento y tasa de asimilación de CO_2 reducidos en comparación con aquellas que crecieron bajo luz blanca. La reducción en estos parámetros fue más notoria en plantas expuestas a luz de color verde, amarilla y roja. Tomado en consideración estos resultados, se puede justificar el mejor comportamiento de las plantas que crecieron bajo la cobertura transparente, en comparación con otros colores de cobertura o con el testigo. De hecho, los bastidores que sostenían las coberturas

Tabla 2. Parámetros implicados en el crecimiento en calas (*Zantedeschia aethiopica* L.) expuestas a coberturas de colores.

Color de la cobertura	Consumo de agua	Eficiencia en el uso del agua	Masa seca total	Área foliar	Longitud de la flor	Diámetro de la base de la espata
	(L)	(g L ⁻¹)	(g)	(cm ²)	(cm)	(cm)
Control	20,96 b	1,81 ab	37,71 bc	640,21 bc	47,40 a	0,94 b
Transparente	18,23 ab	2,24 c	40,81 bc	505,60 ab	47,28 a	0,90 b
Azul	15,97 a	1,58 a	26,48 a	350,50 a	49,57 ab	0,73 a
Amarillo	17,01 a	1,91 abc	32,37 ab	381,70 a	54,08 b	0,88 b
Rojo	18,44 a	1,95 abc	36,07 bc	490,21 ab	55,12 b	0,89 b
Verde	19,08 ab	2,16 bc	41,31c	727,58 c	68,40 c	0,98 b
C.V.*	14,69	18,55	22,73	36,90	16,32	12,21

En cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05)
* Coeficiente de variación de Pearson

plásticas estaban cerrados por todos los costados, excepto por la parte de abajo. Esto pudo limitar, notablemente, la transpiración, lo que se puede verificar con la información presentada en la tabla 2, en la cual, se observa que las plantas control sin cobertura presentaron mayor consumo de agua que aquellas colocadas bajo la cobertura transparente. Además, tomando en consideración que, según Wang *et al.* (2009) la luz blanca mejora la tasa de asimilación de CO₂ y el ΦPS II, en comparación con la exposición a luz monocromática, se justifica la mayor eficiencia en el uso del agua, expuesto por las plantas que crecieron bajo la cobertura transparente, las cuales, estuvieron puestas a luz blanca y tuvieron una evapotranspiración menor que las plantas control.

Masa seca total: El masa seca total registrado en las plantas fue superior al registrado en las plantas control, bajo las coberturas verde y transparente, con valores de 9,53 y 8,23%, respectivamente (Tabla 2). Por su parte, las coberturas de color azul, amarillo y rojo indujeron una reducción de 31,85 14,15 y 4,34%, respectivamente, en relación con las plantas control sin cobertura. Al respecto, se encontraron diferencias significativas (P<0,01).

Jordi *et al.* (1994) mencionan que sólo la luz roja tiene la capacidad de posponer los procesos degradativos en las hojas de *Alstroemeria* sp. De igual forma, Rabiza-Świder & Skutnik (2004) reportaron que la respuesta a la calidad de la luz varió en *Z. aethiopica* y en *Hosta*. De hecho, la exposición a la luz roja duplicó la longevidad de hojas cortadas de *Z.*

aethiopica, en comparación con hojas expuestas a la luz azul, mientras que en *Hosta*, la luz azul prolongó la vida en florero de las hojas. El efecto positivo en ambas especies estuvo relacionado con el retraso en la degradación de la clorofila, en cada caso con la exposición de las hojas a luz azul o roja. Por otra parte, Jordi *et al.* (1994) mencionan que en hojas cortadas de *alstroemeria*, la luz roja reduce las pérdidas de clorofila y prolonga la actividad fotosintética. El resultado encontrado en hojas de *Z. aethiopica*, se puede comparar con la reducción en el peso seco total, obtenido en el presente trabajo, cuando las plantas se expusieron a la cobertura de color azul, puesto que evidenciaron la menor producción de masa seca, debido, posiblemente, a que la luz azul tiene un efecto negativo en la degradación de la clorofila y la este pigmento es el fotorreceptor responsable de la primera etapa, en la transformación de la energía de la luz solar en energía química.

Área foliar: El análisis estadístico arrojó diferencias altamente significativas (P<0,01). La cobertura de color verde estimuló el desarrollo de las hojas, cuya área fue 13,64% mayor que la de las plantas control sin cobertura. Por otro lado, las coberturas de colores transparente, azul, amarillo y rojo indujeron una reducción del área foliar, en términos de 21,02; 45,25; 40,37 y 23,42%, respectivamente, en relación con las plantas sin cobertura (Tabla 2).

El incremento en el área foliar en las plantas expuestas a la cobertura de color verde, se explica con base en la característica generalizada en la plantas que toleran la

sombra, incrementar su área foliar bajo esta condición (Valladares *et al.* 2004). Cuando una especie tiene la capacidad adaptativa para compensar la deficiencia de luz ocasionada por el sombreado, hay un incremento en el área foliar, con lo cual, se logra la máxima absorción de la luz incidente (Morales Neto *et al.* 2000). Por tanto, en el presente estudio, las plantas colocadas bajo la cobertura de color verde incrementarían su área foliar, para lograr una mayor captura de luz; sin embargo, llama la atención que la cobertura de color rojo, a pesar de tener una opacidad muy similar a la de la cobertura color verde, no indujo un incremento del área foliar, tan notorio como la de color verde, lo que se puede explicar con el hecho que la radiación en el rango del rojo es más activa para la fotosíntesis, mientras que la actividad en el rango del verde es bastante débil, como manifiestan Lazo & Ascencio (2010); por ende, las plantas colocadas bajo la cobertura de color verde necesitaban mayor área foliar, para compensar la poca efectividad de la luz para el proceso fotosintético, en este rango del espectro.

Calidad de la flor: Los tratamientos con las coberturas de color no afectaron significativamente el número de flores por planta ni la precocidad en la aparición de las flores, pero sí la longitud de los pedúnculos ($P < 0,01$), en donde sobresale el tratamiento con cobertura verde, que presentó pedúnculos 44,30% más largos que las plantas sin cobertura (Tabla 2). De igual manera, las plantas expuestas a coberturas de color azul, amarillo y rojo mostraron pedúnculos 4,57; 14,09 y 16,28% más largos que las plantas control. En cuanto a la longitud de los pedúnculos, las flores de plantas a libre exposición y expuestas a las coberturas de color transparente y azul, se encontraban en la 1ª selección, según los patrones de clasificación utilizados por Schnettler *et al.* (2006), quienes ubican en esta categoría, las flores con tallos que tienen una longitud de 40-50cm y, en 2ª selección, las flores con tallos de 30-40cm. Las coberturas de color amarillo, rojo y verde indujeron la producción de tallos de una calidad superior a la 1ª selección, como se observa en la tabla 2.

La exposición de las plantas a las coberturas de color ocasionó una reducción en el diámetro de la base de la espata, cuya reducción máxima se evidenció con la cobertura de color azul, que alcanzó un diámetro 22,34% menor que en plantas sin cobertura. Las coberturas de color transparente, amarillo, rojo y verde indicaron valores del diámetro de la base de la espata 4,25; 6,38; 5,31 y 4,25% menores que las plantas control (Tabla 2).

Es un hecho que la calidad de la luz afecta la longitud de los pedúnculos, puesto que Heo *et al.* (2003) revelaron que la longitud de los pedúnculos de *Cyclamen persicum* eran más cortos cuando se exponían a la luz fluorescente que a la luz de color rojo; sin embargo, Wilfret *et al.* (1976)

demonstraron que el sombreado incrementa la longitud de los pedúnculos en plantas de pompón (*C. morifolium* Ramat.). De hecho, el pedúnculo de la flor terminal fue 52% más largo que en plantas que crecían a plena exposición, puesto que el sombreado causa etiolación de los pedúnculos, lo que permite su elongación. Este reporte concuerda con el resultado del presente trabajo, cuando las plantas se desarrollaron bajo las coberturas de color verde y rojo, que presentaron las flores de mayor longitud (Tabla 2), debido a pedúnculos más largos, lo que coincide con las coberturas de mayor grado de opacidad (73,70 y 71,01%, respectivamente). Por otra parte, Funnell (1994) menciona que la floración en *Zantedeschia* sp. no depende del fotoperiodo; no obstante, resalta la importancia de la intensidad de la luz en este evento, puesto que la longitud del peciolo se incrementa cuando las plantas se exponen a niveles reducidos de luz. Bajo un sombreado del 50%, en verano (PAR: 15 mol m⁻²), la longitud del pedúnculo se puede incrementar entre 13 y 87%, en comparación con plantas a plena exposición. El mismo autor menciona que la longitud del pedúnculo bajo condiciones de sombreado depende, en gran medida, del material vegetal y de la temperatura, dado que el incremento en la longitud del pedúnculo ocurre cuando las plantas crecen expuestas a temperaturas bajas y sombra. También se ha reportado la inhibición total de la floración, como consecuencia de un sombreado, del 40 ó 50%.

Fukuda *et al.* (2002) detectaron que al irradiar con luz azul la parte superior del pedúnculo de flores de geranio (*Pelargonium zonale*), se deprimió la elongación celular en esa zona. Ellos indicaron que al realizar esta irradiación con luz en el rango del rojo lejano, las células de la corteza y de la médula eran 20µm más largas que con la luz roja, mientras que en pedúnculos iluminados con luz azul, la longitud de las células permaneció inalterada. Este reporte confirma el resultado hallado en el presente estudio, en el cual, las plantas que crecían bajo la cobertura azul exteriorizaron un diámetro menor en la base de la espata o parte superior del pedúnculo, que aquellas que se desarrollaron bajo condiciones de cobertura de color rojo (Tabla 2).

Tasa de crecimiento absoluto (TCA): El color de la cobertura afectó la TCA con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,01$). Con excepción de las coberturas de color transparente y verde, todos los demás colores de la cobertura indujeron valores de la TCA por debajo del valor que reflejaron las plantas control sin cobertura, en comparación con las plantas control. Al respecto, la cobertura de color azul motivó un valor de la TCA 39,24% menor que el valor encontrado en las plantas control, con diferencias significativas entre estos dos tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Relaciones de crecimiento en calas (*Zantedeschia aethiopica* L.) expuestas a coberturas de colores.

Color de la cobertura	Tasa de crecimiento absoluto	Tasa de crecimiento relativo	Tasa de asimilación neta
	(g d ⁻¹)	(g g ⁻¹ d ⁻¹)	(g m ⁻² d ⁻¹)
Control	0,1417 b	0,0034 b	1,8409 ab
Transparente	0,1527 b	0,0035 b	2,2660 b
Azul	0,0861 a	0,0026 a	1,6585 a
Amarillo	0,1155 ab	0,0031 b	2,0906 ab
Rojo	0,1318 b	0,0033 b	2,0497 ab
Verde	0,1548 b	0,0036 b	1,8468 ab
C.V.*	27,46	13,16	23,39

En cada columna, letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P<0,05)
* Coeficiente de variación de Pearson

De manera similar a lo encontrado en el presente trabajo en relación con el valor de la TCA en plantas colocadas bajo la cobertura azul, en un ensayo con semillas de brócoli que germinaron bajo coberturas de color amarillo, azul, naranja y transparente, se compararon con las plántulas que crecían a libre exposición. Durante la fase del semillero, las plántulas expuestas a cobertura azul mostraron baja acumulación de materia seca, en relación con los demás colores (Casierra-Posada & Rojas, 2009). Se debe tomar en consideración que las hojas absorben fotones en los rangos del azul y del rojo del espectro de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), mientras que la absorción en el verde es más débil (Lazo & Ascencio, 2010). A pesar de esto, la cobertura de color azul tuvo un efecto depresivo sobre el valor de la TCA, reflejado también en la producción total de masa seca (Tabla 3), mientras que la TCA en plantas expuestas a la cobertura de color verde, no mostró diferencias estadísticamente significativas con las plantas control sin cobertura. Esto sugiere que las plantas de *Z. aethiopica* no muestran un buen desempeño en cuanto a la producción de asimilados, cuando se exponen a la luz con una alta proporción en el rango del azul.

Tasa de crecimiento relativo (TCR): Esta variable mostró un comportamiento muy similar al registrado para la TCA. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el valor de la TCR presentada por las plantas expuestas a la cobertura de color azul y los demás tratamientos, incluyendo las plantas control sin cobertura (P<0,01). De igual modo, como se evidenció en la TCA, el valor de la TCR fue menor en las plantas expuestas a las coberturas de color azul, amarillo y rojo, mientras que las coberturas de color transparente y verde mostraron valores de TCA 3,62 y 4,58%, por encima del valor registrado por las plantas control, sin diferencia

significativa entre estos tres tratamientos. La cobertura de color azul indujo un valor de la TCR 22,01% menor que las plantas sin cobertura, con diferencia estadísticamente significativa entre estos tratamientos (Tabla 3).

En relación con el comportamiento de los parámetros de crecimiento hallados en el presente ensayo, vale la pena mencionar que Wang *et al.* (2009), al exponer plantas de *C. sativus* a luz de diferentes colores, apreciaron que todas las plantas que crecieron expuestas a luz monocromática reflejaron tasa de asimilación de CO₂ y rendimiento cuántico del transporte de electrones en el PSII (ΦPS II), reducidos en comparación con aquellas que crecieron bajo luz blanca. La reducción en estos parámetros fue más notoria en plantas expuestas a luz de color verde, amarilla y roja. Además, la disminución en el valor del ΦPS II, se debió, principalmente, a la reducción en la disipación fotoquímica (photochemical quenching - qP).

Tasa de asimilación neta (TAN): Se encontró diferencia estadísticamente significativa en cuanto a este parámetro, en las plantas expuestas a las coberturas transparente y de color azul (P<0,01). A pesar que no se evidenció diferencia significativa para el valor de la TAN entre las plantas sin cobertura y aquellas expuestas a cobertura transparente, las plantas expuestas a esta última revelaron un valor de la TAN 23,09% mayor que las plantas sin cobertura. Por su parte, la cobertura de color azul redujo 9,90% en valor de la TAN, en relación con las plantas control, sin diferencias significativas entre estos dos tratamientos (Tabla 3).

Si se toma en consideración que la TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta o una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de

área foliar en una unidad de tiempo (Brown, 1984), los tratamientos con mayor iluminación, como el control y la cobertura transparente, pudieron haber provocado en las plantas una mayor producción de asimilados que las plantas bajo las coberturas de otros colores; sin embargo, en el presente trabajo, las plantas control sin cobertura y con cobertura transparente no mostraron diferencias significativas con los tratamientos con coberturas roja y verde, cuyos materiales tenían mayor grado de opacidad. En el presente estudio, la respuesta de las plantas de *Z. aethiopica*, en cuanto a la TAN, presentó patrones similares a los de la eficiencia en el uso del agua, pues de hecho, ambas variables están relacionadas con el rendimiento en términos de masa seca. La eficiencia en el uso del agua indicó un mayor valor promedio en las plantas expuestas a la cobertura transparente, como ya se discutió. De igual manera, la TAN, en ese tratamiento, también se vio favorecida, no como consecuencia de una mayor área foliar, sino por una mayor eficiencia en el uso del agua.

Distribución de la materia seca: La exposición de las plantas de cala a las coberturas de color modificó su patrón de asignación de materia seca a los diferentes órganos, con diferencias estadísticamente significativas en hojas, en peciolo y en raíces, pero no en flores ($P < 0,01$). En el caso de la raíz, se encontraron los menores porcentajes de materia seca, cuando las plantas se expusieron a las coberturas de color azul y verde, mientras que los porcentajes más altos se evidenciaron en las plantas control sin cobertura y en

aquellas cubiertas con celofán transparente y amarillo. En cuanto a la asignación de masa seca a las hojas, la cobertura transparente indujo la menor acumulación de masa seca en estos órganos, mientras que el valor más alto se presentó cuando las plantas se expusieron a la cobertura azul. Por otro lado, cuando las plantas crecieron bajo las coberturas azul y verde, acumularon mayor porcentaje de materia seca en los peciolo, que con los demás tratamientos (Figura 1).

Los patrones de asignación de masa seca a los diferentes órganos de la planta de *Z. aethiopica*, se modificaron con la exposición de las plantas a las diferentes coberturas de color, en especial, bajo las coberturas de color azul y verde, puesto que, según reporte de Wilfret *et al.* (1976), el sombreado causa etiolación de los pedúnculos, lo que facilita su elongación. Por otro lado, la maximización del área foliar relativa a la biomasa (Relación de área foliar - RAF), se logra mediante un aumento de la expansión de la biomasa foliar en el espacio (Björkman, 1981), como sucedió en las plantas colocadas bajo las coberturas azul y verde, que tuvieron mayor acumulación de masa seca en las hojas, en comparación con los demás tratamientos. Otro estudio (Svenson, 1993), en el cual, en plantas de fresa colocadas en materos de colores verde o blanco y expuestas a diferentes grados de sombreado, se encontró que el color del contenedor no tuvo influencia sobre en masa seca de coronas y hojas; sin embargo, un sombreado del 60% combinado con el color blanco de la materia redujo notablemente el masa seca de los órganos de la parte aérea y de los frutos, en comparación

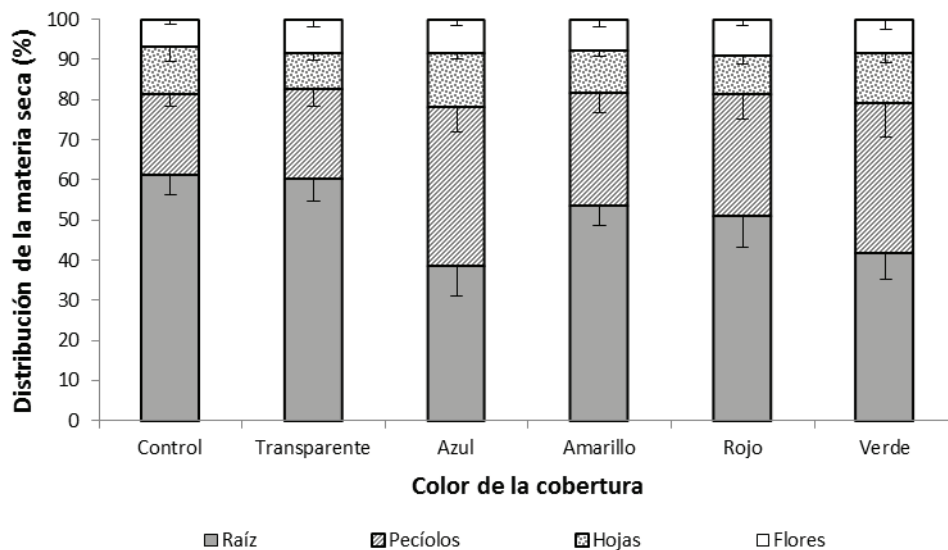


Figura 1. Distribución de la materia seca en calas, *Zantedeschia aethiopica* (L.), expuestas a coberturas de colores.

con el mismo nivel de sombreado y color verde de la materia. Por tanto, se podría inferir que las plantas de *Z. aethiopica* presentan gran plasticidad y que a través de ella responden al sombreado y a la calidad de la luz, con modificaciones morfo-anatómicas, que les permiten ajustarse a la oferta ambiental, sin afectar la asignación de masa seca a las flores.

Dado que la luz incidente enriquecida en una franja específica del espectro visible afecta el crecimiento y las características morfológicas de las plantas de cala, es posible mejorar la calidad de las flores, en cuanto a la longitud del pedúnculo, cuando las plantas se exponen a la luz de color verde; no obstante, como se evidenció a través de los resultados del presente trabajo, a pesar que estas plantas se ajustan, hasta cierta medida, a la oferta ambiental en relación con la cantidad de iluminación, muestran mejores respuestas en cuanto al crecimiento, cuando se exponen a alta iluminación. Así que colocar iluminación adicional con focos de luz en el rango del verde, bajo condiciones de plena iluminación, sería una práctica que contribuiría positivamente al mejoramiento del crecimiento y la calidad de flores en estos vegetales.

Agradecimientos: Este estudio, se desarrolló con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), en el marco del plan de trabajo del grupo de investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC. Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALYABYEV, A.JU.; LOSEVA, N.L.; JAKUSHENKOVA, T.P.; RACHIMOVA, G.G.; TRIBUNSKIH, V.I.; ESTRINA, R.I.; PETROV, V.Y. 2002. Comparative effects of blue light and red light on the rates of oxygen metabolism and heat production in wheat seedlings stressed by heat shock. *Thermochimica Acta*. 394:227-231.
2. BJÖRKMAN, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. En: *Physiological plant ecology. I. Responses to the physical environment*. (Eds. O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler). Springer-Verlag. *Encycl. Plant Physiol. New Ser.* 12A. p.57-107.
3. BROWN, R.H. 1984. Growth of the green plant. En: *Physiological basis of crop growth and development*. Am. Soc. Agr., Madison. p.153-174.
4. CASIERRA-POSADA, F.; ROJAS B., J. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agr. Col.* 27(1):49-55.
5. CASIERRA-POSADA, F.; PEÑA-OLMOS, J.E.; ÜLRICH, C. 2011. Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema II en plantas de fresa (*Fragaria* sp.) afectadas por la calidad de la luz: Implicaciones agronómicas. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(2):43-53.
6. CRUZ-CASTILLO, J.G.; TORRES-LIMA, P.A.; ALFARO-CHILMALHUA, M.; ALBORES-GONZÁLEZ, M.L.; MURGÚÍA-GONZÁLEZ, J. 2008. Lombricompostas y apertura de la espata en poscosecha del alcatraz 'Green Goddess' (*Zantedeschia aethiopica* (L) K. Spreng) en condiciones tropicales. *Rev. Chapingo. Serie Hortic.* 14(2):207-212.
7. DE PASCALE, S.; PARADISO, R. 2006. Influencia del régimen térmico y del GA3 sobre *Zantedeschia aethiopica* L. 3er Congreso Argentino de Floricultura. Libro de resúmenes. La Plata, Argentina. p.21-24.
8. FUKUDA, N.; NISHIMURA, S.; NOGI, M. 2002. Effects of localized light quality from light emitting diodes on geranium peduncle elongation. *Acta Hort.* 580:151-156.
9. FUNNELL, K.A. 1993. *Zantedeschia* En: De Hertogh, A.; Le Nard, M. *The physiology of flower of bulbs*. Elsevier. Amsterdam. p.683-704.
10. FUNNELL, K.A. 1994. *Calla growers' handbook*. Disponible desde Internet en: http://www.callacouncil.org.nz/e_books.asp?id=list&s=&bid=1 (con acceso 15/07/11).
11. HATFIELD, J.L.; SAUER, T.J.; PRUEGER, J.H. 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agr. J.* 93:271-280.
12. HEO, J.W.; LEE, C.W.; MURTHY, H.N.; PAEK, K.Y. 2003. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White'. *Plant Growth Reg.* 40(1):7-10.
13. INOUE, S.; KINOSHITA, T.; TAKEMIYA, A.; DOI, M.; SHIMAZAKI, K. 2008. Leaf positioning of *Arabidopsis* in response to blue light. *Molecular Plant.* 1(1):15-26.

14. HUNT, R. 1990. Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners. Londres, Unwin Hyman. 112p.
15. JORDI, W.; POT, C.S.; STOOPEN, G.M.; SCHAPENDONK, A.H.C.M. 1994. Effect of light and gibberellic acid on photosynthesis during leaf senescence of alstroemeria cut flowers. *Physiol. Plant.* 90:293-298.
16. LAWSON, T.; OXBOROUGH, K.; MORISON, J.I.L.; BAKER, N.R. 2002. Responses of photosynthetic electron transport in stomatal guard cells and mesophyll cells in intact leaves to light, CO₂, and humidity. *Plant Physiol.* 128:52-62.
17. LAZO, J.V.; ASCENCIO, J. 2010. Efecto de diferentes calidades de luz sobre el crecimiento de *Cyperus rotundus*. *Bioagro.* 22(2):153-158.
18. LIN, C. 2000. Plant blue-light receptors. *Trends in Plant Science* 5(8):337-342.
19. MALESZEWSKI, S.; KOZŁOWSKA-SZERENOS, B. 1998. Aktualne problemy badań nad aparatami szparkowymi. *Wiad. Bot.* 42:21-31.
20. MORAES NETO, S.; GONÇALVES, J.; TAKAKI, M.; CENCI, S., GONÇALVES, J. 2000. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na mata atlântica, em função do nível de luminosidade. *Rev. Arvore.* 24(1):35-45.
21. RABIZA-ŚWIDER, J.; SKUTNIK, E. 2004. Effect of light on senescence of cut leaves of *Zantedeschia aethiopica* Spr. and *Hosta* Tratt. 'Undulata Erromena'. *Folia Hort. Ann.* 16(1):161-166.
22. ROBINSON, A.; CLARK, C.; CLEMENS, J. 2000. Using 1H magnetic resonance imaging and complementary analytical techniques to characterize developmental changes in the *Zantedeschia* Spreng tuber. *J. Exp. Botany.* 51:2009-2020.
23. SCHNETTLER M., B.; MERA S., A.; PIHÁN S., R. 2006. Evaluación técnico-económica de la producción de calas de color en la región de la Araucanía, Chile. *IDESIA* 24(1):17-24.
24. SVENSON, S. 1993. Shading and pot color influence growth and flowering of strawberry firetails. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 106:286-288.
25. VALLADARES, F.; ARANDA, I.; SÁNCHEZ, D. 2004. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción con el agua. En: Valladares, F. (Ed). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. EGRAF. Madrid. p.335-369.
26. WANG, H.; GU, M.; CUI, J.; SHI, K.; ZHOU, Y.; YU, J. 2009. Effects of light quality on CO₂ assimilation, chlorophyll-fluorescence quenching, expression of Calvin cycle genes and carbohydrate accumulation in *Cucumis sativus*. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology.* 96:30-37.
27. WILFRET, G.J.; OTTE, J.A.; HARBAUGH, B.K. 1976. Chrysanthemum peduncle elongation and a cost analysis of three production methods. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 89:316-319.

Recibido: Julio 17 de 2011

Aceptado: Mayo 12 de 2012

CONTENIDO DE GLUCÓSIDOS EN FUNCIÓN DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN *Stevia rebaudiana* BERT.

GLYCOSIDE CONTENTS DEPENDING ON THE NUTRIENT DEFICIENCIES IN *Stevia rebaudiana* BERT.

Alfredo Jarma O.¹, Enrique Combatt C.², Janer Polo S.³

¹ Ingeniero Agrónomo – Ph.D. Fisiología Vegetal. Profesor Titular Universidad de Córdoba. Carrera 11 No. 62B – 47 - Barrio La Castellana, Montería (Córdoba). E-mail: ajarma@sinu.unicordoba.edu.co. ² Ingeniero Agrónomo – Ph.D. Manejo de Suelos y Nutrición de Cultivos. Profesor Titular Universidad de Córdoba. E-mail: ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co - ³ Ingeniero Agrónomo – M.Sc. en Biotecnología. Asistente de Investigación. Universidad de Córdoba. E-mail: genomajpolo@gmail.com.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 107 - 116, 2012

RESUMEN

A nivel mundial, los reportes de los requerimientos nutricionales de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.), así como de los efectos que las deficiencias de los elementos minerales tienen sobre el contenido de los principales edulcorantes de la hoja, son escasos. El presente trabajo, se realizó en Casa de Vegetación de la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), con el objetivo de determinar el efecto de las deficiencias nutricionales de N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, B, Cu y Zn sobre la concentración de glucósidos totales de la hoja de estevia y, en particular, del rebaudiósido A (RebA), en el genotipo Morita 2. Así mismo, se determinó quincenalmente el contenido de N, P, K, Ca y Mg de raíces, de tallo y de hojas en dos genotipos: Morita 1 (M1) y Morita 2 (M2), hasta el inicio de floración y se estimó la extracción de estos elementos, para una siembra comercial. Los resultados más relevantes indicaron que la concentración de glucósidos totales no se afectó por las deficiencias de nutrientes, aunque la concentración de RebA sólo se redujo ante deficiencias de P, S, K y Cu. La distribución diferencial de los elementos mayores en los órganos de la planta permitió establecer la extracción de estos en kg/ha, que fue respectivamente para M1 y M2 de 24,9 y 30,8 (N); 4,8 y 6,3 (P); 23,7 y 29,9 (K); 9,7 y 10,8 (Ca) y 6,7 y 6,3 (Mg).

Palabras clave: Estevia, estrés nutricional, esteviosidos, rebaudiósido A, nutrición mineral.

SUMMARY

Worldwide, there are few reports of stevia's (*Stevia rebaudiana* Bert.) nutritional requirements, as well as the effects of deficiencies of mineral elements on the content of the main sweetener of the leaf. The study was carried in the greenhouse of Agricultural Sciences Faculty, University of Córdoba (Montería - Colombia), in 2008. The objective was to determine the effect of nutritional deficiencies of N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, B, Cu, and Zn on the concentration of total glycosides of the stevia leaf, in particular of rebaudioside A (RebA) in the Morita 2 genotype. Also, every 15 days, the content of N, P, K, Ca and Mg from the roots, stems and leaves in two genotypes, Morita 1 (M1) and Morita 2 (M2), until the time of flowering onset was estimated. The removal of these elements for commercial planting was also evaluated. The main results indicated that the concentration of total glycosides was not affected by nutrient deficiencies, although the concentration of RebA was reduced, only due to deficiencies in P, S, K and Cu. The differential distribution among genotypes of the major elements in the plant organs allowed to establish their extraction, expressed as kg/ha, respectively for M1 and M2 of 24.9 and 30.8 (N), 4.8 and 6.3 (P), 23.7 and 29.9 (K), 9.7 and 10.8 (Ca) and 6.7 and 6.3 (Mg).

Key words: Stevia, nutritional stress, steviosides, rebaudioside A, mineral nutrition.

INTRODUCCIÓN

El género *Stevia* es exclusivo del continente americano y se distribuye desde el sudeste de Estados Unidos hasta Argentina. *Estevia* (*Stevia rebaudiana* Bert.) es nativa del Norte de Paraguay, empleada por mucho tiempo por los indígenas nativos en tés y preparaciones de alimentos (Dacome et al. 2005), aunque sus principales propiedades son como edulcorante y medicinal.

La información científica indica que la cantidad de los dos principales glucósidos, esteviósido y rebaudiósido A (Brandle & Telmer, 2007), dependen, en gran medida, del genotipo y las condiciones ambientales (Gardana et al. 2010), del manejo de prácticas agronómicas, como la nutrición mineral (Nepovim et al. 1998; Geuns, 2003; Das et al. 2007) y el riego (Fronza & Folegatti, 2003); estas últimas prácticas, además, pueden llegar a aumentar los rendimientos de hoja seca por hectárea, a 2000-3000kg y el contenido de glucósidos de 15-20% (Barathi, 2002).

Los estudios que abordan el tema de la nutrición mineral en *estevia* en el mundo son escasos (Ramesh et al. 2006). Se pueden resaltar trabajos desarrollados en India, en Brasil y en Colombia; por ejemplo, en India, se demostró el efecto positivo de la combinación de bacterias solubilizadoras de fósforo, micorrizas y *Azotobacter* sobre el incremento de biomasa de plantas completas (Das et al. 2008). Trabajos de fertilización de síntesis química en Brasil, reportaron que, para obtener una tonelada de hoja seca por hectárea, se requieren 130 kg/ha, de N; 18,8, de P; 131,5, de K; 43,7, de Ca; 8,3, de Mg y 9,7, de S (Utumi et al. 1999; De Lima et al. 1997a; De Lima & Malavolta, 1997). En Colombia, investigaciones adelantadas por Jarma, en 2008, reportan requerimientos de 70, 9.2 y 32 kg/ha de N, P y K, respectivamente, para obtener una tonelada de hoja seca por hectárea, bajo condiciones controladas de casa de vegetación y de suelos de textura arcillosa.

El efecto de las deficiencias nutricionales sobre la cantidad de glucósidos, también ha sido pobremente documentado. De Lima et al. (1997b) reportan que solamente una deficiencia severa de calcio ocasionó reducciones significativas en la concentración foliar de los edulcorantes.

Considerando el vacío que existe sobre requerimientos y distribución de nutrientes en *estevia*, el presente trabajo fue desarrollado con dos propósitos: el primero, determinar el efecto de las deficiencias nutricionales de N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, B, Cu y Zn, sobre la concentración total de glucósidos, el contenido relativo de rebaudiósido A (RebA) y la relación entre éste y otros glucósidos (OG) en hojas de Morita 2 y, el segundo, evaluar el contenido de elementos mayores

en raíces, en tallos y en hojas, hasta la primera cosecha de hojas de los genotipos Morita 1 (M1) y Morita 2 (M2), únicos materiales conocidos comercialmente en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y material experimental: Se desarrollaron dos trabajos durante el segundo semestre de 2008. El ensayo de deficiencias nutricionales, se realizó bajo condiciones controladas, en invernaderos experimentales (58% de HR, 30°C de temperatura media y 1000 μ moles de fotones fotosintéticos $m^{-2} s^{-1}$) y el de distribución de nutrientes en campo, en la Facultad de Ciencias Agrícolas, de la Universidad de Córdoba (Montería-Colombia), con coordenadas geográficas de 8° 52' LN y 76° 48' LO, 13 msnm y temperatura media anual de 28°C. Las características del sustrato utilizado en el primer ensayo fueron arena pasada por tamiz, lavada y tratada con HCl concentrado comercial, para la purificación del material. Esta arena permaneció en el ácido por 24 horas; después fue sometida a lavados sucesivos con agua corriente, para retirar el exceso de ácido, hasta que el pH alcanzó valores de pH cercanos a 6,0. La segunda investigación fue realizada en suelo con composición de arcillas 2:1, que en su totalidad están compuesta por arcillas illita y montmorillonita.

Contenido de glucósidos en función de deficiencias nutricionales: Se establecieron once tratamientos bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental (UE) correspondió a 15 plantas de M2, sembradas con la misma edad fisiológica (esquejes con 6 pares de hojas), a las cuales, se aplicó, tres veces por semana, una solución nutritiva con el elemento faltante y un testigo experimental (solución completa sin deficiencias de elementos). La denominación de los tratamientos fue la siguiente: T1 (testigo experimental TE), T2 (-N), T3 (-K), T4 (-Ca), T5 (-Mg), T6 (-P), T7 (-S), T8 (-Fe), T9 (-B), T10 (-Cu), T11 (-Zn). Aunque se incluyó el tratamiento sin Mn, no fue posible obtener lectura de glucósidos en las muestras de éste, por escasez de material vegetal. Como solución nutritiva, se usó la solución madre de Johnson, adaptada por De Lima & Malavolta, en 1997 (Tabla 1), a la cual, se le retiraron los elementos respectivos, de acuerdo a cada tratamiento. Antes de establecer el experimento, los esquejes se colocaron en agua deionizada, durante siete días. La siembra, se realizó en macetas plásticas de 5L de capacidad, que contenían un sustrato de arena inerte lavada sin materia orgánica, con las siguientes características: pH, de 6,92; 22 mg kg^{-1} , de S; 5,6, de P; 0,9, de Cu; 76, de Fe; 0,4, de Zn y 79,8, de Mn; 2,1 $cmol_c kg^{-1}$, de Ca; 0,7, de Mg; 0,06, de K; 0,11, de Na y 3,0, de CIC. El muestreo foliar, se realizó a diez plantas escogidas al azar de cada UE, a los 75 días después del trasplante (ddt), justo al momento de iniciar floración.

Tabla 1. Solución madre de Johnson (adaptada por De Lima & Malavolta, en 1997).

Solución	Compuesto	Concentración
A	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1 M (236 g L ⁻¹)
B	KNO ₃	1 M (101 g L ⁻¹)
C	MgSO ₄ ·7H ₂ O	1 M (246.5 g L ⁻¹)
D	K ₂ HPO ₄	1 M (136 g L ⁻¹)
E	FeSO ₄	25 g L ⁻¹
E	NaOH	14 g L ⁻¹
E	Etilenodiaminetracetato de Sodio	26 g L ⁻¹
F	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1,82 g L ⁻¹
G	H ₃ BO ₃	2,86 g L ⁻¹
H	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,22 g L ⁻¹
I	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,88 g L ⁻¹
J	NaNO ₃	1 M (85,01 g L ⁻¹)
K	MgCl ₂	1 M (9523 g L ⁻¹)
L	Na ₂ SO ₄	1 M (142,06 g L ⁻¹)
M	NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	1 M (138,01 g L ⁻¹)
N	CaCl ₂	1 M (110,99 g L ⁻¹)
O	KCl	1 M (74,55 g L ⁻¹)

La concentración de glucósidos totales, se estimó en porcentaje de peso seco del promedio de todas las hojas de la planta, por el método de cromatografía líquida de alta eficacia; se calculó utilizando, en la fase móvil, una mezcla de acetonitrilo y de agua (80:20), con una columna Kromasil 100-5HN₂ (método isocrático) y un patrón de 90% de pureza, considerada como control. Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio de Control de Calidad, de la empresa Prodalya Ltda (Chile). Solo se consideró la presencia de RebA en función de glucósidos totales (GT), por ser de mayor importancia económica (Liu *et al.* 2010). La diferencia entre GT y RebA, se asumió como contenido de OG, para efectos de establecer la relación RebA/OG. Los datos obtenidos fueron analizados bajo el software estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1 y las pruebas de comparación de media, se estimaron al 5%, bajo la prueba de DMS.

Distribución de nutrientes en función del órgano y la edad:

En este segundo experimento, a partir de los 15 ddt, se ejecutaron de cuatro a cinco muestreos quincenales, en los cuales, fueron estimados los contenidos nutricionales en hojas, en tallos y en raíces de plantas completas de M1 y M2. El último muestreo, se llevó a cabo al inicio de floración, que se presentó a los 60 ddt, para M1 y 75, para M2. En

este experimento, se establecieron en campo 1260 plantas de cada genotipo sembrados, a 0,4m, entre surcos y 0,2m, entre plantas.

Los muestreos destructivos, se practicaron en diez plantas de cada genotipo, escogidas al azar y en competencia intra-específica. Para cuantificar Ca, K, Mg y P, inicialmente, se calcinaron las muestras de tejido foliar, para obtener los óxidos o las sales de los elementos, que fueron posteriormente disueltos con ácido clorhídrico 1:1 y llevados a un volumen conocido. La determinación, se efectuó por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) que, para el caso del Ca, K y Mg, se realizó una dilución previa en la que se adiciona lantano y sodio, como supresores de ionización. Los análisis, se hicieron en el Laboratorio de Suelos, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de glucósidos en función de deficiencias nutricionales: Estavariablenosevioafectadasignificativamente ($p > 0.05$) por ninguno de los tratamientos en los que se indujo deficiencia nutricional (Tabla 2). Los resultados indicaron que la concentración total de glucósidos presentes en las hojas,

Tabla 2. Significancia estadística de variables de calidad en hoja de estevia en función de once tratamientos de deficiencias nutricionales.

Fuente de Variación	Gl	Cuadrado Medio del Error		
		GT	RebA	Relación RebA/OG
Tratamientos	10	4,12 NS	8,97**	0,2593**
Media		8,57 (dag kg ⁻¹ en hoja seca)	76,2 (% de GT)	3,39
CV (%)		23,6	3,9	15,0

GT=Glucósidos totales; RebA=Rebaudiósido A; OG=Otros glucósidos; CV = Coeficiente de variación y gl = Grados de Libertad. NS, * y ** = no significativo, significativo ($p \leq 0.05$) y altamente significativo ($p \leq 0.01$).

con un promedio de 8,57% fue bajo al ser comparados con resultados reportados por Hearn & Subedi (2006). Aunque existen pocas referencias mundiales, resultados similares fueron reportados por De Lima & Malavolta (1997), quienes al evaluar el efecto de las deficiencias de N, P, K, Ca, Mg, S, B y Zn sobre la concentración de glucósidos, sólo encontraron efectos importantes en la reducción del edulcorante ante deficiencias severas de Ca; sin embargo, los autores no discuten sus resultados.

Por su parte, Utumi *et al.* (1999) hallaron que sólo las deficiencias de K, Ca y S disminuyeron la concentración de glucósidos (dag kg⁻¹ de hoja seca) y estas deficiencias, a excepción de la de P, disminuyeron el contenido total de glucósidos en la planta; los autores concluyeron que esto último fue una consecuencia directa de la reducción en la biomasa de la misma.

Aunque la nutrición juega un papel definitivo en la síntesis de estas moléculas edulcorantes (Epstein & Bloom, 2005; Jarma, 2008; Das *et al.* 2008) es posible que otras variables, no consideradas en el estudio, como la luz (Ramesh *et al.* 2006; Allam *et al.* 2001), la temperatura (Mizukami *et al.* 1983), el agua (Fronza & Folegatti, 2003), las técnicas de manejo (Geuns, 2003) y la edad de las plantas (De Lima & Malavolta, 1997), entre otros factores, fueron más determinantes en el contenido de glucósidos que las respuestas observadas en este trabajo, por efecto de las deficiencias.

Un resultado interesante del presente trabajo permite establecer que, a pesar de no encontrarse variaciones en la concentración de GT, la concentración del RebA sí

varió significativamente ($p \leq 0.01$), cuando se indujeron las deficiencias (Figura 1). Estos resultados, se pueden considerar novedosos, porque la mayoría de estudios publicados de nutrición y de cantidad de glucósidos, siempre se refieren a glucósidos totales sin discriminarlos (De Lima *et al.* 1997b; Nepovim *et al.* 1998; Utumi *et al.* 1999).

La figura 1 muestra que la concentración de RebA, se redujo significativamente ($p \leq 0.05$) respecto al TE, cuando se indujeron deficiencias de P, S, K y Cu, pero que las deficiencias de N, Ca, Mg, Fe, B y Zn, al parecer, no causan decrecimientos importantes en este glucósido. Probablemente, estos resultados se explican por el estado juvenil de las plantas que no alcanzan a mostrar el efecto de las deficiencias, aunque resultados similares reportaron Bondarev *et al.* (2003), al no encontrar efecto de elementos nutricionales sobre el balance de glucósidos en las hojas de estevia a nivel *in vitro*. La concentración de este glucósido que se presentó en el tratamiento con deficiencia de S son coincidentes con los de Utumi *et al.* (1999); sin embargo, es importante considerar que los autores citados, evaluaron la concentración total de glucósidos, donde además de RebA, estarían presentes otras moléculas edulcorantes en menor proporción y lo que haría diferencia con los resultados observados en este estudio.

Es importante recalcar que uno de los criterios mundiales para determinar la calidad de la hoja está dado por la cantidad de RebA presente en esta parte de la planta, ya que los extractos considerados como más valiosos, son aquellos que tienen RebA como el principal componente (Dacome *et al.* 2005). Esto es debido a sus características organolépticas y fisicoquímicas, al manifestar el mejor perfil

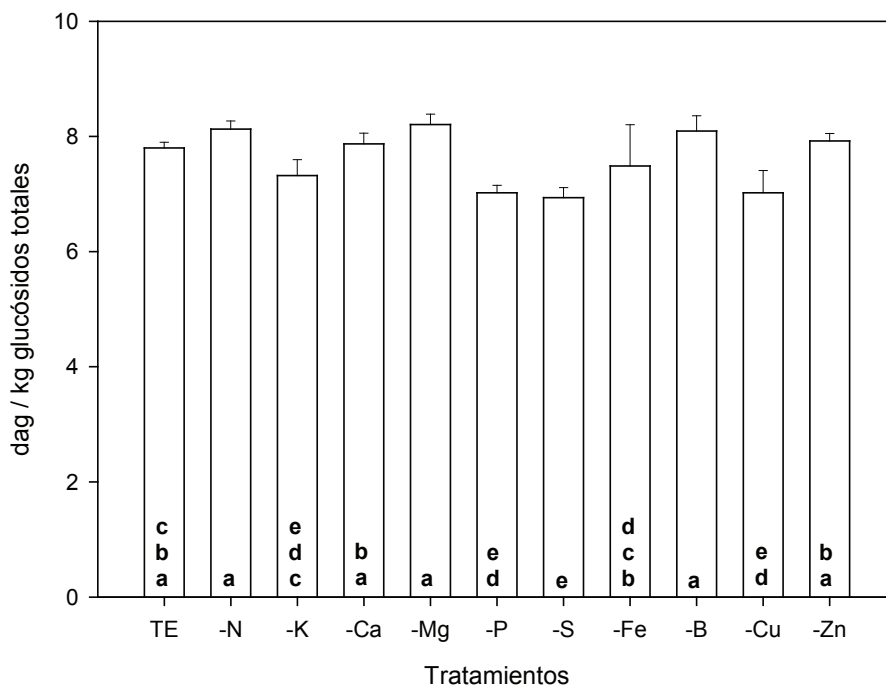


Figura 1. Concentración de rebaudiósido A en hojas de estevia sometidas a deficiencias nutricionales. Barras con la misma letra no difieren estadísticamente, de acuerdo al test protegido de DMS (5%); TE = Desviación estándar.

de sabor respecto a los otros glucósidos y tener una mayor solubilidad en agua, lo que permite una mayor variedad de formulaciones (Brandle, 1999; Brandle *et al.* 2002).

Al considerar la relación RebA/OG, los resultados indicaron que se presentaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.01$), en función de las deficiencias nutricionales (Tabla 3).

Con base en los reportes mundiales, la relación RebA/OG observada en el presente estudio ($3,39 \pm 0,3$), se estima como alta, si se considera que dentro de OG se incluye, principalmente, el esteviósido (St), ya que, por lo general, se informan relaciones RebA/St de 0,2 a 0,4 (Erkucuk *et al.* 2009) 0,5 (Dacome *et al.* 2005); 0,5 a 0,6 (Midmore & Rank, 2002). Estos últimos autores indican que la relación RebA/St es muy importante, por que el St imparte una característica un poco amarga al sabor de los extractos crudos, la cual, no es percibida cuando RebA está en igual o mayor cantidad que St.

Los resultados de la tabla 3 muestran que las deficiencias de K, Cu, P y S redujeron significativamente ($p \leq 0.05$) la relación RebA/OG, sugiriendo que estas carencias reducirían, principalmente, el contenido de RebA o, también, que

umentarían el contenido de OG, aunque con base en las respuestas discutidas en acápite anteriores es probable que la reducción del RebA, ante deficiencias de estos elementos,

Tabla 3. Relación RebA/OG en hojas de estevia sometidas a deficiencias nutricionales.

Tratamiento	Promedio \pm SD
- Mg	4,61 \pm 0,53 a
- N	4,35 \pm 0,42 ab
- B	4,31 \pm 0,81 ab
- Zn	3,82 \pm 0,31 abc
- Ca	3,72 \pm 0,42 bc
TE	3,55 \pm 0,20 bcd
- Fe	3,17 \pm 1,02 cde
- K	2,75 \pm 0,37 def
- Cu	2,39 \pm 0,43 ef
- P	2,36 \pm 0,15 ef
- S	2,27 \pm 0,19 f

TE= Testigo experimental (solución sin deficiencias nutricionales). SD=desviación estándar. Promedios con la misma letra son iguales estadísticamente, según la prueba de DMS (5%).

sea lo más probable. Adicionalmente, no ha sido demostrado que la deficiencia de un elemento derive en el aumento de cualquiera de los glucósidos presentes en la hoja, máxime si se considera su similitud estructural, pues su diferencia radica solamente en la presencia de una glucosa (Carakostas *et al.* 2008). De igual forma, al parecer ninguna de las deficiencias estudiadas registró cambios positivos en la relación RebA/OG respecto al TE, a excepción de la deficiencia de Mg.

Con relación a la variable RebA/OG son pocas las referencias que existen para comparar los resultados de esta investigación, pero es probable que las deficiencias nutricionales generen un efecto diferencial indirecto sobre la síntesis de RebA u OG, ya que la presencia o ausencia de los elementos está ligada a varios cofactores enzimáticos de varias glucosiltransferasas, cuya actividad deriva en elaboración de moléculas de diferentes glucósidos de esteviol por glucosilaciones diferenciales (Richman *et al.* 2005); estas glucosilaciones proceden en propiedades organolépticas distintas; por ejemplo, se reporta que St es 143 veces más dulce que la sacarosa con base en el peso y que el RebA es 242 veces (Brandle & Telmer, 2007).

Es importante indicar que no sorprende el consistente efecto mostrado por el P, en los resultados de este estudio, dado su papel definitivo como constituyente de la mayoría de moléculas que intervienen en la síntesis del kaureno, estructura molecular precursora de glucósidos por la ruta del metil-eritritol fosfato, a partir del ácido pirúvico y del gliceraldehído 3 fosfato (Azcón-Bieto & Talón, 2008; Álvarez-García *et al.* 2005).

Distribución de nutrientes en función del órgano y la edad: En estos resultados, se muestra la tendencia de la distribución de los elementos mayores en función del genotipo y la edad fisiológica de hojas, tallos y raíces (Figura 2).

Nitrógeno: La dinámica de este elemento fue similar para M1 y M2, aunque las eficiencias en el uso de este elemento difieren de manera importante entre especies y dentro de éstas (Fan *et al.* 2005). En los tres órganos, se observó una tendencia decreciente en el tiempo, a excepción de las hojas donde, en promedio para los dos genotipos, a los 30ddt, se presenta un leve incremento de alrededor del 111% que, posteriormente, decrece hasta el inicio de la floración, llegando a un 65% del N inicial (Figura 2).

Probablemente, esta disminución sea debida a una redistribución del nitrógeno hacia las estructuras reproductivas, de próxima aparición, pero que no fueron consideradas en el trabajo, donde sólo se evaluó la distribución de nutrientes hasta el momento de la cosecha comercial (inicio de primordios florales). Tendencias similares

reportaron De Lima *et al.* (1997a), en un trabajo con estevia en Brasil, aunque estos autores sí condujeron la investigación hasta la presencia de flores e, incluso, semillas, órganos que determinaron de manera importante una migración del N desde las hojas.

Fósforo: La figura 2 muestra que, en términos generales, la concentración tisular de P se mantuvo relativamente constante a través del tiempo, siendo la hoja el órgano de mayor concentración del elemento. Al final del ciclo, los niveles foliares de P fueron de 3,9 y 3,1g kg⁻¹ de masa seca para M1 y M2, respectivamente. M1 registró valores más altos de P en hoja y en tallo, en tanto que en la raíz fueron más bajos respecto a M2. De Lima *et al.* (1977a) reportaron concentraciones de P en el tallo de 2,5g kg⁻¹, a los 45 ddt, valores que son similares a los hallados en este estudio en la misma época (2,7 y 2,3g kg⁻¹ para M1 y M2, respectivamente).

De manera similar, el estudio de Brasil encontró concentraciones de P de 1,6g kg⁻¹ en raíz al final del experimento (90 ddt), coincidiendo con los de M1 (1,3g kg⁻¹) y M2 (1,9g kg⁻¹), reportados en este estudio. Siendo las hojas un órgano de mayor tasa de división y de expansión celular que el tallo, así como de mayores tasas de fotosíntesis y de respiración es probable que, dados los requerimientos de energía en éstas, la concentración del P en estas sea mayor respecto al tallo (Su *et al.* 2006).

Potasio: En ambos genotipos y en todos los órganos del vegetal, la concentración de K decreció con el tiempo, registrándose solamente un leve incremento hacia los 60ddt, que luego bajó en el genotipo M2, a los 75ddt (Figura 2). Respecto a las concentraciones iniciales por órgano (hoja 17,5; tallo 25,5 y raíz 15,0g kg⁻¹) y de manera independiente al genotipo, los niveles de K cayeron en 24% (hoja), 48% (tallo) y 33% (raíz), siendo el tallo el órgano con mayores eflujos de este elemento. La disminución en la concentración de K en la planta, a través del tiempo, también fue reportada por De Lima *et al.* (1977a).

Es probable que esta redistribución del K, paralelamente a la del N, se de hacia flores y semillas que estarían a punto de aparecer. Consecuentemente, la hoja sería el órgano que menores niveles de migración presentaría, por la alta actividad fotosintética en pre-floración, donde es requerida una alta eficiencia de K en la apertura y cierre estomático, para mantener el estado hídrico de la planta y la activación de muchas enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración (Taiz & Zeiger, 2006).

Calcio: La concentración de Ca en tejido vegetal registró una tendencia decreciente en los dos genotipos, con respecto a los tiempos de muestreo, como se puede observar en la

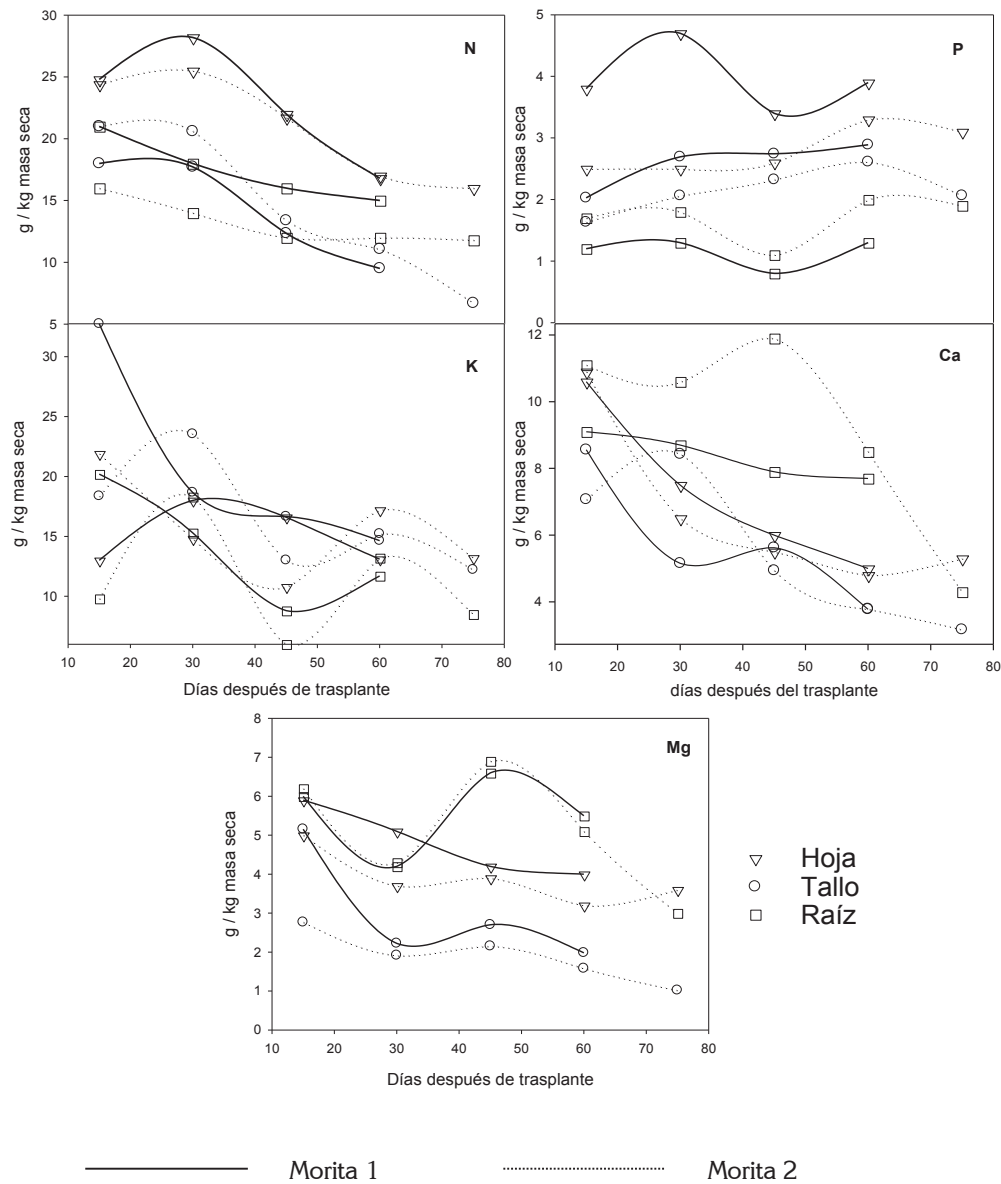


Figura 2. Concentración de elementos mayores (g/kg de masa seca) en tres órganos de dos genotipos de estevia.

figura 2. Los niveles iniciales fueron de alrededor de 9 g kg^{-1} en promedio para todos los órganos y de 4 g kg^{-1} al final del ciclo; sin embargo, al momento de cosecha, la concentración en raíz fue mayor que en el resto de la planta, llegando a representar el 50% del Ca, presente a los 60 ddt, seguido de las hojas (30%) y, por último, en el tallo (20%).

En la raíz, los altos niveles de concentración de Ca podrían ser explicados por la eficiente captación de este elemento por las raíces desde la fracción disponible del suelo, pero poca redistribución de este elemento hacia hoja y tallo. De Lima *et*

al. (1997) encontraron una alta presencia de Ca en raíces al final del ciclo y una migración importante desde el tallo; los autores argumentaron que esto era debido, probablemente, a una redistribución hacia órganos reproductivos. De todas maneras, conociendo la poca movilidad de estos elementos y la dificultad que tiene para ser cargado en el floema, White & Broadley (2003) explican que la migración desde el tallo ocurriría a partir del Ca intercambiable en el xilema y en el apoplasto de las células del tallo, dirigiéndose, principalmente, a las hojas (Marschner, 2002).

Magnesio: Al observar la concentración del Mg en los tres órganos (Figura 2), se nota un comportamiento similar entre los genotipos y los órganos de la planta, registrándose una leve tendencia decreciente en la raíz, en el tallo y en la hoja: en la raíz, a los 60 ddt, fue el órgano donde mayor concentración de este elemento se encontró, con $5,3\text{g kg}^{-1}$; en hoja, $3,6\text{g kg}^{-1}$ y, por último, en el tallo, $1,8\text{g kg}^{-1}$.

Las concentraciones de Mg en los órganos de estevia apreciados en el presente trabajo son más altos que los reportados por De Lima *et al.* (1997a), quienes informaron concentraciones de 0,7; 1,4 y $0,6\text{g kg}^{-1}$, en raíz, en hoja y en tallo, respectivamente, a los 60 ddt. La concentración de Mg en las hojas, que tiende levemente a crecer al final del ciclo en los dos genotipos, podría indicar que este elemento se concentra en este órgano para desempeñar un papel importante en la síntesis de glucósidos de esteviol. En efecto, el Mg se combina con el ATP, permitiéndole participar en muchas reacciones, como la fosforilación del ácido mevalónico AMV, para formar isopentenil-pirofosfato IPP, primer compuesto isoprenoide en la síntesis de estos glucósidos; seguidamente, en la misma ruta de síntesis,

actúa como cofactor de la enzima citoplasmática farnesil pirofosfato sintasa, que cataliza la formación del farnesil pirofosfato (Srivastava, 2002).

Exportación de nutrientes: La tabla 4 registra la masa seca por planta de las hojas a los 60 ddt, para M1 y a los 75 ddt, para M2, y las concentraciones totales por planta de cada elemento.

Con base en la concentración de los elementos nutricionales en la planta, la producción de hoja seca/planta de M1 y M2 desde el trasplante hasta la primera cosecha de hojas y considerando una población de 100 mil plantas/ha, se estimaría una extracción en kg/ha de nutrientes en la época de cosecha de cada genotipo así: 24,9 (N); 4,8 (P); 23,7 (K); 9,7 (Ca) y 6,7 (Mg) para M1 y 30,8 (N); 6,3 (P); 29,9 (K); 10,8 (Ca) y 6,3 (Mg) para M2. Obviamente es necesario considerar que en las cosechas sucesivas de la planta estos valores serán más altos.

De los resultados obtenidos, se puede concluir que las deficiencias nutricionales no influyen sobre la concentración

Tabla 4. Masa seca hojas (g/planta) y concentración de elementos mayores (g/kg de masa seca) de dos genotipos de estevia.

Nutriente	Genotipo	Días después del trasplante				
		15	30	45	60	75
Masa seca hojas/planta (g)	M1	0,88	1,67	3,22	6,08	
	M2	0,91	1,93	3,68	7,65	9,06
		Concentración de elementos (g/kg masa seca)				
N	M1	63,8	63,9	50,3	41,3	
	M2	61,4	60,1	47,1	40,1	34,5
P	M1	7,0	8,7	6,9	8,1	
	M2	5,8	6,4	6,0	7,9	7,1
Ca	M1	32,3	21,4	19,5	16,5	
	M2	29,1	25,5	22,3	17,1	12,8
K	M1	66,0	52,0	42,1	39,4	
	M2	50,1	56,7	29,8	45,6	33,9
Mg	M1	17,1	11,5	13,5	11,5	
	M2	14,0	9,9	13,0	9,9	7,6

de los glucósidos totales en hojas de *Stevia* hasta el momento de la primera floración, aunque el contenido de rebaudiósido A sí se afectó negativamente ante deficiencias de P, S, K y Cu. Por su parte, la demanda de los principales elementos nutricionales que mostraron Morita 1 y Morita 2 indican que existen requerimientos diferenciales de estos, siendo más exigente el segundo, debido a su mayor contenido de biomasa por planta.

Agradecimientos: Los autores expresan sus agradecimientos a los doctores John Alarcón y Andrés Llanos del Laboratorio de Control de Calidad, de la empresa Prodalysa Ltda., en Chile y Colombia, respectivamente, por su colaboración decidida en el análisis de las muestras de contenido de glucósidos totales. **Conflictos de intereses:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Este estudio fue financiado por la Universidad de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLAM, A.I.; NASSAR, A.M.; BESHEIT, S.Y. 2001. Nitrogen fertilizer requirements of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni under Egyptian conditions. Egypt. J. Agric. Res. 79(3):1005-1018.
- ÁLVAREZ-GARCÍA, R.; TORRES-VALENCIA, J.; ROMÁN, L.; HERNÁNDEZ, J.; CERDA-GARCÍA-ROJAS, C.; JOSEPH-NATHAN, P. 2005. Absolute configuration of the α -methylbutyryl residue in longipinen derivatives from *Stevia pilosa*. Phytochem. 66:639-642.
- AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal, 2ª Ed. McGraw-Hill - Interamericana de España. S.A.U. y. Publicacions y Edicions de la Universitat de. Barcelona, 651p.
- BARATHI, N. 2002. *Stevia*-A way to sweeten life. Disponible desde internet en: <http://www.growmorebiotech.com/article1.htm>. (con acceso 11/02/2011).
- BONDAREV, N.; RESHETNYAK, O.; NOSOV, A. 2003. Effects of nutrient medium composition on development of *Stevia rebaudiana* shoots cultivated in the roller bioreactor and their production of steviol glycosides. Plant Sci. 165:845-850.
- BRANDLE, J.E.; TELMER, P.G. 2007. Steviol glycoside biosynthesis. Phytochem. 68:1855-1863.
- BRANDLE, J.E. 1999. Genetic control of rebaudioside A and C concentration in leaves of the sweet herb, *Stevia rebaudiana*. Can. J. Plant Sci. 79(1):85-92.
- BRANDLE, J.E.; RICHMAN, A.; SWANSON, A.; CHAPMAN, B. 2002. Leaf ESTs from *Stevia rebaudiana*: a resource for gene discovery in diterpene synthesis. Plant Mol. Biol. 50:613-622.
- CARAKOSTAS, M.C.; CURRY, L.L.; BOILEAU, A.C.; BRUSICK, D.J. 2008. Overview: The history, technical function and safety of rebaudioside A, a naturally occurring steviol glycoside, for use in food and beverages. Food Chem. Tox. 46: S1-S10.
- DACOME, A.; DA SILVA, C.; DA COSTA, C.; FONTANA, J.; ADELMANN, J.; DA COSTA, S. 2005. Sweet diterpenic glycosides balance of a new cultivar of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni: Isolation and quantitative distribution by chromatographic, spectroscopic, and electrophoretic methods. Process Biochem. 40:3587-3594.
- DAS, K.; DANG, R.; SHIVANANDA, T.N.; SEKEROGLU, N. 2007. Influence of bio-fertilizers on the biomass yield and nutrient content in stevia (*Stevia rebaudiana*. Bert) grown in Indian subtropics. J. Med. Plants Res. 1(1):5-8.
- DAS, K.; DANG, R.; SHIVANANDA, T.N. 2008. Influence of bio-fertilizers on the availability of nutrients (N, P and K) in soil in relation to growth and yield of *Stevia rebaudiana* grown in South India. Int. J. Appl. Res. Nat.I Prod. 1(1):20-24.
- DE LIMA, O.; MALAVOLTA, E.; DE SENA, J.; CARNEIRO, J. 1997a. Absorção e Acumulação de Nutrientes em Estévia *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni: I. Macronutrientes. Sci. Agric., Piracicaba. 54(1/2):23-30.
- DE LIMA, O.; MALAVOLTA, E.; YABICO, H. 1997b. Influência de estresses nutricionais no teor e produção de esteviosídeo durante o desenvolvimento da *Stevia*. Pesquisa Agropec. Bras. 32(5):489-494.
- DE LIMA, O.; MALAVOLTA, E. 1997. Sintomas de desordens nutricionais em estévia *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. Sci. Agric. 54(1/2):53-61.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates (EUA). 400p.
- ERKUCUK, A.; AKGUN, I.H.; YESIL-CELIK TAS, O.

2009. Supercritical CO₂ extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves: Identification and optimization. *J. Supercr. Fluids*. 51:29-35.
18. FAN, X.; SHEN, Q.; ZHU, H.; MA, Z.; YIN, X.; MILLER, A. 2005. A comparison of nitrate transport in four different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Sci. China (Series C)*. 48:897-911.
19. FRONZA, D.; FOLEGATTI, M. 2003. Water consumption of the estevia (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni) crop estimated through microlysimeter. *Sci. Agric*. 60(3):595-599.
20. GARDANA, C.; SCAGLIANTI, M.; SIMONETTI, P. 2010. Evaluation of steviol and its glycosides in *Stevia rebaudiana* leaves and commercial sweetener by ultra high performance liquid chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. A*, doi:10.1016/j.chroma.2009.12.036.
21. GEUNS, J.M. 2003. Stevioside. *Phytochem*. 64:913-921.
22. HEARN, L.K.; SUBEDI, P.P. 2006. Determining levels of steviol glycosides in the leaves of *Stevia rebaudiana* by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Food Compos. Anal*. 22:165-168.
23. JARMA, A. 2008. Estudios de adaptación y manejo integrado de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.): nueva alternativa agroindustrial del Caribe colombiano. Una revisión. *Rev. Col. Sc. Hort*. 2(1):109-120.
24. LIU, J.; JIN-WEI, L.; JIAN, T. 2010. Ultrasonically assisted extraction of total carbohydrates from *Stevia rebaudiana* Bertoni and identification of extracts. *Food Bioprod. Process*. doi:10.1016/j.fbp.2009.12.005.
25. MARSCHNER, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. 889p.
26. MIDMORE, D.; RANK, A. 2002. A new rural industry - Stevia - to replace imported chemical sweeteners. Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC), Kingston, Australia. 55p.
27. MIZUKAMI, H.; SHIBA, K.; OHASHI, H. 1983. Effect of temperature on growth and stevioside formation of *Stevia rebaudiana*. *Shoyakugaku Zasshi*. 37:175-179.
28. NEPOVIM, A.; DRAHOSOVA, H.; VALICEK, V.; VANEK, T. 1998. The effect of cultivation conditions on the content of stevioside in *Stevia rebaudiana* Bertoni plants cultivated in the Czech Republic. *Pharmaceut. Pharmacol Lett*. 8:19-21.
29. RAMESH, K.; SINGH, V.; MEGEJI, N.W. 2006. Cultivation of stevia [*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni]: A comprehensive review. *Adv. in Agron*. 89:137-177.
30. RICHMAN, A.; SWANSON, A.; HUMPHREY, T.; CHAPMAN, R.; MCGARVEY, B.; POCS, R.; BRANDLE, J. 2005. Functional genomics uncovers three glucosyltransferases involved in the synthesis of the major sweet glucosides of *Stevia rebaudiana*. *Plant J*. 41:56-67.
31. SRIVASTAVA, L.M. 2002. Plant growth and development. Hormones and environment. Academic Press, Amsterdam. 772p.
32. SU, J.; XIAO, M.; LI, Q.; LIU, B.; TONG, T. 2006. Mapping QTLs for phosphorus-deficiency tolerance at wheat seedling stage. *Plant and Soil*. 281(1-2):25-36.
33. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. *Plant Physiology*. IV ed. Sinauer Associates, Inc. p.75-83.
34. UTUMI, M.; MONNERAT, P.; GOMES, P.; RESENDE, P.; CAMPOS, V. 1999. Deficiência de macronutrientes em estévia: Sintomas visuais e efeitos no crescimento, Composição química e produção de esteviosídeo. *Pesq. Agropec. Bras*. 34(6):1039-1043.
35. WHITE, P.; BROADLEY, M. 2003. Calcium in plants. *Ann. Bot*. 92:487-511.

Recibido: Mayo 10 de 2011
Aceptado: Marzo 4 de 2012

MORFOLOGÍA E HISTOLOGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR DE *Supputius cincticeps* (HEMIPTERA: HETEROPTERA: PENTATOMIDAE)

MORPHOLOGY AND HISTOLOGY OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF *Supputius cincticeps* (HEMIPTERA: HETEROPTERA: PENTATOMIDAE)

Alberto Soto¹, Hamilton G. Oliveira², Tito Bacca³

¹I.A., M.Sc., Ph.D. Profesor Departamento de Producción Agropecuaria. Universidad de Caldas. Calle 65 No 26-10 Manizales, Caldas, Colombia. E-mail: alberto.soto@ucaldas.edu.co ²Ph.D. Investigador Centro Nacional de Investigaciones en Palma, CENIPAL-MA, Villavicencio, Colombia. E-mail: hgomes@cenipalma.org ³I.A., M.Sc., Ph.D. Profesor Asociado Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Torobajo, Pasto, Nariño, Colombia. E-mail: titobacca@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient. 15(1): 117 - 123, 2012

RESUMEN

Los insectos plaga representan los mayores problemas en plantaciones forestales, principalmente, en monocultivos del género *Eucalyptus*, debido a los relevantes daños y su persistencia durante todo el ciclo de cultivo. *Supputius cincticeps* presenta potencial para ser usado en el control biológico de larvas defoliadoras de eucalipto. El objetivo de este trabajo fue estudiar la morfología e histología de los órganos reproductivos de *S. cincticeps*, con el fin de contribuir en el conocimiento de su reproducción, para ser aplicado en programas de cría masiva. Los ovarios y los testículos de ese depredador fueron extraídos y se realizaron cortes de 5mm, en un micrófono automático, los cuales, fueron descritos y registrados fotográficamente.

Palabras clave: Depredador, genitalia, macho, hembra, chinche.

SUMMARY

Insect pests represent the most remarkable problems in forest plantations. This scenario is present mainly in monocultures of the genus *Eucalyptus*, due to significant damage that occurs throughout the growing season. *Supputius cincticeps* might be used biological control agent of eucalyptus defoliating larvae. The aim of this work was to study the morphology and histology of the reproductive organs of *S. cincticeps* to contribute to the knowledge of their reproduction to be applied in mass rearing programs. Ovaries and testicles of the

predator were extracted and sectioned by using a microtome up to obtain tissue sections of 5mm which were described and recorded photographically.

Key words: Predator, genitalia, male, female, stink bug.

INTRODUCCIÓN

El incremento exagerado de poblaciones de lepidópteros defoliadores causa perjuicios en plantaciones de eucalipto en Brasil, en especial, la especie *Thyrinteina arnobia* (Stoll) (Lepidoptera: Geometridae) (Santos *et al.* 1993; Zanuncio *et al.* 2005a; Pereira *et al.* 2008). Debido a que el control químico de esos insectos aumenta los costos de producción y causa impacto ambiental, se han estudiado otras alternativas de control; una de ellas es el control biológico de plagas (Zanuncio *et al.* 2005b). La utilización de parasitoides y de depredadores en programas de control biológico aplicado, requiere la obtención, mediante crías masales de estos agentes (De Clercq *et al.* 2002). Para esto, se ha incrementado el uso de chinches depredadores de la familia Pentatomidae (Hemiptera), por ser importantes enemigos naturales generalistas de plagas agrícolas, ser voraces, con alta capacidad reproductiva y alta tasa de depredación, principalmente, de larvas de Lepidoptera y Coleoptera (Oliveira *et al.* 2002; Zanuncio *et al.* 2005b; Holtz *et al.* 2006). Los géneros *Brontocoris* y *Podisus* (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) son producidos y liberados en programas de control biológico de lepidópteros defoliadores de eucalipto

(Zanuncio *et al.* 2002). *Supputius cincticeps* Stal, 1860 es predador del defoliador del eucalipto *Sabulodes caberata* Guenée, 1857 (Lepidoptera: Geometridae) y sus ninfas también predan larvas de *Alabama argillacea* (Lepidoptera: Noctuidae) (Zanuncio *et al.* 2002; Holtz *et al.* 2006). Esta especie depredadora ha sido encontrada en baja densidad en reforestaciones con eucalipto, lo que hace necesario el desarrollo de estudios sobre su biología, reproducción y cría masiva, para que este predador pueda ser multiplicado y liberado en programas de control biológico (Zanuncio *et al.* 1996-2000). Estudios realizados por Zanuncio *et al.* 2005a, concluyen que *S. cincticeps* presenta alta factibilidad para ser usado en el control biológico de larvas defoliadoras de eucalipto y que su producción masiva en insectarios puede ser desarrollada, con facilidad, utilizándolo como presas, larvas de la mosca doméstica *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) o de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae).

Algunas empresas forestales se han dedicado a la producción masiva de estos depredadores, con el objetivo de incrementar artificialmente su densidad poblacional (Zanuncio *et al.* 1992).

De esta manera, los conocimientos sobre la biología y la potencialidad reproductiva de estos depredadores son de suma importancia, con el fin de desarrollar metodologías eficientes de multiplicación de esos insectos.

El aparato reproductor masculino de la mayoría de los insectos presenta glándulas accesorias, que se abren en el canal deferente o en el ducto eyaculatorio (Happ, 1992; Chapman, 1998). En general, cada testículo está compuesto por un número de tubos o folículos testiculares, variando de uno en algunos Coleoptera a más de cien en grillos (Acrididae) (Nijhout, 1994; Chapman, 1998). Cada folículo tiene su propio germario, análogo a los ovarios femeninos, excepto por el revestimiento común de los folículos, con aspecto de cuerpo compacto (Nijhout, 1994). El aparato reproductor de machos de Heteroptera consiste, típicamente, de un par de gónadas conectadas con vesículas seminales pareadas y un ducto eyaculatorio mediano (Nijhout, 1994; Chapman, 1998).

El aparato reproductor femenino de insectos consiste en un par de ovarios ubicado en la parte superior o lateral del sistema digestivo, formados por unidades funcionales, denominadas ovarios, ligados por el pedicelo a los oviductos laterales y éstos al oviducto común, que se abre en una cámara genital llamada vagina y de ahí para el exterior, en la bursa copulatrix (Nijhout, 1994; Chapman, 1998).

Cada ovario está formado por la región del germario en la parte distal, con células en proceso inicial de diferenciación. El trofario o cámara trófica es un conjunto de células nutritivas que envuelven la parte central del ovario, llamado el cordón nutritivo y que componen el sistema de transporte de nutrien-

tes entre los trofocitos y los ovocitos. Otra región del ovario está constituida por un vitelario, donde ocurre el desarrollo de la vitelogénesis y de los ovocitos en disposición lineal, con diferentes estados de desarrollo (Nijhout, 1994; Chapman, 1998). Cada ovario, típicamente, contiene cuatro a siete ovarios, mas este número es especie-específico y, a veces, familia-específico, pudiendo ser de uno, como en algunos coleópteros, hasta dos mil, en reinas de termitas *Eutermes* sp. (Isoptera: Termitidae) (Buning, 1994; Nijhout, 1994; Chapman, 1998). Esta variación ocurre en función del modo de vida, relaciones filogenéticas y tamaño del insecto (Chapman, 1998).

La estructura de los ovarios de los Heteroptera es uniforme, con diferencias en la organización del trofario (cámara trófica). Estudios morfológicos, estructurales e histoquímicos muestran diferencias en los trofarios de Heteroptera de especies con diferente posición filogenética (Ksiazkiewicz-Kapraskla, 1985; 1991; Simiczyjew *et al.* 1998; Szklarzewicz, 1998). La morfología del sistema reproductor femenino de *Podisus nigrispinus* Dallas, 1851 (Heteroptera: Pentatomidae) presenta gónadas internas de coloración amarillenta y, en cada ovario, se observan siete ovarios unidos por los filamentos terminales, en una estructura en forma de cuerno (Lemos *et al.* 2005). El conocimiento de la morfología reproductiva de los enemigos naturales y principalmente de las hembras es fundamental en su cría masiva, debido a que es posible conocer la dinámica de producción de huevos, factor crucial en la producción de entomófagos. El estado de desarrollo de los ovarios puede determinar la duración del periodo de preoviposición, tasa de oviposición, frecuencia y duración de alimentación antes de la oviposición y repuesta de estímulos externos, para la producción y maduración de huevos (Jervis *et al.* 2005). Por lo tanto, conocer el estado de desarrollo los huevos puede ser un parámetro importante, cuando se realicen crías masivas del depredador *S. cincticeps*.

El objetivo de este trabajo fue describir anatómica y morfológicamente algunas estructuras del aparato reproductor de machos y de hembras de *S. cincticeps*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó en el laboratorio de Biología Molecular y Celular del Departamento de Biología General, de la Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brazil. Los adultos sexualmente maduros de *S. cincticeps* fueron obtenidos de la cría masal del insectario del Departamento de Biología Animal, sexados por la apariencia externa de la genitalia y por el tamaño del cuerpo, siendo la hembra de mayor tamaño y más ancha a nivel del pronoto, con respecto al macho.

Los adultos, se colocaron en frascos con fijador Zambonini Stefanini, pH 7,3 para disección y extracción de sus órganos reproductores, con ayuda de una lupa, usando tijeras quirúrgicas, pinzas, alfileres entomológicos y base de parafina sólida en caja de petri.

El aparato reproductor de hembras y de machos del predador fue separado y colocado en tubos Eppendorf, que contenía solución fijadora de Zambonini (Stefanini *et al.* 1967). Las muestras fueron deshidratadas en serie alcohólica creciente e, incluidas, en histo-resina JB4. Con la ayuda del micrótopo automático fueron hechos cortes de 5 μ m de espesor, con navaja de vidrio. Las láminas con los cortes fueron coloreadas con hematoxilina y eosina y analizadas en microscopio de luz Olympus BX-50.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema reproductor femenino

La genitalia interna de las hembras está localizada en el abdomen, encima del intestino y está cubierta por el cuerpo graso; tiene coloración blanca y presenta un par de ovarios conectados a un par de oviductos laterales, que se unen formando el oviducto común (Figura 1A).

Cada ovario está compuesto por siete ovariolos, unidos entre sí por filamentos, formando una estructura compacta. Cada ovariolo, se asemeja a un filamento largo y consiste de: a) un germario apical, donde existen células indiferenciadas que se pueden dividir en ovocitos o trofocitos; b) un trofario, donde se encuentran los trofocitos o células nutridoras, los cuales, se unen a los ovocitos por cordones nutritivos y, c) un vitelario proximal, donde los ovocitos reciben vitelo. Cada ovariolo está recubierto por la membrana peritoneal (Holtz, 2006) (Figuras 1B y 1C).

En el vitelario existen ovocitos en diferentes estados de desarrollo, recubiertos por una camada única de células foliculares, que presentan forma de columna con dos núcleos y nucléolo bien desarrollado; la función de ellas es secretar el corion del huevo (Figuras 1D y 1E).

La estructura del sistema reproductor de la hembra de *S. cincticeps* concuerda con la estructura típica de los representantes del suborden Heteroptera (Chapman, 1998). Los ovarios son del tipo meroístico-telotrófico (Buning, 1994; Chapman, 1998; Triplehorn & Johnson, 2004), porque presentan trofocitos o células nutridoras y porque estos permanecen en el germario y se ligan a los ovocitos, por cordones nutritivos citoplasmáticos. En esta especie, el número de ovariolos son siete, que están de acuerdo con la morfología reproductiva para Heteroptera, que va de cuatro a siete (Buning, 1994; Simiczjzew *et al.* 1998; Adams, 2000; Triplehorn & Johnson, 2004) y que varían en relación con

el tamaño y el estilo de vida del artrópodo, así como de la posición taxonómica del insecto estudiado (Chapman, 1998).

Lemos *et al.* (2005) señalan que en la especie *P. nigrispinus*, los ovariolos contienen una serie lineal de ovocitos en estados sucesivos de desarrollo, con los más avanzados en la posición proximal y más distantes del germario, la misma situación se observó en *S. cincticeps*, donde los ovocitos desarrollados se encontraron en la región del vitelario.

Las dos últimas fases de maduración de los ovocitos exigen una actividad especial de las células foliculares, que son responsables por controlar el acceso de proteínas y de nutrientes para el interior de los ovocitos y por secretar el corion de los mismos (Lemos *et al.* 2003). Las células foliculares halladas alrededor de los ovocitos de *S. cincticeps*, presentan dos núcleos y un nucléolo bien desarrollado, lo que demuestra que ellas tienen bastante actividad para contribuir en la nutrición y en el desarrollo total del ovocito.

Según Lundgren (2011), el conocimiento de la ecología reproductiva de estos insectos depredadores está intrínsecamente ligado a la fisiología y a la morfología de la hembra y sus huevos. Los parámetros de madurez y de diapausa reproductiva y fecundidad de las hembras de los depredadores de Heteroptera tienen gran influencia sobre el éxito de la tasa de crecimiento demográfico y reproductivo; por lo tanto, el conocer el estatus fisiológico reproductivo de las hembras de los depredadores pertenecientes a Heteroptera, el cual depende de varios factores fisiológicos, como el tipo de apareamiento, edad y tamaño, y el estado nutricional del depredador, puede proporcionar las bases para su empleo en un programa de control biológico de varias plagas agrícolas y forestales.

El tipo de alimentación suministrado a los chinches predadores de Pentatomidae pueden influenciar en el desarrollo de los ovarios y, consecuentemente, en su éxito reproductivo, como fue determinado para los depredadores *Perillus bioculatus* (F.) y *Brontocoris tabidus* (Signoret) (Heteroptera: Pentatomidae) (Adams, 2000; Lemos *et al.* 2009).

Sistema reproductor masculino

La genitalia interna de los machos, se localiza en el abdomen, encima del intestino y está cubierta por el cuerpo graso; presenta un par de testículos de color rojo y forma redonda, dos canales deferentes de color rojo y forma de filamentos largos y un ducto eyaculatorio de color amarillo (Figura 2A).

Los testículos están formados por cinco folículos, cuatro de ellos están bien desarrollados y uno es de menor tamaño, todos cubiertos por una membrana peritoneal, haciendo que los testículos estén fuertemente compactados (Figura 2B). Cada folículo está dividido en cuatro regiones: el germario, la zona de crecimiento, la zona de maduración y reducción y la zona de transformación (Chapman, 1998). El germario

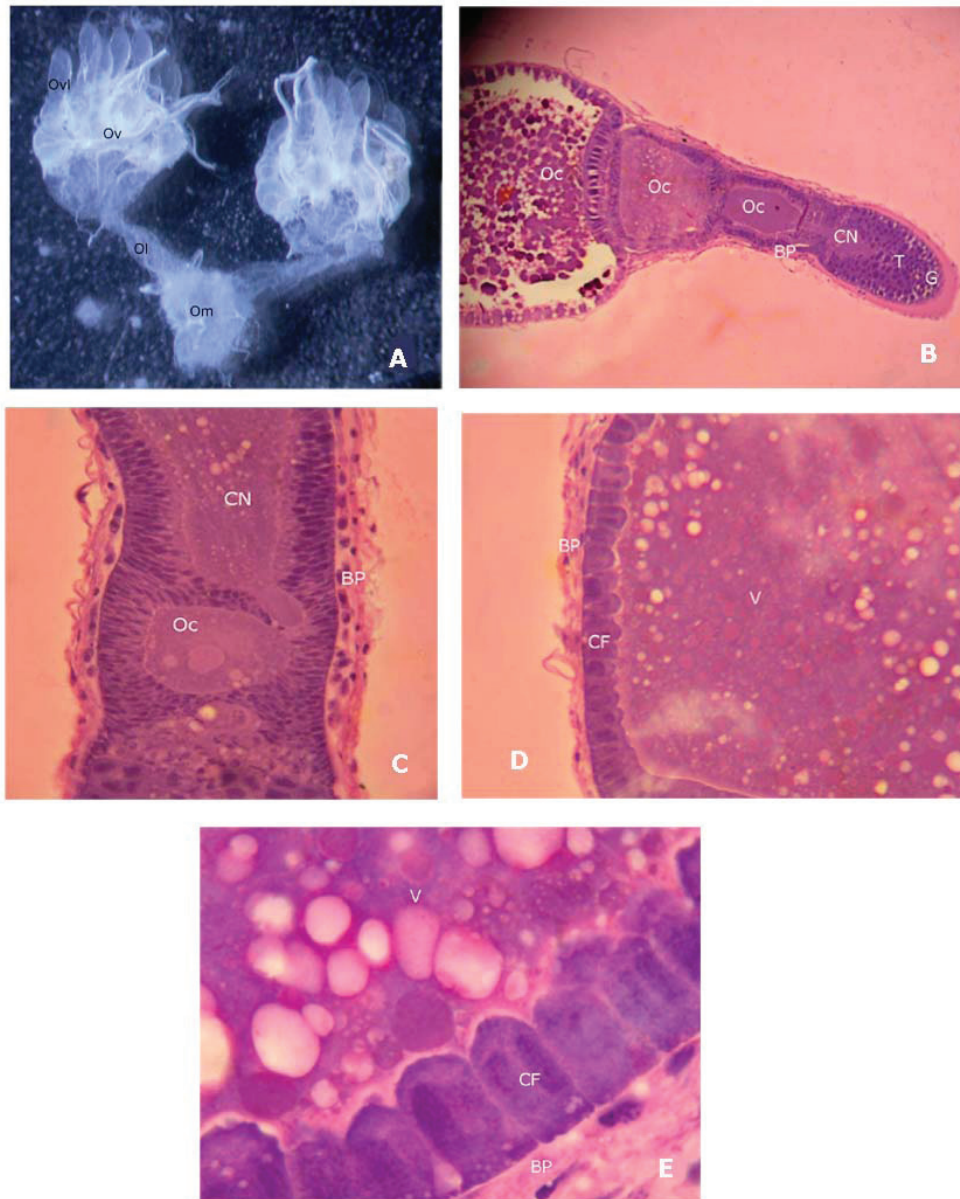


Figura 1. Vista general del sistema reproductor femenino de *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae), presentando: **(A)** Ov= Ovarios, Ovl= Ovariolo, Ol= Oviducto lateral y Om= Oviducto común. **(B)** y **(C)** Corte longitudinal de folículo. G= Germario; T= Trofario; CN= Cordón nutritivo; BP= Membrana peritoneal; Oc= Ovocitos en diferentes estados de desarrollo. **(D)** y **(E)** Corte longitudinal del ovocito en desarrollo, presentando BP= Membrana peritoneal; CF= Células foliculares (columnares) y V= Gránulos de vitelo.

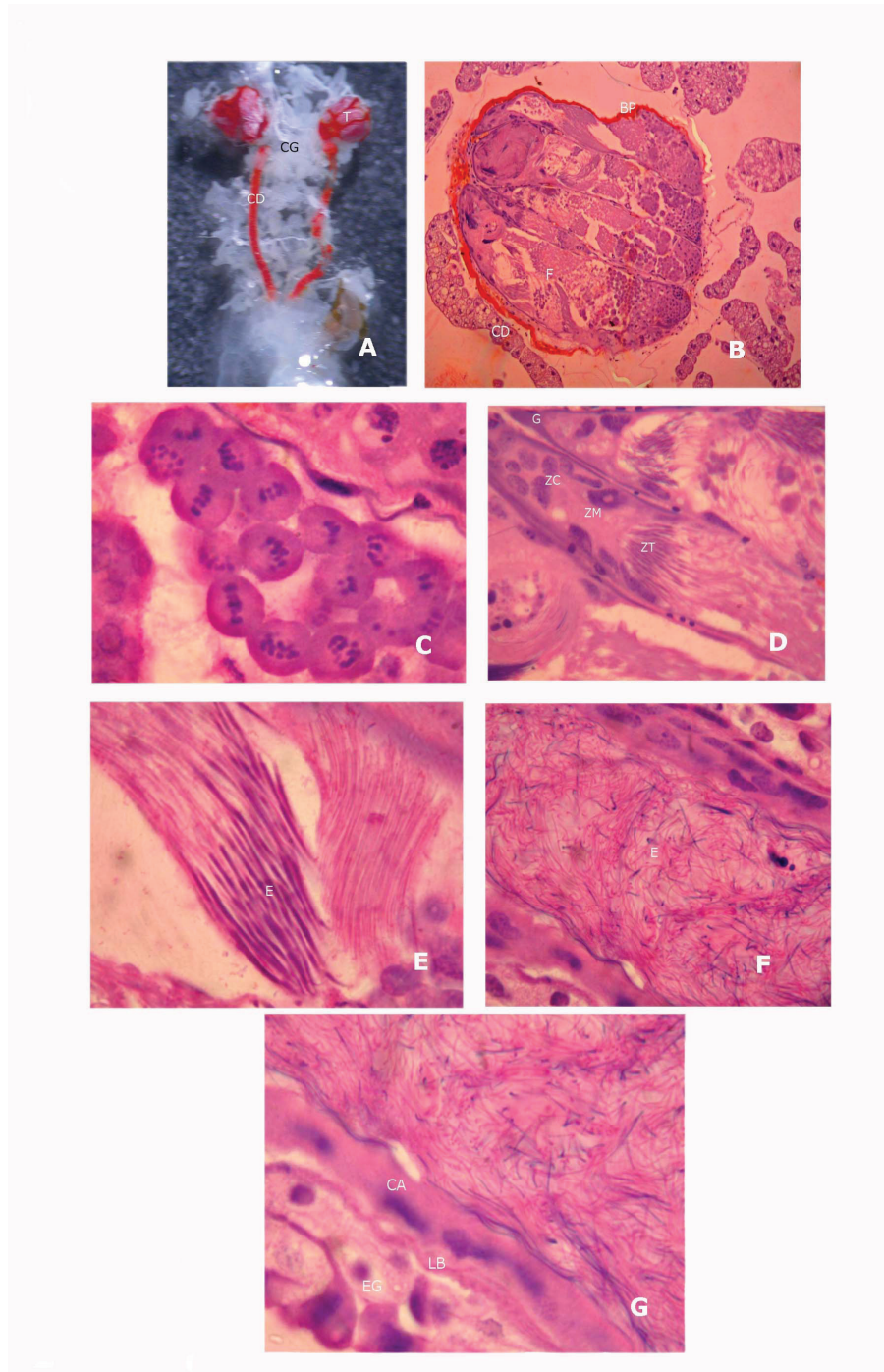


Figura 2. Vista general de la genitalia interna del macho de la especie *Supputius cinctipes* (Heteroptera: Pentatomidae), presentando: **(A)** T= Testículos, CG= Cuerpo graso, CD= Canal deferente. **(B)** F= Folículos; CD= Canal deferente; BP= Membrana peritoneal. **(C)** Zona de maduración dentro del folículo, donde ocurre el proceso de meiosis. **(D)** Estructura de los folículos: G= Germario; ZC= Zona de crecimiento; ZM= Zona de maduración; ZT= Zona de transformación. **(E)** E= Espermatozoides en masa dentro del folículo. **(F)** E= espermatozoides dentro del canal deferente. **(G)** Corte longitudinal del canal deferente, mostrando EG= Epitelio grueso; LB= Lámina basal y CA= Células con núcleos achatados.

está conformado por células germinales que producen los espermatogonios, que son células que se dividen mitóticamente para producir los espermatocitos, las cuales, a su vez, producen espermatidas (Chapman, 1998); en la zona de transformación, las espermatidas se transforman en espermatozoides (Figura 2C).

Dentro de la zona de maduración del folículo, se encuentran espermatozoides filamentosos, largos y agrupados (Figura 2D); cuando los espermatozoides son liberados en el canal deferente, se encuentran totalmente desorganizados y en gran cantidad (Figura 2E). El canal deferente tiene forma de un tubo largo, formado por tres láminas (de dentro para fuera), una de células con núcleo achatado, una lamina basal y un epitelio grueso (Figura 2F).

La estructura de la genitalia interna del macho de *S. cincticeps* es similar a aquella encontrada en la especie *P. nigrispinus*, que se caracteriza por tener coloración rojo intenso y forma redondeada para los testículos y la misma coloración y forma de filamentos largos, para los canales deferentes (Lemos *et al.* 2005).

Cada testículo de la especie *P. nigrispinus* está compuesto de cuatro a seis folículos; cuando presenta seis folículos, cuatro de ellos son más largos y dos más atrofiados (Lemos *et al.* 2005); en *S. cincticeps*, se halló un patrón similar de cinco folículos, cuatro de ellos bien desarrollados y uno más corto. Para el caso de *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae), cada testículo tiene seis folículos aplanados (Pendergrast, 1956).

La estructura de los folículos de la especie en estudio permitió observar espermatocitos en diferentes estados de maduración, demostrando la constante actividad en la producción de espermatozoides por los testículos, el mismo patrón fue verificado en *P. nigrispinus* (Lemos *et al.* 2005).

Los espermatozoides de *S. cincticeps* son filamentosos y largos, concordando con la forma de los espermatozoides de la mayoría de los insectos (Chapman, 1998; Triplehorn & Johnson, 2005). De acuerdo con Chapman (1998), los espermatozoides son inactivos en los canales deferentes y son cargados por movimientos peristálticos hasta la vesícula seminal, donde son almacenados, esto explica la gran cantidad y la desorganización de espermatozoides encontrados en el canal deferente de *S. cincticeps*.

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

- ADAMS, T.S. 2000. Effect of diet and mating status on ovarian development in a predaceous stink bug *Perillus bioculatus* (Hemiptera: Pentatomidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93:529-535.
- BUNING, J. 1994. The insect ovary-Ultrastructure, previtellogenic growth and evolution. London: Chapman & Hall. p.311-324.
- CHAPMAN, R.F. 1998. The insects: Structure and Function. Cambridge University, Cambridge, 770p.
- DE CLERCQ, P.; WYCKHUYTS, K.; OLL-VEIRA, H.N.; KLAPWIJK, J. 2002. Predation by *Podisus maculiventris* on different life stages of *Nezara viridula*. *Florida Entomologist.* 85(1):197-202.
- HAPP, G.M. 1992. Maturation of de male reproductive system and is endocrine regulation. *Ann. Rev. Entomol.* 37(1):303-320.
- HOLTZ, A.M.; ZANUNCIO, J.C.; MARINHO, J.S.; PRATISSOLI, D.; PALLINI, A.; PEREIRA, D.J. 2006. Características biológicas de adultos de *Podisus nigrispinus* e *Supputius cincticeps* (Hemiptera: Pentatomidae) alimentados com *Thyrinteina arnobia* (Lepidoptera: Geometridae). *Idesia.* 24(2):41-48.
- JERVIS, M.A.; COPLAND, M.J.W.; HARVEY, J.A. 2005. The life-cycle. En: JERVIS M.A. ed. *Insects as natural enemies: A practical perspective.* Springer (Dordrecht). p.72-165.
- KSIAZKIEWICZ-KAPRALSKA, M. 1985. Organization of the trophic chamber of homopteran insects. 1. Cercopidae: Cicadomorpha. *Cytobios* 42(167-168):133-145.
- KSIAZKIEWICZ-KAPRALSKA, M. 1991. Organization of the trophic chamber of homopteran insects. 2. Membracidae: Cicadomorpha. *Cytobios.* 66(265):113-119.
- LEMO, W.P.; RAMALHO, F.S.; SERRAO, J.E.; ZANUNCIO, J.C. 2003. Effects of diet on development of *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae), a predator of the cotton leafworm. *J. Appl. Entomol.* 127(7):389-395.

11. LEMOS, W.P.; RAMALHO, F.S.; SERRAO, J.E.; ZANUNCIO, J.C. 2005. Morphology of female reproductive tract of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) fed on different diets. Braz. Arch. Biol. Techn. 48(1):129-138.
12. LEMOS, W.P.; ZANUNCIO J.C.; RAMALHO, F.S.; SERRÃO, J.E. 2009. Fat body of the zoophytophagous predator *Brontocoris tabidus* (Het.: Pentatomidae) females: Impact of the herbivory and age. Micron 40(5-6):635-638.
13. LÜNDGREN, J.G. 2011. Reproductive ecology of predaceous Heteroptera. Biological Control. 59(1):37-52.
14. NIJHOIT, H.F. 1994. Insect hormone. Princeton University Press, Princeton. 280p.
15. OLIVEIRA, J.E.M.; TORRES, J.B.; CARRANO-MOREIRA, A.F.; BARROS, R. 2002. Effects of cotton and tomato plants as complementary food on development and reproduction of the predator *Podisus nigrispinus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae). Neotrop. Entomol. 31(1):101-108.
16. PENDERGRAST, J.G. 1956. The male reproductive organs of *Nezara viridula* (L.) with a preliminary account of their development (Heteroptera: Pentatomidae). Trans. R. Soc. N.Z. 84:139-146.
17. PEREIRA, A.I.A.; RAMALHO, F.D.S.; MALAQUÍIA, J.B.; BANDEIRA, C.M.; SILVA, J.P.S.; ZANUNCIO, J.C. 2008. Density of *Alabama arguillacea* larvae affects food extraction by females of *Podisus nigrispinus*. Phytoparasitica. 6:84-94.
18. SANTOS, G.P.; ZANUNCIO, J.C.; SANTANA D.Q.L.; ZANUNCIO, T.V. 1993. Descrição das pragas desfolhadoras. p.12-66. In: Zanuncio, J.C. (Ed.). Manual de pragas em florestas- Lepidoptera desfolhadoras de eucalypto: biologia, ecologia e controle. Vol. 1. Folha de Viçosa, Viçosa, 140p.
19. SIMICZYJEW, B.; OGORZALEK, A.; STYS, A. 1998. Heteroptera ovaries: variations on the theme. Folia Histochem. Cytobiol. 36:147-156.
20. STEFANINI, M.; DE MARTINO, C.; ZAMBONI, L. 1967. Fixation of ejaculated spermatozoa for electron microscopy. Nature. 216(211):173-174.
21. SZKLARZEWICZ, T. 1998. The ovaries of scale insects (Hemiptera: Coccidae). Morphology and phylogenetic conclusions. Folia. Histochem. Cyto. 36(4):157-165.
22. TRIPLEHORN, C.A.; JOHNSON, N.F. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. Thomson Brooks/Cole (USA). 888p.
23. ZANUNCIO, J.C.; BRAGANÇA, M.A.L.; DIAZ, J.L.S.; SARTÓRIO, R.C. 1992. Avaliação dos parâmetros de fecundidade de *Podisus connexivus* (Heteroptera: Pentatomidae) de diferentes pesos. Rev. Ceres. 39:591-596.
24. ZANUNCIO, J.C.; SAAVEDRA, J.L.D.; ZANUNCIO, T.V.; SANTOS, G.P. 1996. Incremento en el peso de ninfas y adultos de *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) alimentados con dos tipos de larva. Rev. Biol. Trop. 44(1):241-245.
25. ZANUNCIO, J.C.; ZANUNCIO, T.V.; GUEDES, R.N.C.; RAMALHO, F.S. 2000. Effect of feeding on three *Eucalyptus* species on the development of *Brontocoris tabidus* (Heteroptera: Pentatomidae) fed with *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). Biocontrol. Sci. Techn. 10(4):443-450.
26. ZANUNCIO, J.C.; MOLINA-RUGAMA, A.J.; SANTOS, G.P.; RAMALHO, F.S. 2002. Effect of body weight on fecundity and longevity of the stinkbug predator *Podisus rostralis*. Pesqui. Agropecu. Bras. 37(9):1225-1230.
27. ZANUNCIO, T.V.; ZANUNCIO, J.C.; SERRAO, J.E.; MEDEIROS, R.S.; PINON, T.B.; SEDIYAMA, C.A. 2005a. Fertility and life expectancy of the predator *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) exposed to sublethal doses of permethrin. Biol. Res. 38(1):31-39.
28. ZANUNCIO, J.C.; BESERRA, E.B.; MOLINA-RUGAMA, A.J.; ZANUNCIO, T.V.; PINON, T.B.M.; MAFFIA, M.P. 2005b. Reproduction and longevity of *Supputius cincticeps* (Heteroptera: Pentatomidae) fed with larvae of *Zophobas confusa*, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) or *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). Braz. Arch. Biol. Techn. 48:771-777.

Recibido: Septiembre 18 de 2011

Aceptado: Marzo 3 de 2012

TABLA DE VIDA DE *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (HEMIPTERA: MARGARODIDAE) EN CUATRO ESTRUCTURAS VEGETALES

LIFE TABLE OF *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (HEMIPTERA: MARGARODIDAE) ON FOUR PLANT STRUCTURES

Helber Arévalo-Maldonado¹, Martha E. Londoño-Zuluaga², Wilson A. Tobón R.³

¹I.A. Docente en formación, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A harevalo@udca.edu.co ²I.A. M.Sc. Investigador Master, Corpoica C.I. La Selva Km 7 Vía las palmas, Rionegro Antioquia. mlondono@corpoica.org.co ³Tecnólogo. Auxiliar Técnico, Corpoica C.I. La Selva Km 7 Vía las palmas, Rionegro Antioquia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 125 - 133, 2012

RESUMEN

La Perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* Jakubski es una plaga de importancia económica en varios frutales de Colombia, principalmente, la mora. Para establecer cualquier manejo es necesario conocer algunas características biológicas del insecto, como la dinámica poblacional, las relaciones naturales y los factores de mortalidad. Es posible predecir la dinámica poblacional, a través de la cría de insectos y la construcción de tablas de vida, que resumen los datos vitales de una poblacional. El efecto de cuatro estructuras vegetales, tallos y frutos de brevo, bulbos de remolacha y tubérculos de papa criolla, en el ciclo de vida, supervivencia, la tabla de vida y fertilidad fueron determinados. Las ninfas no se desarrollaron en los frutos de brevo y tubérculos de papa criolla por descomposición de las estructuras. En los tallos de brevo y en la remolacha, se logró obtener el desarrollo completo del insecto, encontrando diferencias en la duración del estado de ninfa, la medida longitudinal de los quistes a los 110 días y la supervivencia. Con los datos de la tabla de vida y fertilidad, se determinó que esta especie, en condiciones de laboratorio, presenta un ciclo de vida entre 183-239 días, una baja fecundidad, un poder de multiplicación bajo y un crecimiento poblacional bajo. Los datos indican que los tallos de brevo son adecuados para la cría de *E. colombianus* y que las medidas de control se deben implementar cuando la plaga se encuentra en las etapas de huevo y ninfa móvil.

Palabras clave: Perla de tierra, técnicas de cría, curva de supervivencia, ciclo de vida, tabla de fertilidad.

SUMMARY

The ground pearl *Eurhizococcus colombianus* Jakubski is a pest of economic importance in several Colombian fruit-trees, mainly blackberry. For the establishment of any management program it is necessary to know some biological characteristics of this insect such as population dynamics, natural relationships and mortality factors. It is possible to predict the population dynamic through insect rearing and the construction of the life table, which summarizes the data of the population's vitality. The effect of four plant structures, stems and fruits of fig, bulbs of beetroot and tuber of yellow potato, on the life cycle, survival, life table and fertility was determined. The nymphs did not develop on fig fruits and tubers of the yellow potato because of the structures decomposition. On fig stems and beetroot the complete development of the insect's cycle was achieved, finding differences in the duration of the nymphal stage, the longitudinal measure of the cyst at the age of 110 days and the survival. With the life table data and fertility it was determined that this species under laboratories condition presents a life cycle between 183-239 days, a low fertility, low power of multiplication and low population's growth. The data indicate that fig stems are suitable for rearing *E. colombianus* and that the management measures should be implemented when the pest is at the stage of egg and movable nymph.

Key words: The ground pearl, rearing techniques, survival curve, life cycle, fertility table.

INTRODUCCIÓN

Las perlas de tierra son insectos de la familia Margarodidae (Hemiptera: Coccoidea), que se alimentan de la savia elaborada presente en la raíces de plantas hospederas. Este grupo de insectos, se caracteriza por presentar un segundo instar ninfal sésil, llamado quiste y poseer patas protorácicas fuertes, para escavar en estado adulto. Los margaródidos, se alimentan en el primer instar ninfal y de quiste, mientras que en el estado adulto no se alimentan, al estar desprovisto de aparato bucal. La reproducción puede ser sexual o asexual y los instares ninfales pueden ser de tres a cinco en hembras y cinco en machos. La mayoría de especies son univoltinas o, en algunos casos, el ciclo puede durar hasta tres años (Foldi, 2005).

Una especie de la familia Margarodidae de distribución neotropical es *Eurhizococcus colombianus* (Jakubski, 1965), que se encuentra en varias especies vegetales de importancia económica de Colombia, como la mora (*Rubus glaucus*), el tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), el lulo (*Solanum quitoense*), el manzano (*Malus domestica*), el brevo (*Ficus carica*), el aguacate (*Persea americana*), la feijoa (*Feijoa sewolliana*), el durazno (*Prunus pérsica*), la fresa (*Fragaria* spp.), la curuba (*Passiflora* spp.) (Castrillón *et al.* 1998) y la vid (*Vitis labrusca*) (Kondo & Gómez, 2008).

De acuerdo con Jakubski, *E. colombianus* atraviesa por los estados de ninfa, quiste y hembra adulta (Kondo & Gómez 2008). Similar a *Eurhizococcus brasiliensis*, las ninfas de *E. colombianus* de primer instar son globosas, de color amarillo pálido y deambulan por el suelo hasta encontrar una raíz para alimentarse; allí, insertan el estilete y se convierten en ninfas de segundo instar, habitualmente conocido como "quiste", al ser apodas con un integumento liso y grueso, formado a partir de secreciones cerosas (Soria & Dal Conte, 2005; Quiñones *et al.* 2008). El quiste aumenta de tamaño con el tiempo sugiriendo la presencia de más de un instar ninfal dentro del mismo (Kondo & Gómez, 2008). Dentro de la caparazón protectora que representa el quiste, se completa el desarrollo ninfal y se forma la hembra, la cual, puede tener reproducción sexual o asexual facultativa; este tipo de reproducción, se presenta en otros margaródidos, como *E. brasiliensis* (Soria & Dal Conte, 2005). La hembra deposita sus huevos dentro de la protección cerosa en una especie de bolsa, que se forma cuando la hembra retrae el abdomen (Kondo & Gómez, 2008); todo el conjunto de protección cerosa, la hembra adulta y los huevos, se conoce como ovisaco. En algunos casos, la hembra abandona la protección cerosa y pone los huevos unidos uno tras otro, formando una cadena. La hembra muere cuando realiza la postura, dejando el ovisaco repleto de huevos, que tiene un color blanquecino, con paredes frágiles y quebradizas. Luego, se

genera una fase de liberación de huevos y ninfas al romperse las paredes del ovisaco (Soria & Dal Conte, 2005).

De las plantas mencionadas, la mora es la más afectada por *E. colombianus*, al reducir la producción hasta en dos toneladas de fruta por hectárea año (Castrillón *et al.* 2000) y causar la muerte hasta del 100% de las plantas presentes en un lote (Carvajal & Guarín, 2002).

Para poder implementar un manejo integrado de las poblaciones de *E. colombianus* es relevante conocer algunas características biológicas, como la duración del ciclo de vida, la mortalidad, la dinámica poblacional y el estado de desarrollo más susceptible e implementar métodos y técnicas apropiadas, con el fin de mantener las poblaciones de plaga por debajo de los niveles capaces de causar daño económico (Kogan, 1998).

Para conocer las características biológicas mencionadas y probar los diferentes métodos de control es necesario tener una metodología de cría, que permita mantener los individuos en condiciones controladas. Las tablas de vida y fertilidad son herramientas prácticas para comparar y desarrollar metodologías de cría y entender los efectos de factores externos, como el empleo de diferentes sustratos alimenticios, diferentes técnicas de cría (Coudron *et al.* 2002) y diferentes condiciones ambientales (Duarte & Zenner de Polanía, 2009).

Las investigaciones realizadas para la cría de los margaródidos han seguido las metodologías propuestas por De Klerk (1980) y Hickel *et al.* (2001), que indican cómo mantener las hembras móviles y los quistes totalmente desarrollados, en suelo húmedo, en condiciones controladas hasta la obtención de huevos y de ninfas neonatas y, luego, criar las ninfas sobre la planta hospedera, en jaulas tipo Galloti de 40cm de largo X 50cm de alto X 8cm de ancho, en condiciones de casa de malla (Texeira *et al.* 2002).

A pesar de ser efectivas las metodologías descritas, estas presentan limitantes para la realización de bioensayos, debido a que las plantas hospederas requieren de suelo, que se contamina con entomopatógenos, dificulta la búsqueda de individuos y la mayoría de ninfas no colonizan las raíces (Texeira *et al.* 2002). Otra limitante está determinada por la planta hospedera, dado que se requiere de plantas homogéneas en el momento del montaje de los experimentos.

Por las razones expuestas y teniendo en cuenta la metodología empleada por Monteiro & Sauro (1997) para criar a *E. brasiliensis* sobre remolacha, el objetivo del trabajo fue validar la cría de *E. colombianus* sobre diferentes hospederos, en condiciones controladas, sin emplear suelo, a través de

los parámetros de la tabla de vida y de fertilidad, el ciclo de vida y las curvas de supervivencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en cámara climática en el laboratorio de entomología, Centro de Investigación "La Selva", Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Las condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa y fotofase fueron $20 \pm 5^\circ\text{C}$, $70 \pm 5\%$ y 0 horas de luz.

Se recolectaron quistes de *E. colombianus* en avanzado estado de desarrollo, en un lote de mora, en el municipio de Rionegro, Antioquia, situado a N $6^\circ 08' 04.8''$, O $75^\circ 25' 10.0''$. La cría de los quistes, se realizó de forma individual, en vasos de 3mL de capacidad con tapa. Cada vaso, se llenó hasta la mitad con suelo desinfectado por solarización húmeda (camas con suelo-materia orgánica-arena con una relación 4:2:1 humedecidas a capacidad de campo y cubiertas con plástico de invernadero durante 40 días), la humedad del suelo, se mantuvo entre el 60 y 80% y el quiste se puso sobre el suelo hasta la obtención de los adultos. Mediante observación diaria, se verificaron cambios morfológicos externos en el quiste, visualizando, especialmente, los ovisacos. Los huevos, se mantuvieron en las mismas condiciones hasta la eclosión. Al eclosionar, se tomaron 100 ninfas neonatas procedentes de una hembra para cada tratamiento. Los neonatos, se dispusieron en diez unidades experimentales. La unidad experimental estuvo representada por diez ninfas y una estructura vegetal, la cual, se conservó en espuma floral (Oasis® floral foam), humedecida dentro de una bandeja plástica. Se emplearon cuatro tratamientos, representados en estructuras de cuatro vegetales tallos y frutos de brevo (*Ficus carica* L.), bulbos de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y tubérculos de papa criolla (*Solanum phureja* Juzepczuk y Bukasov).

Las hembras adultas que se encontraron sin protección cerosa, se individualizaron en suelo solarizado húmedo, en vasos de 3mL de capacidad con tapa inyectada, hasta la obtención de posturas. Cuando se obtuvieron las posturas, los huevos se contabilizaron y se mantuvieron en suelo solarizado, en vasos con las mismas características, hasta la eclosión.

Los parámetros biológicos evaluados fueron: duración de los estados de huevo, ninfa, Hembra móvil, ovisacos (la muerte del adulto se tomó cuando se presentó la ovoposición) y la duración del ciclo de vida (huevo a huevo); la medida longitudinal, desde la parte anterior hasta la parte posterior del quiste, a los 55 y 110 días de desarrollo y de ancho del quiste, en la parte más amplia que se presenta al nivel del abdomen, a los 110 días de desarrollo; la supervivencia, la fertilidad específica, la tasa neta de reproducción (Ro), el

intervalo entre generaciones (T), la tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y la tasa finita de aumento (λ). La duración de cada estado y del ciclo de vida total incluyendo la supervivencia; se contabilizó diariamente. Con estos datos, se construyó la curva de supervivencia y de fertilidad específica. Con base en los datos de supervivencia y de ovoposición de cada hembra fue elaborada la curva de fertilidad específica. Posteriormente, se calculó el número de huevos medio por hembra (mx) en cada día de ovoposición (x) considerándose el total de hembras y el índice de supervivencia acumulado de las hembras (lx), durante el período de ovoposición y el número de descendientes que continúan a la siguiente generación (lx.mx). Estos valores constituyen las columnas de la tabla de vida. Con base en la información condensada en la tabla de vida, se estimaron los siguientes parámetros para cada tratamiento, siguiendo a Maia *et al.* (2000): tasa neta de reproducción (Ro), intervalo entre generaciones (T), tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y tasa finita de aumento (λ).

Las evaluaciones, se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar. Los datos fueron sometidos a estadística descriptiva y a comparaciones de medias de t para dos muestras, suponiendo varianzas iguales, con ayuda del programa Microsoft Excel 2007®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró establecer una metodología de cría bajo condiciones de laboratorio; sin embargo, solo dos estructuras vegetales permitieron el completar el ciclo de vida del insecto: tallos de brevo y bulbos de remolacha. Los frutos de brevo y los tubérculos de papa criolla, se retiraron de la evaluación por descomposición natural.

La duración de la fase de ninfa fue menor (Tabla 1), cuando la perla fue criada en tallos de brevo, posiblemente, a la mayor calidad nutricional del alimento y a una mayor adaptación a esta planta. La adaptación, se pudo evidenciar en campo donde los individuos que se encuentran asociados al brevo presentan un tamaño superior hasta en 1mm a los encontrados en otros hospederos. La duración promedio de ninfa, en ambas estructuras vegetales, fue inferior a la encontrada por Castrillón *et al.* (2000), quienes indicaron una duración de 17 a 20 meses, distribuidos en tres semanas, para el primer instar, y de 16 a 19 meses, en quiste. De la misma forma, los autores presentan una duración de huevo menor y una duración del ciclo mayor a la encontrada en esta investigación. Las diferencias, se dieron a que Castrillón *et al.* (2000) llevaron la investigación sobre las raíces de otros hospederos: mora, tomate de árbol, lengua de vaca (*Rumex crispus*) y envidia (*R. acetocella*), a una temperatura inferior ($15 \pm 3^\circ\text{C}$) y emplearon suelo, lo que retarda la colonización de la ninfa sobre la raíz del hospedero.

Tabla 1. Duración en días de los estados de huevo, ninfa, hembra móvil, del ovisaco y del ciclo de vida de *Eurhizococcus colombianus* Jakubski.

Tratamientos	Huevo*	Ninfa	Hembra móvil	Ovisacos	Ciclo de vida huevo-huevo
Tallo Brevo	35,03±9,35 a (2-51) [101]	144,8±5,98 a (134-155) [18]	53,45±5,98 a (4-80) [11]	69,78±20,28 a (7-80) [14]	211,87±17,72 a (183-239) [8]
Remolacha	42±0 a (42) [1]	149,55±5,83 b (141-155) [9]	44,33±17,61 a (28-63) [3]	77,84±7,76 a (52-80)	218±9,89 a (211-225) [2]

*Los datos presentados solo se pudieron obtener de las hembras móviles.

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí (prueba de "t") suponiendo varianzas iguales, $\alpha= 5\%$

Los valores entre paréntesis expresan el rango y entre corchetes el número de unidades experimentales.

La duración del ciclo es cercana a un año, lo que indica que *E. colombianus* es univoltina y que el recurso alimenticio que explota es pobre en nutrientes (Gullan & Cranston, 2005).

Los valores de tamaño y de peso son empleados para determinar la nutrición y el crecimiento de los insectos (Klowden, 2007); sin embargo, en este trabajo, solo se tuvo en cuenta el tamaño de quiste de *E. colombianus*, ya que los quistes no se pueden desprender del sustrato alimenticio. Desprender los quistes del sustrato alimenticio afecta el desarrollo del insecto o, en el peor de los casos, le produce la muerte. La medida longitudinal de los quistes solo presentó diferencias a los 110 días de desarrollo (Tabla 2), las cuales, fueron mayores en las ninfas alimentadas sobre los tallos de brevo. Estas medidas son menores a los quistes colectados en campo, que tienen un tamaño entre 5 y 7mm; las diferencias

se presentaron, por que los tallos presentan un recurso limitado y más difícil de extraer, pero suficiente para que los individuos completen el desarrollo. Una observación encontrada durante la ejecución del presente trabajo es la capacidad que tiene este insecto para completar el ciclo, aun cuando es retirado del sustrato alimenticio; no obstante, hay que tener en cuenta que los individuos retirados en la etapa de quiste no se vuelven a alimentar, presentan un menor tamaño y reducen su progenie. Tal vez estos datos sustentan la separación mecánica de los quistes de la perla de tierra de las raíces de la planta, labor realizada por algunos moricultores del Oriente Antioqueño. Esta labor debe ser evaluada en dos aspectos fundamentales: 1) la relación costo beneficio y, 2) La dispersión de plaga cuando se separa de la planta en los diferentes instares de ninfa.

Tabla 2. Medidas morfométricas de quistes de *Eurhizococcus colombianus* a los 55 y 110 días de desarrollo de la ninfa.

Tratamientos	55 días Longitudinal (mm)	110 días	
		Longitudinal (mm)	Ancho (mm)
Tallo Brevo	1,89±0,73 a (0,7-3,28) [62]	4,62±1,15 a (2,34-6,16) [36]	3,21±0,74 a (1,92-4,45) [36]
Remolacha	1,75±0,47 a (0,82-3,13) [25]	3,94±1,02 b (1,76-5,21) [24]	3,04±0,69 a (1,99-4,96) [24]

Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí por la prueba de "t" suponiendo varianzas iguales, a 5% de probabilidad. Los valores entre paréntesis expresan el rango y entre los corchetes el número de unidades experimentales.

La mayor supervivencia, se obtuvo en las ninfas criadas sobre tallos de brevo (Figura 1). Cuando las ninfas se criaron en tallos de brevo, la curva de supervivencia se ajusta a una curva idealizada tipo II, lo que indica que el porcentaje de individuos que mueren por unidad de tiempo es constante, sin importar el estado de desarrollo, ni el número de supervivientes. Para el caso de las ninfas criadas en remolacha, la curva presenta tres ajustes diferentes durante el ciclo de vida. Desde los cero hasta los 60 días, describe una curva idealizada tipo IV, lo que representa una alta mortalidad de ninfas neonatas; desde los 60 hasta 150 días, una curva tipo II, evidenciándose una mortalidad constante y, finalmente, entre los 150 y 219 días, una curva tipo I, indicando una supervivencia de todos los individuos durante este tiempo y una mortalidad concentrada en estado adulto cuando se presentó la oviposición (Deevey, 1947).

Las supervivencias encontradas no son las ideales para una cría bajo condiciones de laboratorio; sin embargo, conocer la mortalidad de la población en cada etapa de desarrollo permite la evaluación de diferentes agentes de control, diferenciando, de esta manera, la mortalidad causada por factores naturales y la mortalidad producida por el agente de control empleado. En ambos casos, se presentó una alta mortalidad en los primeros días de desarrollo, que se debe a la dificultad que tienen las ninfas para colonizar su hospedero. Observaciones de campo permitieron ver cómo este obstáculo es superado, gracias a que hormigas como *Line-*

pithema sp. cargan las ninfas neonatas hasta las raíces, que proporcionan nutrientes de mejor calidad y en altas concentraciones. Esta asociación es mutualista, donde las hormigas favorecen la dispersión de las perlas de tierra y las protegen de enemigos naturales a cambio de la miel de rocío producido por las perlas (Sacchet *et al.* 2009).

De acuerdo a las curvas de supervivencia encontradas, se recomienda realizar medidas de control en las etapas de desarrollo más susceptibles, debido a que, posiblemente, la supervivencia en campo puede ser cercana al cien por ciento durante todas las etapas de desarrollo, concentrando su mortalidad hasta el momento donde se presenta la oviposición. La etapa de desarrollo más susceptible, se presenta entre los 0 a 50 días de desarrollo, que incluyen las etapas de huevo y ninfa móvil.

E. colombianus cuando completa su desarrollo ninfal y pasa a la etapa adulta puede salir del quiste y comportarse como hembra móvil o mantenerse dentro de la capa cerosa. Durante la cría, se detectó la salida de algunas hembras del quiste y su posterior regreso al mismo. Cuando los huevos están cercanos a la eclosión, la capa cerosa se torna débil, para permitir la salida de las ninfas. Por esta razón, no se recomienda realizar ninguna acción mecánica cercana a la rizosfera cuando *E. colombianus* se encuentra en esta etapa, ya que esto facilitaría la diseminación de las ninfas en todo el lote.

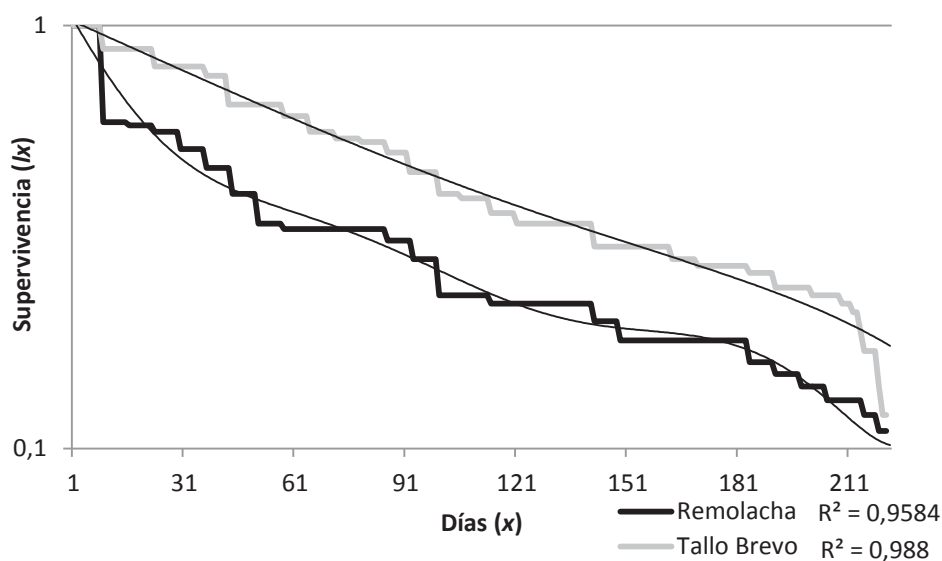


Figura 1. Supervivencia de *Eurhizococcus colombianus* alimentado en tallos de brevo y bulbos de remolacha.

La capa cerosa hace resistente al insecto contra aplicaciones de insecticidas de contacto (Botton *et al.* 2000), por esta razón, es importante conocer el porcentaje de hembras adultas que salen de la protección cerosa y las que se mantienen en ella. Como se observa en la tabla 3, el porcentaje fue afectado notablemente por el alimento consumido durante los instar ninfales; las ninfas alimentadas en remolacha, al llegar al estado adulto, en la mayoría de los casos, se mantuvieron dentro de la capa cerosa (76%), mientras que las ninfas alimentadas en tallos de brevo presentaron una relación equivalente entre hembras móviles y hembras que permanecen en la capa cerosa.

En la tabla 3, se consigna la fertilidad y la fecundidad promedio para las hembras móviles. La mayor fecundidad y fertilidad se presentó sobre los tallos de brevo. Los valores encontrados son bajos respecto a los hallados por Castrillón *et al.* (2000), quienes indicaron una producción de 140 huevos por hembra y a los encontrados en campo de 200 huevos/hembra en plantas de mora. Nuevamente, se considera que esta diferencia se debe al recurso escaso y, por lo tanto, en una futura metodología, se recomienda buscar la forma para mantener turgente la estructura vegetal y con disponibilidad ilimitada de nutrientes, lo cual, se puede lograr al mantener la estructura en condiciones *in vitro* o, si es posible, crear una dieta artificial. A pesar de las limitantes mencionadas, la metodología de cría se recomienda, hasta no obtener una mejor propuesta, ya que permite realizar bioensayos, un mayor porcentaje de colonización de las ninfas, realizar un seguimiento diario sin desprender las ninfas de las raíces y emplear sustrato libre de entomopatógenos.

Además en investigaciones posteriores, vale la pena estudiar el efecto de la luz, la humedad, la temperatura, la calidad del alimento sobre la proporción de quistes que dan origen a hembras móviles y a hembras con protección cerosa desde una misma cohorte, para tratar de entender el comportamiento de esta especie, en relación con estos factores.

La tasa neta de reproducción (R_0), intrínseca de crecimiento (r_m) y finita de aumento (λ) fue superior en los ovisacos, cuyas ninfas fueron alimentadas en los tallos de brevo. En el mejor de los casos, la población presentó un crecimiento del uno por ciento y un individuo es remplazado por 20. Teniendo en cuenta los resultados encontrados y observaciones de campo, se presume que tanto el crecimiento poblacional como la tasa neta de reproducción es superior en campo, lo cual, se debe a que los recursos alimenticios fueron limitados en este experimento.

En cuanto al intervalo entre generaciones (T), no se presentaron diferencias significativas (Tabla 4).

Como se observa en la figura 2, la tasa máxima de aumento de la población alimentada en tallos de brevo, se presentó al día 205, para los ovisacos y al día 209, en las hembras móviles, mientras que la tasa máxima de aumento en la población alimentada en bulbos de remolacha se presentó al día 218, para los ovisacos y al día 201, en las hembras móviles. De estos datos, se puede decir que este parámetro está mediado genéticamente y no nutricionalmente, al presentarse en un periodo de tiempo similar en ambos casos.

De los datos obtenidos del ciclo de vida, de supervivencia y la tabla de vida y de fertilidad, se puede clasificar a *E. colombianus* como una especie con estrategia ecológica tipo K, al presentar un ciclo de vida largo, una baja fecundidad, un poder de multiplicación bajo y una fluctuación poblacional baja (Pianka, 1970)

Por lo tanto, se recomienda buscar, para el manejo poblacional de esta plaga, agentes de control biológico, que puedan permanecer en la rizosfera por largos periodos de tiempo y la forma de perturbar el hábitat donde se desarrollan.

Como conclusión, se logró establecer una metodología de cría para *E. colombianus* en condiciones de laboratorio, sin

Tabla 3. Fertilidad, fecundidad, porcentaje de hembras móviles y ovisacos de *Eurhizococcus colombianus*.

Tratamientos	% Hembras Móviles	% Ovisacos	Fecundidad* (Huevos/hembra)	% de Fertilidad*
Estaca Breva	44	56	43,37	45,64
Remolacha	23,52	76,48	18,5	5,40

* Los datos presentados corresponden a las hembras móviles.

Tabla 4. Tasa neta de reproducción (R_0), intervalo entre generaciones (T), tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y tasa finita de aumento (λ) de *Eurhizococcus colombianus*.

Tratamientos	R_0	T	r_m	λ
Tallos brevo Hembras móviles	5,09±7,85	204,37±3,85	0,002±0,01	1,01±0,01
Tallos brevo Hembras ovisaco	20,07±10,84	205,59±4,31	0,013±0,003	1,01±0,003
Remolacha Hembras móviles	0,14	201	-0,009	0,99
Remolacha Hembras ovisaco	7,05±0,79	210,86±4,84	0,009±0,0003	1,009±0,0003

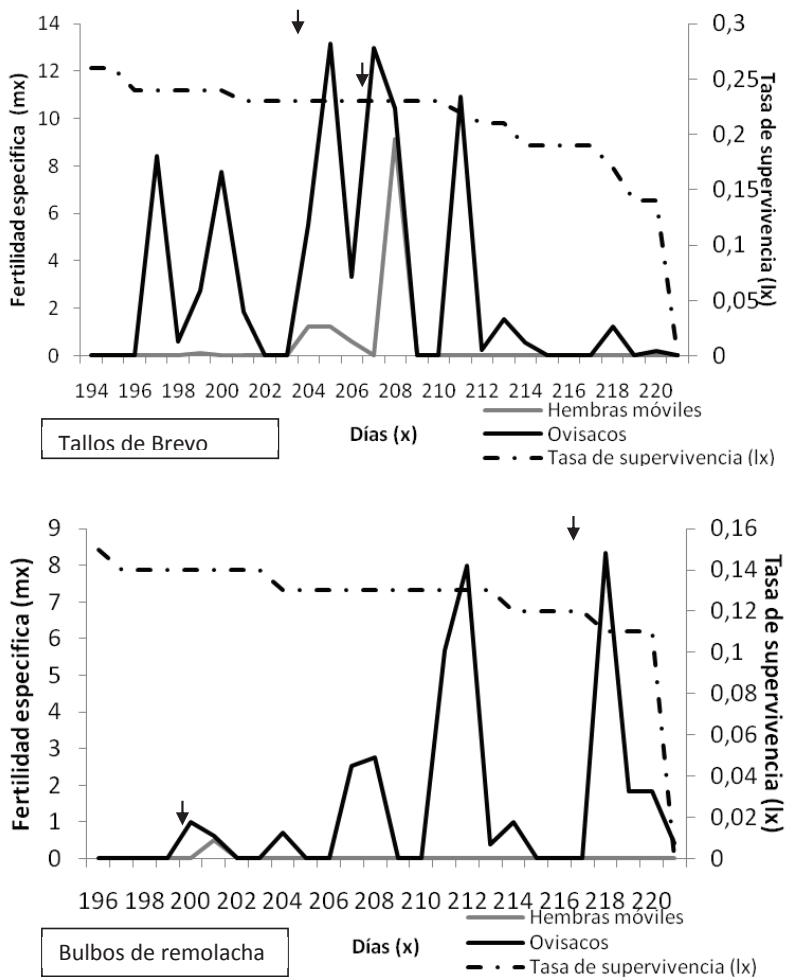


Figura 2. Tasa de supervivencia (lx) y fertilidad específica (mx) para *Eurhizococcus colombianus* alimentado en tallos de brevo y bulbos de remolacha. Las flechas indican la tasa máxima de aumento.

emplear suelo. Las ninfas de perla de tierra, se desarrollaron satisfactoriamente sobre los tallos de brevo y bulbos de remolacha. De acuerdo a los datos obtenidos *E. colombianus* presenta univoltinismo y una estrategia ecológica tipo K. Los resultados obtenidos permiten una relación directa entre el sustrato alimenticio y las diferentes características biológicas evaluadas.

Agradecimientos: Al grupo de entomología del C.I. la Selva de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, al Doctor Saulo de Jesús Soria, por su aportes en el desarrollo del presente trabajo y al Doctor Demian Takumasa Kondo, por la revisión preliminar y aportes. **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 CORPOICA, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Asociación Hortofrutícola de Colombia ASOHOFRUCOL y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOTTON, M.; RODRIGUEZ, E.; SORIA, S.J.; TEXEIRA I. 2000. Bioecología e controle da Pérola-da-terra *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel 1922) (Hemiptera: Margarodidae) na cultura de videira. EMBRAPA. Circular técnica N°27. p.2-4.
2. CARVAJAL, L.D.; GUARÍN, J.H. 2002. La Perla de tierra *Eurhizococcus colombianus* Jakubski (Homoptera: Margarodidae) en los frutales de clima frío. En: Centro de Desarrollo Tecnológico de frutales eds. Memorias Cuarto Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. p.153-162.
3. CASTRILLÓN, A.C.; URREA, C.F.; GUEVARA, M.N.; RODRIGUEZ, J.E. 1998. Reacción de diferentes clones de lulo al ataque de la Perla de tierra (*Eurhizococcus* spp) en zonas de clima frío moderado del departamento de Caldas. En: Centro de desarrollo tecnológico de frutales. eds. Memorias Segundo Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. p.153-160.
4. CASTRILLÓN, A.C.; URREA, C.F.; GUEVARA, M.N.; PINEDA, S.M. 2000. Algunos aspectos biomorfológicos y agroecológicos de la Perla de tierra en zonas Fn. En: Centro de desarrollo tecnológico de frutales eds. Memorias Tercer Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado. p.125-131.
5. COUDRON, T.A.; WITTMAYER, J.; KIM, Y. 2002. Life history and cost analysis for continuous rearing of *Podisus maculiventris* (Say) (Heteroptera: Pentatomidae) on a zoophytophagous artificial diet. J. Econ. Entomol. 95(6):1159-1168.
6. DE KLERK, C.A. 1980. Biology of *Margarodes vreden-dalensis* De Klerk (Coccoidea: Margarodidae). South Afr. J. Enol. Vitic. 1:45-58. Disponible desde Internet en <http://www.sasev.org/journal-sajev/sajev-articles/volume-1-1/art6%20biology%20of%20margarodes%20vredendalensis.pdf> [con acceso 24/09/2011].
7. DEEVEY, E.S. 1947. Life table for natural populations of animals. Quart. Rev. Biol. 22:283-314.
8. DUARTE, H.W.; ZENNER DE POLANÍA, I. 2009. Efecto de la temperatura sobre el desarrollo de *Eriopsis connexa connexa* (Germar) (Coleoptera: Coccinellidae). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 12(2):135-145.
9. FOLDI, I. 2005. Ground pearls: a generic revision of the Margarodidae *sensu stricto* (Hemiptera: Sternorhyncha: Coccoidea). Ann. Soc. Entomol. France. 41(1):81-125.
10. GÜLLAN, P.J.; CRANSTON, P.S. 2005. An outline of entomology. Ed. Blackwell Ltda. (USA). 511p.
11. HICKEL, E.R.; PERUZZO, E.L.; SCHUCK, E. 2001. Controle da pérola-da-terra, *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Homoptera: Margarodidae), através da insetigação. Neotrop. Entomol. 30(1):127-132.
12. KLOWDEN, M.J. 2007. Physiological systems in insects. Ed. Elsevier Inc. (USA). 688p.
13. KOGAN, M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. Ann. Rev. Entomol. 43:243-270.
14. KONDO, D.T.; GÓMEZ, C.E. 2008. La Perla de tierra, *Eurhizococcus colombianus* Jakubski. Una nueva plaga de la Vid, *Vitis labrusca* L. en el Valle del Cauca, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA. Nov. Técn. 9(10):34-40.
15. MAIA, A.; LUIZ, A.; CAMPANHOLA, C. 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. J. Econ. Entom. 93(2):511-518.

16. MONTEIRO, L.B.; SAURO, R. 1997. Curva de crecimiento e criação de *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Homoptera: Margarodidae) sobre beterraba em laboratório. Anais da Soc. Entomol. Brasil, Piracicaba. 25(3):563-565.
17. PIANKA, E.R. 1970. On r- and K-selection. Am. Natur. 104(940):592-597.
18. QUIÑONES, W.; VICENTE, B.; TORRES, F.; ARCHBOLD, R.; MURILLO, W.; LONDOÑO, M.; ECHEVERRI, F. 2008. Chemical composition of ground pearl (*Eurhizococcus colombianus*) Cyst. Molecules. 13(1):190-194. Disponible desde Internet en <http://www.mdpi.org/molecules> (con acceso el 16/08/2008).
19. SORIA, S. DE J.; DAL CONTE, A.F. 2005. Bioecologia e controle das pragas da videira. Embrapa. Circular Técnica 63. Bento Goncalves, RS Dezembro. 20 P. ISSN 1808-6810. Disponible desde Internet en <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/circular/cir063.pdf> (con acceso 16/08/2008).
20. SACCHET, F.; BOTTON, M.; DIEHL, E. 2009. Ant species associated with the dispersal of *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel in Wile) (Hemiptera: Margarodidae) in vineyards of Serra Gaucha, Rio Grande do Sul. Sociobiology. 54:943-954.
21. TEXEIRA, I.; BOTTON, M.; ENIMAR, L.A. 2002. Avaliação de Inseticidas Visando ao Controle de *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Hemiptera: Margarodidae) em Novos Plantios de Videira. Neotrop. Entom.. 31(3):457-461.

Recibido: Enero 26 de 2012

Aceptado: Mayo 3 de 2012

MODELO DINÁMICO PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CARGA DE CUERPOS DE AGUA CON PISCICULTURA

DYNAMICAL MODEL TO ESTIMATE CARRYING CAPACITY IN RESERVOIRS WITH FISH FARMING

Javier Riascos¹, Diana Díaz², Luis Beltrán³, Francisco Gutiérrez⁴

¹ Físico, M.Sc. Matemática Aplicada, javier.riascos@utadeo.edu.co ² Física, M.Sc. Meteorología dianac.diaz@utadeo.edu.co

³ Biólogo M.Sc. Biología luis.beltran@utadeo.edu.co ⁴ Biólogo Marino, Ph.D. francisco.gutierrez@utadeo.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 135 - 145, 2012

RESUMEN

Se propone un modelo dinámico para estimar la capacidad de carga en embalses con actividad acuícola intensiva. La propuesta fue obtenida generalizando el modelo tradicional de balance de fósforo de Dillon y Rigler, formulado en 1974, para cultivo en jaulas en embalses. El modelo es un sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias que determinan la evolución temporal de la biomasa (BM) de los peces y del fósforo disuelto (P). El planteamiento tiene en cuenta parámetros adicionales, como el fósforo proveniente de fuentes externas, variaciones en el régimen de alimentación, y la influencia de éstos al proceso de eutrofización del ecosistema. Se demuestra que el modelo de Dillon & Rigler es un caso particular del nuevo modelo tomando una tasa de alimentación constante y se generó una interfaz gráfica, utilizando el programa Mathematica 7®, para simular diferentes escenarios de cultivo. El trabajo realizado pretende contribuir a la toma de decisiones para la adecuada planeación y operación de proyectos piscícolas, en embalses y en otros cuerpos de agua lénticos.

Palabras clave: Piscicultura, balance ecológico, capacidad de carga, modelo matemático.

SUMMARY

We propose a dynamical model to estimate the carrying capacity of artificial water bodies with intensive fish farming. The dynamical model builds from the traditional phosphorus budget model by Dillon & Rigler (1974) on cage fish farming on artificial reservoirs. The model consists of two ordinary differential equations. The model determines biomass, fish and phosphorus temporal evolution. The model takes into account additional parameters such as phosphorus loading from external sources, variations on feeding regimes and the further

influence of these parameters on the ecosystem eutrophication. Results show that the Dillon & Rigler model is a particular case of the new model by taking a constant feeding rate. In addition, an interactive graphical application was developed to simulate several scenarios, using the software Mathematica 7®. This work contributes to fish farming planning and management on artificial reservoirs and other water bodies.

Key words: Pisciculture, ecological balance, carrying capacity, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

La expansión demográfica del hombre y sus requerimientos, en términos de aprovechamiento de los recursos, han modificado las condiciones naturales de los ecosistemas, en todas las escalas. El reporte Millenium Ecosystem Assessment (2005), por ejemplo, estima que, aproximadamente, el 60% de los servicios que prestan los ecosistemas están siendo usados de manera no sostenible. Esta degradación influye en la disponibilidad de agua dulce, la pesquería, la piscicultura, la purificación del agua y el aire, la regulación del clima regional y local, las amenazas naturales y las pestes.

La acuicultura es un modelo. Están comprobados los impactos negativos sobre los bienes y los servicios de los ecosistemas acuáticos, como consecuencia de la alteración de la calidad de aguas adyacentes, la introducción de especies exóticas y la utilización de alimentos procesados o concentrados. Estos factores contribuyen al enriquecimiento del agua con nutrientes aumentando su productividad, lo que se traduce en una proliferación de algas y de otros organismos fotosintéticos, que conducen al proceso de *eutrofización* del cuerpo de agua (Black, 2001; Magill *et al.* 2006).

En particular, el sistema de cultivo intensivo es uno de los más utilizados en el mundo y el que más perjudica el ambiente. Esta metodología consiste en el uso de jaulas flotantes sobre cuerpos de agua (lagos, embalses) o estanques en tierra, donde la alimentación se realiza de forma artificial, a través de bolitas de concentrado, con altos contenidos de fósforo y de nutrientes (Beveridge, 1986; Morales *et al.* 2005). En Colombia, las pérdidas económicas que genera este método en el cultivo de tilapias oscilan entre el 30 y el 40% de la producción (Morales *et al.* 2005), debido, en gran medida, a la falta de control y al consecuente detrimento de la calidad del agua y su efecto sobre la salud de los peces.

En la acuicultura, la determinación de la capacidad de carga es un requisito fundamental. Este concepto se refiere al número máximo de individuos de la población cultivada que el ambiente puede soportar en un periodo de tiempo, teniendo en cuenta las limitaciones de los factores físicos y ambientales. La correcta evaluación o estimación de esta cantidad permite calcular, con anterioridad, el potencial productivo de un cuerpo de agua, para su eventual uso en piscicultura y ajustar los procedimientos de operación, para evitar el deterioro de la calidad del agua (Bottom, 1997; Stickney, 2003).

Los modelos matemáticos que se han desarrollado para la estimación de la capacidad de carga buscan mantener ciertos parámetros ambientales, considerados como críticos, dentro de unos límites preestablecidos y aceptables, desde el punto de vista de la calidad del agua y el sistema bentónico asociado (Findlay & Watling, 1997; Cromey *et al.* 2002; Stigebrandt *et al.* 2004; Brigolin *et al.* 2009).

El modelo más ampliamente utilizado, para el caso particular de piscicultura intensiva, es el propuesto por Beveridge (1986), que se basa, a su vez, en los resultados de los modelos de Vollenweider (1968) y de Dillon & Rigler (1974).

Vollenweider (1968) propuso un modelo para la estimación de la concentración de nutrientes en el agua de los lagos, basado en el principio de conservación de la masa; Vollenweider correlacionó las concentraciones de varios nutrientes con variables indicadoras de procesos de eutrofización, como cambios en Clorofila *a*, transparencia, entre otros. Los resultados obtenidos a partir de este modelo y de estudios posteriores (Schindler, 1971, 1974; Schindler & Fee, 1974) confirmaron al nitrógeno y al fósforo como los principales nutrientes limitantes en sistemas acuáticos; sin embargo, el contenido de fósforo tiene mayor influencia por las siguientes razones: 1) en pequeñas cantidades es suficiente para estimular significativamente la productividad y aumentar el grado de eutrofización; 2) las reservas gaseosas de fósforo en la atmósfera son menores en comparación con las de nitrógeno u otros elementos como el carbono y el hidrógeno

(Vallentyne, 1974); 3) su solubilidad es baja y se asocia fácilmente con los metales para posteriormente precipitarse y, 4) gran parte es adsorbido por la materia orgánica en la superficie y consumido por el fitoplancton, que al incrementar su biomasa ayuda a disminuir los niveles de luz y de oxígeno, afectando la calidad del agua (Sonzogni *et al.* 1982).

Dillon & Rigler (1974) utilizaron el principio de balance de masa del fósforo de Vollenweider (1968) y definieron una serie de parámetros físicos y ambientales, de más fácil medición, para hallar una expresión para la concentración de *P*, disuelto en estado estacionario. El modelo ha sido aplicado y validado, tanto en zonas templadas como en tropicales (Dillon *et al.* 1993; Buyukcapar & Alp, 2006).

Teniendo en cuenta que el fósforo es el factor limitante de un cuerpo de agua, Beveridge (1986) aplicó el modelo de Dillon & Rigler para determinar la capacidad de carga con piscicultura intensiva, mediante la relación de esta cantidad con la concentración máxima admisible de *P*. Sus resultados han sido aplicados en gran cantidad de lagos y de cuerpos de agua, con piscicultura intensiva (Pulatsü, 2003; Buyukcapar & Alp, 2006).

A pesar de su extensa aplicación, estos modelos carecen de una característica importante y es la descripción explícita con el tiempo, ya que en ellos se propone una solución en estado estacionario. Teniendo en cuenta que las variables y los parámetros pueden presentar cambios con el tiempo (flujos crecientes/decrecientes de fósforo, aumento en la alimentación de los peces, crecimiento/muerte de los peces, entre otros aspectos), estos modelos reducen la capacidad predictiva y la posibilidad de optimizar la productividad de los proyectos piscícolas, en forma continua (Canosa *et al.* 2008).

En este artículo, se propone y formula un Modelo Dinámico de Capacidad de Carga (MDCC) para piscicultura intensiva, teniendo en cuenta el comportamiento en el tiempo de la biomasa de producción y la concentración de fósforo, de un embalse o cuerpo de agua, basado en el principio de balance de fósforo de Vollenweider. Adicionalmente, se diseña una interfaz que facilita el ingreso de los parámetros, condiciones iniciales del sistema y la simulación de diferentes escenarios de predicción y de estimación de la capacidad de carga. Con estas herramientas de modelado y de simulación será posible tomar decisiones que, con mayor certeza y flexibilidad, permitan minimizar el impacto ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del modelo dinámico de capacidad de carga, en primer lugar, se realizó un estudio detallado de la propuesta original de Vollenweider (1968), de Dillon & Rigler

(1974) y de Beveridge (1986). Se estudiaron las relaciones de las variables básicas involucradas: concentración de fósforo $[P]$ y producción (biomasa o número de individuos) de peces Bm , mediante la ecuación de balance de fósforo y expresiones para las concentraciones de fósforo en el alimento y en los peces, suponiendo piscicultura intensiva. Dado que la ecuación de balance de fósforo es una ecuación diferencial para la variación de P en el tiempo (Vollenweider, 1968), el formalismo matemático adecuado para describir las variables de interés ($[P]$ y Bm), en el tiempo, consiste en un sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias para las variables en cuestión, en función del tiempo. Esto se logró a partir de la generalización de la ecuación de balance de fósforo a un caso no estacionario, es decir, a un caso de variación de P (derivada de P no nula). Matemáticamente, se demostró que la propuesta de Dillon & Rigler y de Beveridge son casos particulares del nuevo modelo. Con esta validación, se programó en Mathematica 7®, el código necesario para crear un simulador con una interfaz gráfica apropiada y, finalmente, se compararon los resultados con dos estudios previos realizados en cuerpos de agua con piscicultura intensiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Modelo de Dillon - Rigler y Beveridge: En la siguiente descripción se denomina *sistema* (o cuerpo de agua), al conjunto *columna de agua + sedimentos*. El modelo de Dillon & Rigler (1974) es utilizado por Beveridge (1986), para la estimación de la capacidad de carga de cuerpos de agua, que van a ser utilizados para el cultivo intensivo; considera la concentración de fósforo $[P]$ (en kg/m^3) en la columna de agua, como el principal factor limitante de la productividad y además realiza las siguientes consideraciones:

1ª suposición: El fósforo entrante se disuelve instantánea y uniformemente en todo el cuerpo de agua. Para que P cumpla con esta suposición, se debe medir como un promedio espacial y temporal en todo el cuerpo de agua y durante todo el año.

La ecuación de balance de masa del fósforo presente en el cuerpo de agua se puede expresar como sigue:

$$\frac{dP}{dt} = P'_{entra} - P'_{sale} \quad (1)$$

$$P'_{entra} = L(1-R)A, \quad P'_{sale} = \frac{PQ}{V} = \frac{P}{T} \quad (2)$$

Dónde, L es el flujo de entrada de fósforo al sistema ($kg/(m^2 \cdot año)$), A es el área superficial del cuerpo de agua (m^2), Q es el caudal de salida del agua (m^3/s), V es el volumen del

cuerpo de agua (m^3) y T es el tiempo de descarga dado por el cociente entre V y Q , $T=V/Q$ (años). R es la fracción de fósforo entrante perdida por acumulación en los sedimentos. Se puede determinar, experimentalmente, midiendo la entrada y la salida medias anuales de $[P]$: $[P_{in}]$ y $[P_{out}]$, mediante: $R=1-[P_{out}]/[P_{in}]$ (Beveridge, 1986). Si no se conocen los valores en campo es posible utilizar diferentes modelos empíricos, obtenidos a partir de ajustes estadísticos a datos recogidos en diferentes cuerpos de agua. La expresión más utilizada en la literatura es la que se reporta para lagos naturales: $R=1/(1+0.747(1/T)^{0.507})$ (Larsen & Mercier, 1976; Beveridge, 1986).

2ª suposición: El sistema está en estado estacionario, es decir, P , $[P]$ y L son constantes, por tanto, de (1) se tiene que $P'_{sale} = P'_{entra}$, luego igualando las expresiones de (2), teniendo en cuenta que $[P] = P/V$, $V=Az$ con z la profundidad media del cuerpo de agua (m), resulta:

$$\frac{L(1-R)}{z} = \frac{[P]}{T} \quad (3)$$

Esta es la esencia del modelo de Dillon y Rigler. Como se mencionó previamente, Beveridge (1986) utiliza este modelo para estimar la capacidad de carga de cuerpos con piscicultura intensiva. Él supone que la ecuación (3) también se satisface para la concentración de fósforo presente en la columna de agua, producto de la actividad piscícola proveniente del alimento no ingerido y los excrementos de los individuos (*fósforo excedente*) $[P_{exc}]$:

$$\frac{L_{exc}(1-R_{fish})}{z} = \frac{[P_{exc}]}{T} \quad (4)$$

Donde, L_{exc} es el flujo de entrada a la columna de agua del fósforo excedente (kg de fósforo/ $(m^2 \cdot año)$) y R_{fish} es la fracción de fósforo proveniente de los cultivos piscícolas perdida en los sedimentos (Beveridge, 1986; Buyukcapar & Alp, 2006).

El valor límite o admisible de $[P_{exc}]$, se estima a partir de las concentraciones final e inicial $[P_{final}]$ y $[P_{inicial}]$, respectivamente, donde $[P_{final}]$ es la concentración máxima admisible de fósforo posterior a la cosecha (que para embalses tropicales tiene un valor de $100mg/m^3$ y para embalses templados de $60mg/m^3$) y $[P_{inicial}]$ es la concentración de fósforo medida y promediada en la columna de agua en momentos previos al inicio de toda actividad de piscicultura:

$$[P_{exc}] = D[P] = [P_{final}] - [P_{inicial}] \quad (5)$$

Beveridge (1986) propuso estimar la producción de biomasa anual o capacidad de carga (CC), a partir de la razón en-

tre la rapidez de entrada a la columna de agua del fósforo excedente (P'_{exc} en unidades de kg de P_{exc} /año) y el fósforo descargado al sistema producto de los cultivos por tonelada de pez producida (p_{exc} en unidades de kg de P_{exc} /Tonelada de pez producida), es decir, $CC = P'_{exc} / p_{exc}$ (en unidades de Ton de pez/año).

P'_{exc} está dado por $P'_{exc} = L_{exc}A$ y p_{exc} , que se obtiene a partir del fósforo que entra al sistema como alimento y el fósforo que sale en forma de biomasa del pez.

$$P_{exc} = (TCA \times \%P_{al} - \%P_{fish}) / 100 \tag{6}$$

Donde, $\%P_{al}$ es el porcentaje de fósforo contenido en el alimento suministrado, $\%P_{fish}$ el porcentaje de fósforo contenido en los peces, el cual, se toma como constante, medido al final de la cosecha (Beveridge, 1986). TCA es la tasa de conversión alimenticia del alimento suministrado, definida como el cociente del alimento suministrado y el aumento en biomasa del pez:

$$TCA = \frac{\text{Alimento Suministrado (kg)}}{\text{Aumento de la Biomasa (kg)}} \tag{7}$$

La relación muestra que a menor TCA más efectivo es el alimento en términos del peso del individuo. En general, para las especies de interés comercial los valores de TCA varían entre 1,4 y 3,0 (Beveridge, 1986).

Por tanto: $CC = \frac{P'_{exc}}{p_{exc}} = \frac{L_{exc}A}{(TCA \times \%P_{al} - \%P_{fish}) / 100}$ (8)

Sustituyendo (4) y (5) en (8), se obtiene finalmente:

$$CC = \frac{([P_{final}] - [P_{inicial}])V}{T(1 - R_{fish})(TCA \times \%P_{al} - \%P_{fish}) / 100} \tag{9}$$

Modelo dinámico para la biomasa de peces y fósforo disuelto (MDCC): El modelo que se propone en este artículo involucra las variables de fósforo disuelto P y la Biomasa de los peces en cultivo Bm . El modelo, se planteó como un Problema de Valor Inicial PVI y consiste en un sistema de dos ecuaciones diferenciales ordinarias con variable independiente t y variables dependientes P y Bm , junto con los valores de estas variables, en algún tiempo $t = 0$ (condiciones iniciales). Al solucionar el sistema, se obtienen las curvas de P y Bm en función del tiempo t , con las cuales, se puede encontrar $[P_t]$ y Bm , al cabo de un periodo de tiempo determinado.

Ecuación Diferencial para la Biomasa Bm : La variación de la cantidad de biomasa Bm de peces cultivados en el cuerpo de agua en un tiempo t (o derivada de Bm respecto a t : dBm/dt) es directamente proporcional al flujo de entrada de alimento I_A (kg alimento/día) e inversamente proporcional al factor que de este alimento el pez efectivamente transforma en Biomasa (TCA), por tanto:

$$\frac{dBm}{dt} = \frac{1}{TCA} \cdot I_A \tag{10}$$

La condición inicial para la biomasa está dada por $Bm(0) = bm_{alevino}N$, con N , el número de alevinos que ingresan al sistema y $bm_{alevino}$, el peso del alevino que se cultiva. Bajo esta aproximación no se está teniendo en cuenta la mortalidad de los peces, es decir, que el número de individuos en cualquier tiempo es igual al número inicial de alevinos N . De otra forma habría que considerar otras variables que afectan la mortalidad/supervivencia de los individuos, como la concentración de oxígeno disuelto o la turbidez. En el modelo propuesto no se tienen en cuenta estas variables o simplemente son parámetros constantes con valores adecuados, para asegurar la supervivencia de los individuos.

Para elegir el parámetro I_A existen dos opciones: la primera consiste en tomar un valor constante (como en Beveridge, 1986) y estimarlo a partir del promedio del alimento suministrado en un determinado tiempo. La segunda opción es tomar I_A variable; en este caso, se tienen en cuenta las tablas de alimentación utilizadas en piscicultura, en las cuales, se sugiere que la cantidad diaria de alimento a suministrar a cada individuo sea un porcentaje o fracción c (llamado Parámetro de Alimentación) de la biomasa del individuo, es decir, $I_A = cBm$, c varía con el tiempo de cultivo, ya que depende de las condiciones fisiológicas, edad del pez y del tipo de alimento.

Ecuación diferencial para el fósforo disuelto P : Esta ecuación describe la tasa de variación de la cantidad de fósforo disuelto P en la columna de agua. Para obtenerla, se utiliza la ecuación de balance de masa del fósforo (1) y las consideraciones descritas a continuación.

Entrada de fósforo: El fósforo que entra al sistema proviene de dos fuentes: la primera, del flujo de entrada de fósforo al sistema proveniente de otras fuentes diferentes a la piscicultura, llamada f_{otros} (kg de fósforo/día) y, la segunda, del flujo de entrada del fósforo proveniente del alimento al sistema, llamada f_{al} (kg de fósforo/día). f_{al} es entonces proporcional a I_A y a $\%P_{al}$.

$$f_{al} = \frac{\%P_{al}}{100} I_A \quad (11)$$

Una fracción R_{fish} del fósforo entrante se sedimenta y la otra $(1 - R_{fish})$ permanece en la columna de agua.

Con estas consideraciones, la rapidez de entrada del fósforo viene dada por:

$$P'_{entra} = (f_{al} + f_{otros})(1 - R_{fish}) \quad (12)$$

$$P'_{entra} = \left(\frac{\%P_{al}}{100} I_A + f_{otros} \right) (1 - R_{fish}) \quad (13)$$

Salida de fósforo: La salida de fósforo está dada por la suma de dos términos: el de descarga del cuerpo de agua y el fósforo presente en el alimento, que es consumido por los peces. Se puede expresar como el producto entre $\%P_{fish}$ y dBm/dt y todo el término debe estar multiplicado por el factor $(1 - R_{fish})$, porque el pez sólo tiene acceso al fósforo, que permanece en la columna de agua.

Con estas consideraciones P'_{sale} está dada por:

$$P'_{sale} = \frac{\%P_{fish}}{100} \frac{dBm}{dt} (1 - R_{fish}) + \frac{P}{T}$$

La ecuación diferencial para el fósforo P resulta de la resta entre P'_{entra} y P'_{sale} :

$$\frac{dP}{dt} = \left(\frac{\%P_{al}}{100} I_A - \frac{\%P_{fish}}{100} \frac{dBm}{dt} + f_{otros} \right) (1 - R_{fish}) - \frac{P}{T}$$

A partir de la ecuación (10) esta ecuación se puede escribir como:

$$\frac{dP}{dt} = \left(\left(\frac{\%P_{al}}{100} - \frac{\%P_{fish}}{100} \frac{1}{TCA} \right) I_A + f_{otros} \right) (1 - R_{fish}) - \frac{P}{T} \quad (14)$$

La condición inicial para P está dada por $P(0) = [P](0) V$.

La cantidad que interesa conocer es la concentración de fósforo en función del tiempo: $[P](t)$. Una vez que se solucione para P , la concentración se puede obtener como

$$[P](t) = \frac{P(t)}{V}$$

El MDCC lo constituyen las ecuaciones (10) y la ecuación (14), junto con las condiciones iniciales de ambas variables. Aspectos matemáticos relevantes de este sistema es que la ecuación para Bm es independiente de la ecuación para P y se puede solucionar analíticamente, por medio del método de separación de variables. La ecuación para P , a su vez, puede depender de la primera, en caso que se escoja para I_A la expresión dependiente de Bm . En el otro caso, si I_A se escoge constante (aproximación que se tomará en el presente trabajo siguiendo a Beveridge), la ecuación para P queda desacoplada de la ecuación para Bm . Se puede demostrar que en este caso la solución para $P(t)$, independiente de los valores de las condiciones iniciales y parámetros, tiende a un valor de equilibrio P_{eq} para valores grandes de t .

El fósforo excedente y el fósforo de otras fuentes en el modelo dinámico: En el modelo de Beveridge (1986), $[P_{exc}]$ es necesaria para la estimación de la capacidad de carga. En el modelo propuesto, se puede plantear una ecuación dinámica para esta variable y para la variable P_{otros} , lo que permite comparar los modelos. Se parte del hecho que el fósforo total es la contribución de ambos tipos de fósforo:

$$P = P_{otros} + P_{exc} \quad (15)$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dP_{otros}}{dt} + \frac{dP_{exc}}{dt} \quad (16)$$

Donde, P_{otros} es el fósforo disuelto en la columna de agua proveniente de fuentes distintas a la actividad piscícola (kg de fósforo).

Teniendo en cuenta la ecuación (14), se obtienen las siguientes expresiones, para las tasas de cambio de P_{otros} y P_{exc} :

$$\frac{dP_{otros}}{dt} = f_{otros} (1 - R_{fish}) - \frac{P_{otros}}{T} \quad (17)$$

$$\frac{dP_{exc}}{dt} = \left(\frac{\%P_{al}}{100} - \frac{\%P_{fish}}{100} \frac{1}{TCA} \right) I_A (1 - R_{fish}) - \frac{P_{exc}}{T} \quad (18)$$

Las condiciones iniciales para estas ecuaciones corresponden a $[P_{otros}](0)$ y $[P_{exc}](0)$ al iniciar el cultivo.

Una medición en el cuerpo de agua del fósforo corresponde a $[P]$. En ese caso es difícil saber en cuánto contribuye cada tipo de fósforo al total; sin embargo, se puede conocer cuando la medición se lleva a cabo antes del inicio de cualquier actividad de piscicultura. En este caso, el valor medido para $[P]$ corresponde a $[P_{inicial}]$ (el valor de $[P]$ medido antes del inicio de la actividad piscícola, según el modelo de Beveridge)

y es igual a $[P_{otros}](0)$, ya que la contribución de $[P_{exc}]$ es nula en ausencia de piscicultura.

Teniendo en cuenta la ecuación (18), se puede definir una tasa de ingreso de f_{exc} , que es la contribución del alimento suministrado al fósforo del sistema:

$$f_{exc} = \left(\frac{\%P_{al}}{100} - \frac{\%P_{fish}}{100} \frac{1}{TCA} \right) I_A \quad (19)$$

Así, la ecuación para P_{exc} , se puede escribir como:

$$\frac{dP_{exc}}{dt} = f_{exc} (1 - R_{fish}) - \frac{P_{exc}}{T} \quad (20)$$

En cuanto al fósforo de otras fuentes, ecuación (17), se puede estimar f_{otros} , suponiendo que el sistema se encontraba en equilibrio en los momentos previos al inicio de la actividad. Esto es admisible si se supone una entrada constante de fósforo (f_{otros} constante) y un tiempo suficientemente largo para asegurar el estado de equilibrio. Entonces, la tasa de cambio de P_{otros} es nula y como $P = P_{otros} = P_{inicial}$ tenemos de la ecuación (17):

$$f_{otros} = \frac{P_{inicial}}{(1 - R_{fish})T} \quad (21)$$

Se interpreta este valor como la entrada de fósforo necesaria para igualar la salida, debido a la descarga hidrológica del cuerpo de agua y así mantener constante la concentración de fósforo, en una situación sin actividad de piscicultura.

La capacidad de carga en el modelo dinámico y equivalencia con el modelo de Beveridge: La capacidad de carga CC, tal como se define en el modelo de Beveridge (1986) (9), corresponde a la *producción anual de biomasa* de peces cultivados, de tal manera que la concentración $[P_{exc}]$ sumado a $[P_{inicial}]$ sea la concentración máxima admisible $[P_{final}]$.

En el modelo MDCC, el cálculo de CC se realiza siguiendo los siguientes pasos o suposiciones:

1) Se modela una situación de inicio de la actividad de piscicultura. En este caso, el valor inicial para $[P]$ corresponde a $[P_{inicial}]$ y f_{otros} viene dado por (21). Suponiendo, además, que se van a cultivar N alevinos de peso $bm_{alevinos}$, las condiciones iniciales del MDCC son:

$$Bm(0) = N bm_{alevinos} \quad [P](0) = [P_{inicial}] \quad (22)$$

2) Se supone I_A (tasa de alimentación) constante, como en Beveridge (1986). Esto asegura que haya una solución de equilibrio para $[P]$; además, permite solucionar la ecuación (13) para Bm lo que da un crecimiento lineal:

$$Bm(t) = Bm(0) + \frac{I_A}{TCA} t \quad (23)$$

3) Se fija como solución de equilibrio para $[P]$ el máximo permitido $[P_{final}]$, que se supone se consigue en un tiempo de equilibrio t_{eq} . En este instante, la tasa de variación de P es nula (ecuación 11):

$$\frac{1}{100} \left(\%P_{al} I_A - \%P_{fish} \frac{I_A}{TCA} + \frac{P_{inicial}}{(1 - R_{fish})T} \right) (1 - R_{fish}) - \frac{P_{final}}{T} = 0$$

Con esta ecuación, se despeja I_A , cuyo valor se interpreta como el necesario para lograr el máximo admisible $[P_{final}]$ para la concentración de P en estado de equilibrio:

$$I_A = \frac{([P_{final}] - [P_{inicial}])V}{T(1 - R_{fish})(\%P_{al}TCA - \%P_{fish})/100} TCA \quad (24)$$

La capacidad de carga es el crecimiento de la biomasa por año, dado este valor de la tasa de alimentación; por (22) y (23) viene dada por:

$$CC = \frac{I_A}{TCA} = \frac{([P_{final}] - [P_{inicial}])V}{T(1 - R_{fish})(\%P_{al}TCA - \%P_{fish})/100} \quad (25)$$

Expresión que es igual a la obtenida utilizando el modelo de Beveridge (1986) (9).

Simulación numérica: Para la simulación del modelo, se diseñó una interfaz gráfica, utilizando el software de *Mathematica 7.0*® (Figura 1). El modelo fue aplicado a dos cuerpos de agua con piscicultura intensiva: el Embalse Menzelet y el Lago Kesikköprü, cuya capacidad de carga fue estimada previamente por Buyukcapar & Alp (2006) y Pulatsü (2003), aplicando el modelo de Beveridge (1986). Los parámetros empleados fueron calculados con los datos proporcionados por los artículos de referencia (Pulatsü 2003; Buyukcapar & Alp, 2006) y utilizando las suposiciones de la sección anterior para asegurar un valor de equilibrio de $[P]$ igual al máximo permitido, empleado por los autores: $[P_{final}] = 60\text{mg/m}^3$.

En la figura 2, se muestran los resultados de Bm y $[P]$ en función del tiempo. Se observa un crecimiento lineal de la biomasa Bm , que se explica, debido a que se supone I_A constante. Cabe recordar que no se tiene en cuenta mortalidad y, por este motivo, siempre habrá crecimiento. También, se

Parámetros del Modelo

Tasa de Conversión Alimenticia – TCA

Porcentaje de Fósforo en el Alimento – %Pal

Porcentaje de Fósforo en el pez – %Pfish

Volumen del cuerpo de agua – $V(m^3)$

Caudal – $Q(m^3/s)$

Parámetro de alimentación – $I_a (mg/día)$

Proporción de P perdida permanentemente en el sedimento – x

Condiciones Iniciales

Número de Alevinos – N

Peso de Alevinos – $b_{malevinos}(mg)$

Concentración Inicial de Fósforo – $[P_{inicial}] (mg/m^3)$

Figura 1: Interfaz gráfica para el ingreso de los parámetros y las condiciones iniciales del modelo planteado.

observa un aumento en la concentración de fósforo desde un valor inicial $[P_{inicial}]$ hasta el valor de equilibrio $[P_{final}]$. El crecimiento, se explica, debido a que se está modelando la situación de inicio de piscicultura y hay ingreso de fósforo, tanto por el alimento suministrado como por otras fuentes.

La capacidad de carga del embalse Menzelet, según el modelo de Beveridge-Dillon & Rigler fue de 25.394 ton/año, con el nuevo modelo se obtuvo un valor de 26.403 ton/año (Figura 2). Para el Lago Kesikköprü, la capacidad de carga según el modelo de Dillon & Rigler (1974) fue de 3.335ton/año y con el nuevo modelo fue de 3.320ton/año (Figura 2). La diferencia se puede explicar por las pequeñas variaciones en los valores de los parámetros utilizados en ambos modelos.

Por otro lado, el modelo permite estimar la tasa de ingreso de fósforo excedente f_{exc} , producto de la actividad piscícola. Para el caso Menzelet, el valor es $f_{exc} = 0,8736$ ton/día, lo cual, indica que la contribución al fósforo, debido a la actividad piscícola, es mayor que la registrada a la entrada por otras fuentes ($f_{otros}=0,7983$ ton/día). Esto es posible, porque $[P_i] = 29,0$ mg/m³ es mucho menor que el valor final permitido $[P_f] = 60,0$ mg/m³, lo que permite una alta tasa de alimentación antes de que el sistema alcance este valor máximo de fósforo. Esto explica también el valor alto de la capacidad de carga para este cuerpo de agua: $CC= 26403$ ton/año. Para el caso Kesikköprü, el valor es $f_{exc} = 0,1041$ ton/día y $f_{otros} = 0,8003$ ton/día. Esta menor entrada de fósforo excedente se puede explicar, porque antes de la actividad piscícola $[P_{inicial}]$

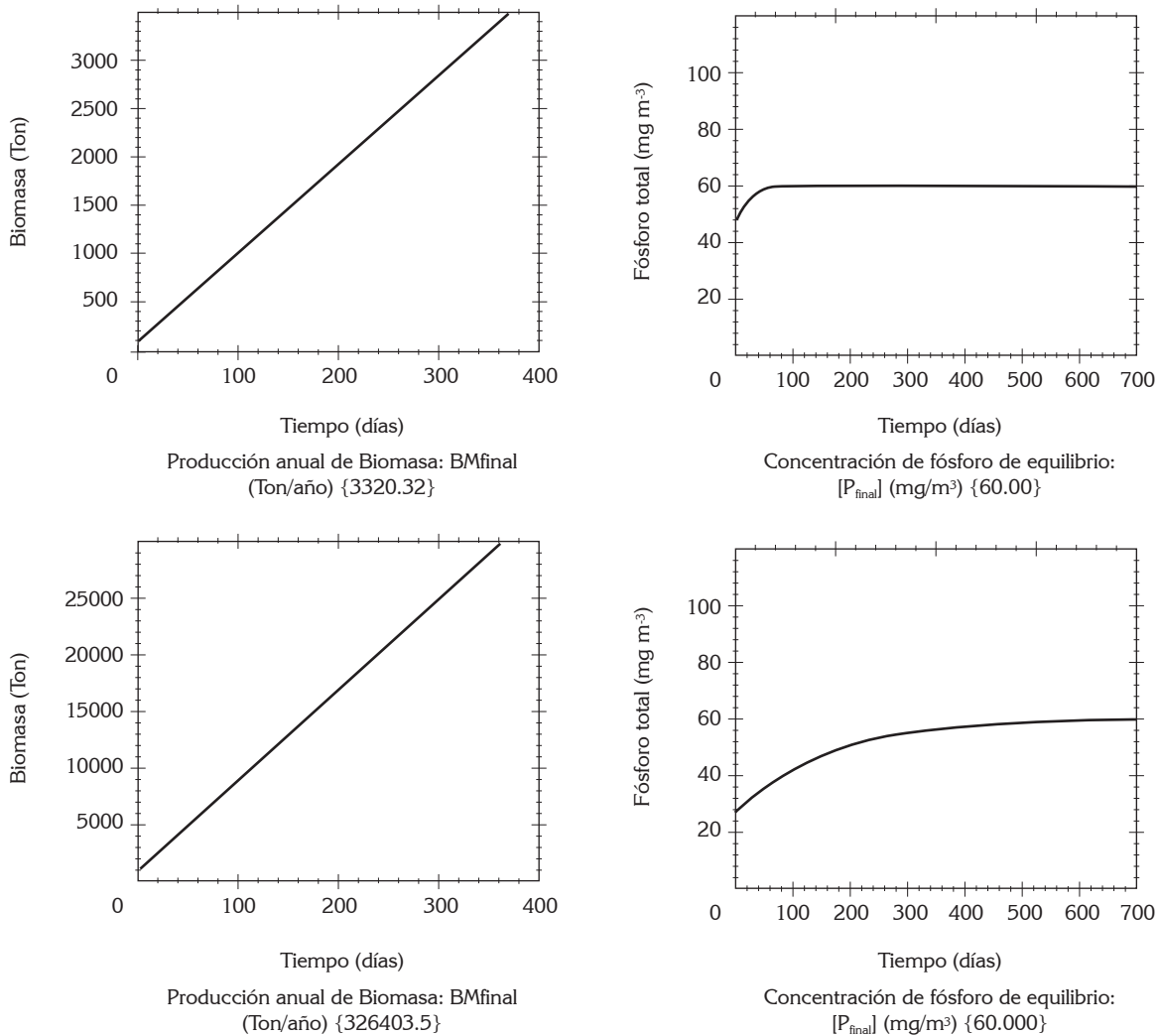


Figura 2. Resultados obtenidos para la biomasa de peces cultivados y concentración de P en el tiempo, con el modelo propuesto. Arriba: caso Menzelet. Abajo: caso Kesikköprü.

Tabla 1. Comparación de los modelos.

		Dillon y Rigler	MD
VARIABLES		Tiempo (t)	X
		Fósforo total disuelto (P)	X
		Biomasa (Bm)	X
		Fósforo excedente disuelto (P_{exc})	X
		Fósforo de otras fuentes (P_{otros})	X
		Capacidad de carga (CC)	X
PARÁMETROS	Características Hidrológicas del Cuerpo de Agua	Volumen del cuerpo de agua (V)	X
		Área superficial del cuerpo de agua (A)	Opcional (Se mide para calcular V)
		Profundidad media del cuerpo de Agua (z)	Opcional (Se mide para calcular V)
		Tiempo de descarga (T)	X
		Caudal de salida (Q)	Opcional (Se mide para calcular T)
	Parámetros de Balance de Fósforo	Fósforo después de piscicultura ($[P_{final}]$)	X
		Fósforo antes de la piscicultura ($[P_{inicial}]$)	X
		Fracción de fósforo sedimentado (R o R_{fish})	X
		Rapidez de entrada de $P_{otros}(f_{otros})$	
		Rapidez de entrada de $P_{exc}(f_{exc})$	X
	Características de la alimentación	Tasa de conversión alimenticia (TCA)	X
		Porcentaje de fósforo en el pez ($\%P_{fish}$)	X
		Porcentaje de fósforo en el alimento ($\%P_{al}$)	X
	Nuevos Parámetros del modelo dinámico	Número de alevinos (N)	
		Peso de alevinos ($bm_{alevinos}$)	
		Tasa de entrada de alimento (I_A)	(Se puede obtener mediante $I_A = CC * TCA$)
		Parámetro de alimentación (c)	(Opcional cuando se suponga $I_A = cBm$)
	ESCENARIOS QUE PUEDE MODELAR	Escenario 1: Inicio de la piscicultura: $P(0) = P_i, f_{otros} = P_i / (1 - R_{fish}) T$	X
		Escenario 2: Escenarios posteriores al inicio de piscicultura (o escenarios con piscicultura establecida)	
		Escenario 3: Escenario donde cambie el flujo de fósforo de otras fuentes.	
Escenario 4: Escenarios donde se permita variar el régimen de alimentación.			
	Escenario 5: Escenarios donde TCA sea variable en el tiempo		

= 53,1 mg/m³, un valor muy cercano al máximo permitido, luego la tasa de alimentación tiene que ser baja para no sobrepasar el límite de $[P_f] = 60,0$ mg/m³ y, como consecuencia, CC=3320ton/año es menor que el primer caso.

Los resultados obtenidos muestran que el modelo MD estima los mismos valores de capacidad de carga que los dados por Dillon & Rigler (1974); la ventaja del nuevo modelo es que permite conocer la dinámica de la biomasa durante el tiempo de cosecha y adicionalmente establecer mediante, el simulador, los parámetros y las condiciones iniciales, con los cuales, se obtiene la mayor producción, sin afectar el ecosistema. Por ejemplo, es posible determinar el factor I_A suficiente para aumentar la biomasa de forma sostenible, con ganancias para el piscicultor y sin degradar el ambiente. También es posible estimar la entrada de fósforo, debido a otras fuentes f_{otros} distintas a la piscicultura y determinar su grado de influencia en el nivel de fósforo presente en el cuerpo de agua. Por ejemplo, si la entrada de fósforo es muy alta no es posible aumentar lo suficiente el factor I_A para obtener una mejor producción de biomasa. El modelo permite, además, simular otros escenarios, como con I_A no constante, TCA variable, de acuerdo con la edad del pez o escenarios posteriores al inicio de la actividad piscícola. Es posible, del mismo modo, estimar el tiempo que debe transcurrir sin actividad piscícola para que la concentración vuelva a su estado natural. La tabla 1 compara los modelos de Dillon & Rigler (1974) y el modelo propuesto y demuestra la versatilidad y utilidad de éste: permite modelar todo tipo de situaciones derivadas de actividades acuícolas o de piscicultura intensiva, sin necesidad de medir más parámetros que los necesarios para el modelo original de Beveridge. Con el modelo y la validación presentada, la siguiente fase de este proyecto tendrá como objetivo estimar la capacidad de carga de embalses colombianos como Betania y Prado.

Conflicto de intereses: Los autores del presente trabajo declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados obtenidos. **Financiación:** El proyecto fue financiado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEVERIDGE, M. 1986. Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO documento técnico de pesca. Disponible desde Internet en: <http://www.fao.org/DOCREP/005/AD021S/AD021S00.HTM> (con acceso 11/06/10).
2. BLACK, K.D. 2001. Environmental impacts of aquaculture. CRC Press, Boca Ratón (USA). 214p.
3. BOTTOM, D.L. 1997. To Till the water: a history of ideas in fisheries conservation. En: Stouder, D.J.; Bisson, P.A.; Naiman, R.J. eds. Pacific Salmon and Their Ecosystems: Status and Future Options. Ed. Chapman Hall (New York). p.569-597.
4. BRIGOLIN, D.; PASTRES, R.; NICKELL, T.D.; CROMEY, C.J.; AGUILERA, D.R.; REGNIER, P. 2009. Modelling the impact of aquaculture on early diagenetic processes in sea loch sediments. Marine Ecol. Progress Series. 388:63-80.
5. BUYUKCAPAR, H.M.; ALP, A. 2006. The carrying capacity and suitability of the menzelet reservoir (Kahramanmaraş-Turkey) for trout culture in terms of water quality. J. Appl. Sci. 6:2774-2778.
6. CANOSA, A.; LÓPEZ, L.; MORALES, D.; MARTÍNEZ, P. 2008. Línea Base Microbiológica para Ajuste del POPA (Plan de Ordenamiento Pesquero y acuícola) del Embalse de Betania. Informe Técnico. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural Integral (Colombia). Disponible desde internet en: <http://www.huila.gov.co/documentos/P/POPABetaniaTexto.pdf> (con acceso 10/04/10).
7. CROMEY, C.J.; NICKELL, K.; BLACK, D. 2002. DEPO-MOD. Modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. Aquaculture. 214:211-239.
8. DILLON, P.J.; RIGLER, F.H. 1974. A test of simple budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. J. Fish. Res. Board Can. 31:1771-1778.
9. DILLON, P.J.; EVANS, H.E. 1993. A comparison of phosphorus retention in lakes determined from mass balance and sediment core calculations. Water Res. 27(4):659-668.
10. FINDLAY, R.H.; WATLING, L. 1997. Prediction of benthic impact for salmon net-pens based on the balance of benthic oxygen supply and demand. Marine Ecol. Progress Series. 155:147-157.
11. LARSEN, D.P.; MERCIER, Y.H.T. 1976. Phosphorus retention capacity of lakes. J. Fish. Res. Board Can. 33(8):1742-1750.
12. MAGILL, S.H.; THETMEYER, H.; CROMEY, C.J. 2006. Settling velocity of fecal pellets of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sensitivity analysis using measured data in deposition model. Aquaculture. 251:295-305.

13. MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, D. C. Disponible desde Internet en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (con acceso 15/07/10).
14. MORALES, V.V.; MORALES, R. 2005. Síntesis regional del desarrollo de la Acuicultura 1. América Latina y el Caribe. FAO Circular de Pesca No 1017/1.
15. PULATSÛ, S. 2003. The application of a phosphorus budget model estimating the carrying capacity of Kesikk.pr. Dam Lake. *Türk. J. Vet. Anim. Sci.* 27:1127-1130.
16. SCHINDLER, D.W. 1971. A hypothesis to explain differences and similarities among lakes in the experimental lakes area, northwestern Ontario. *J. Fish. Res. Board Can.* 28(2):295-301.
17. SCHINDLER, D.W.; FEE, E.J. 1974. Experimental lakes area: whole-lake experiments in eutrophication. *J. Fish. Res. Board Can.* 31(5):937-953.
18. STICKNEY, R.R. 2003. How did we get into this mess? Junk science vs. real science. *World Aquaculture.* 34:71.
19. STIGEBRANDT, A.; AÛRE, J.; ERVIK, A.; HANSEN, P.K. 2004. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling–On-growing fish farm–Monitoring system. *Aquaculture.* 234:239-261.
20. SONZOGNI, W.C.; CHAPRA, S.C.; ARMSTRONG, D.E.; LOGAN, T.J. 1982. Bioavailability of phosphorus inputs to lakes. *J. Environ. Qual.* 11:555-562
21. VALLENTYNE, J.R. 1974. The algal bowl lakes and man. *Dep. Environ. Fish. Mar. Serv., Ottawa. Misc. Publ.* 22. 186p.
22. VOLLENWEIDER, R.A. 1968. The scientific basis of lake and stream eutrophication with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. *Tech. Rep. OECD, Paris, DAS/CSI 68.* 27:1-182.

Recibido: Agosto 25 de 2011

Aceptado: Abril 10 de 2012

FACTORES QUE AFECTAN EL RECuento DE UFC EN LA LECHE EN TANQUE EN HATOS LECHEROS DEL NORTE DE ANTIOQUIA-COLOMBIA

FACTORS THAT AFFECT COLONY FORMING UNITS IN BULK MILK OF NORTH ANTIOQUIA-COLOMBIA DAIRY FARMS

Tatiana Ruiz-Cortés¹, Stivenson Orozco², Luz Stefany Rodríguez², Julián Idárraga³, Martha Olivera⁴

¹ MV, M.Sc, Ph.D, PD. Grupo de Investigación Biogénesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia; biogenesis1995@gmail.com; ² Estudiantes Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, ³ Estudiante Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. ⁴ MV, Dr. Agr.Sc.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 147 - 155, 2012

RESUMEN

En el Departamento de Antioquia, Colombia, la producción primaria de leche bovina se desarrolla, en su mayoría, en la región del altiplano norte, con manejos de ordeño de tipos manual y mecánico. La calidad del producto define la comercialización del mismo, ya sea para consumo directo, luego de pasteurización o para su proceso y posterior producción de productos derivados. En ambos casos, la contaminación microbiana inicial, se constituye en factor definitivo para el destino de la leche producida. Una normativa específica por zonas para Colombia define los valores de unidades formadoras de colonias (UFC) permitidas, para que los productores puedan no sólo vender su producción sino, también, obtener bonificaciones importantes, al momento de la venta. El objetivo de este trabajo fue estudiar algunos factores que pueden afectar los conteos de UFC en tanque final de hatos lecheros del norte de Antioquia. Se midieron, se describieron con análisis univariado y se asociaron con regresión logística la variable dependiente: UFC en tanque y las variables independientes: tipo de ordeño, altitud en metros, tiempo de la leche en las cantinas (en minutos), distancia al tanque (en metros) y el número de vacas en ordeño. Se encontró que un punto crítico dentro de la rutina de ordeño fue el tiempo transcurrido desde el ordeño hasta llegada al tanque, sin alcanzar la cadena de frío. Otro factor crítico fue el número de vacas, quizás porque esto estaría aumentando el tiempo que dura el ordeño. Igualmente,

la altitud, por su posible relación con la temperatura y la proliferación de bacterias.

Palabras clave: Unidades formadoras de colonia (UFC), ordeño manual, ordeño mecánico, geoposicionamiento (GPS).

SUMMARY

In Antioquia-Colombia, the primary milk production is mainly performed at the northern "altiplano" region using both manual and automatic milking systems. The product quality will define its commercialization directly to consumers after pasteurization or for processing and derivatives production. In both cases, the initial microbial contamination is crucial for its final use. Colombian regulations, specific for regions, define the allowed values of colony forming units (CFU), so the producers not only can sell their production, but also obtain important price bonus. The objective of the present work was to study some factors that can affect the bulk milk CFU counts in northern Antioquia dairy farms. The dependent variable was measured, described with an unvaried analysis and associated with a logistic regression. CFU, and independent variables as milking system, altitude, milking time in churn (minutes), distance to bulk (m) and cow number were measured, analyzed and associated with univariate and logistic regression statistics. Results indicated that the main risk factor in the CFU variation was

the time period that the milk remained out of the cold chain. Other critical factors were the number of milked cows, since it increases the milking time; equally, altitude where farms are located, possibly related to temperature and bacterial proliferation.

Key words: Colony forming units (CFU), manual and automatic milking, Global Positioning System (GPS).

INTRODUCCIÓN

Si el destino primario de la producción de leche es el mercado líquido o el posterior procesamiento y la obtención de derivados, su vida de almacenamiento y la calidad en los procesos estarán reducidas, si se presentan altas concentraciones de células somáticas y/o de bacterias. La presencia de bacterias en leche vendría de tres principales fuentes: el medio ambiente, infecciones intramamarias y de la flora normal de la ubre (van Schaik *et al.* 2005).

La inocuidad de los alimentos se debe garantizar en cada uno de los eslabones de la cadena alimenticia y la producción primaria es el primer nivel. La calidad tanto de la leche cruda y pasteurizada como de los productos derivados lácteos es la consecuencia de todas las actividades desarrolladas durante el proceso de producción, desde las granjas hasta la transformación en la industria láctea (Vilar *et al.* 2011; WHO/FAO 2008).

El nivel y el tipo de microorganismos presentes en tanque es información que refleja las condiciones higiénicas a varios niveles, durante la producción de leche en la finca. Existen varias metodologías para monitorear la calidad higiénica de la leche en tanque y son: conteo total de aeróbicos-TAC (por Total Aerobic Count) o de unidades formadoras de colonias (UFC), que es una alternativa del conteo estándar en placa o SPC (por Stand Plate Count), conteo por incubación preliminar-PIC (por Preliminary Incubation Count), conteo por pasteurización de laboratorio-LPC (por Laboratory Pasteurization Count) y conteo de coliformes-CC (por Coliform Count), entre otros. El TAC o UFC, el más utilizado, estima el número total de bacterias mesofílicas aerobias totales presentes en leche cruda al momento de la toma de la muestra en tanque y provee una medida general de calidad higiénica de la leche; sin embargo, tiene un valor diagnóstico limitado, en lo que concierne a la identificación específica de la bacteria contaminante (Elmoslemany *et al.* 2010).

Altos conteos de unidades formadoras de colonias (UFC) en leche, se asocian comúnmente con pobre sanidad o deficiencias en la cadena de frío que, a su vez, estarían

asociados con varios factores, como ubres con mastitis, contaminación ambiental, contaminación por recipientes, tiempo y temperatura de almacenamiento y transporte (Gaviria, 2007). Es seguro que existen muchas otras variables que podrían tener efecto en estos conteos y que van a influir en los factores mencionados.

En Colombia, la resolución 0012 de 2007 reglamenta el pago de la leche cruda al productor primario sobre la base de parámetros de calidad composicional, sanitaria e higiénica, bonificando los conteos bajos de UFC en unidad de miles de UFC/mL y penalizando los recuentos altos (MADR-COLOMBIA 2007), medición realizada por la empresa acopiadora, para definir las bonificaciones.

La industria lechera colombiana, se desarrolla en explotaciones desde 0 hasta más de 3000 msnm y existe en diversas zonas del país. En Antioquia, la región del altiplano norte, se caracteriza por la alta producción de leche, en los municipios de Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, Entreríos, Belmira, Don Matías y San José de la Montaña; la producción primaria, se realiza mediante ordeño manual y mecánico en sala y en potrero.

Es importante anotar que el ordeño manual que se manobra en estas zonas es una práctica que desapareció en muchos países hace mucho tiempo; sin embargo, en Colombia, tanto en el trópico bajo como en el trópico de altura, se realiza en un gran porcentaje de hatos (el 80% de los predios medidos, el 20% restante lo conforman los ordeños mecánicos en potrero y en sala).

En una publicación en cabras, al comparar tres tipos de ordeño (mecánico sala, en potrero y manual), reportaron los autores que el tipo de ordeño influye en los conteos de UFC en leche, siendo el ordeño manual el que está más relacionado con leche contaminada (Zeng & Escobar 1996).

Aunque es indiscutible que la calidad de la leche cruda es esencial para la producción de leche y de productos lácteos de calidad. La información acerca de la influencia de factores de manejo sobre el conteo de bacterias en tanque y en diferentes tipos de ordeño es limitada, a nivel internacional y, más aún, a nivel local.

Este trabajo se realizó, con el fin de determinar cuáles serían las variables que más afectan el recuento de unidades formadoras de colonias en el tanque, en hatos que tienen ordeño manual, comparado con hatos que tienen ordeño mecánico, en fincas del norte antioqueño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras fueron tomadas en seis municipios del norte del departamento de Antioquia, en 13 fincas y en 290 potreros, durante 2009 y 2010. Las mediciones, se realizaron en leche proveniente de tanque final con leche acumulada de 2 a 4 ordeños, con un promedio $2,8 \pm 0.8$ ordeños y una moda de dos ordeños. La variable dependiente que se estudió fue el recuento total de bacterias en tanque final y se expresa en unidades formadoras de colonias en miles por mililitro, UFC/mL, ya que es con esta unidad que la norma bonifica o castiga, como se mencionó anteriormente en la introducción. Este valor, se calculó como el promedio para los meses de 2009 y 2010 y se obtuvo mediante la técnica para microorganismos aerobios mesófilos totales y no específicos, utilizando el método de RIDA Count Total™ en cultivos, por 24h-36h, a 36°C, en el laboratorio Syngamia, de la Universidad de Antioquia.

Se escogió el valor de 70.000 unidades formadoras de colonias para realizar los análisis por ser el valor que se presenta con más frecuencia, según resultados del análisis univariado (más adelante).

Las variables independientes fueron: tipo de ordeño, que se clasificó en manual, mecánico en potrero y mecánico en establo; altitud, medida en msnm y fueron datos obtenidos en

una fecha, en todos los potreros donde rotaron las vacas de ordeño; se realizó por medio del equipo GARMIN®GPSmap 60CSx; tiempo que dura la leche en las cantinas, durante el ordeño y hasta llegar al tanque final y se calculó en minutos; se aplica para todos los tipos de ordeño a excepción de los que eran de tipo mecánico en establo con unidad final; se trata del tiempo que tarda la leche en ser depositada en el tanque final; distancia al tanque, en metros, es la distancia que recorre la leche o las cantinas con la leche para llegar al tanque final desde los potreros; se calculó en los ordeños manual y mecánico en potrero y, finalmente, número de vacas en ordeño, se incluyeron todos los animales que estaban siendo ordeñados en el momento de la toma de muestras para el cálculo de las UFC.

Análisis estadístico: a los datos se les realizó análisis univariados, para generar datos descriptivos de promedio, desviación estándar, error estándar y moda. Luego, se procedió a un análisis de regresión logística, que incluyó el estadístico de Wald, para verificación de significancias de coeficientes. En la tabla 1, se muestran las variables incluidas como posibles predictoras y su operacionalización. El tipo de ordeño y el número de vacas en ordeño, se incluyeron como variables categóricas y la primera categoría como de referencia; para las variables dicotómicas altitud y tiempo que dura la leche en cantinas, Alt_cat(1) y Tiemp_cant(1) fueron tomadas como de referencia.

Tabla 1. Variables incluidas como posibles predictoras de la contaminación microbiológica (UFC), en hatos lecheros del norte de Antioquia-Colombia.

Variable	Operacionalización
Tipo de ordeño	1. Manual: Ord_tip(1) 2. Mecánico Potrero: Ord_tip(2) 3. Mecánico Establo: Ord_tip(3)
Altitud (msnm)	1. < 2428 msnm: Alt_cat(1) 2. > 2428 msnm: Alt_cat(2)
Tiempo que dura la leche en las cantinas durante el ordeño (min)	1. <90 min: Tiemp_cant(1) 2. 90 – 120 min: Tiemp_cant(2)
Distancia que recorre la leche para llegar al tanque (m)	1. < 101.3 Mts: Dist_tanq(1) 2. > 101,3 Mts: Dist_tanq(2)
Número de vacas en ordeño	1. < 26 vacas: Nun_vac_ord(1) 2. 26-50 vacas: Nun_vac_ord(2) 3. > 50 vacas: Nun_vac_ord(3)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidades formadoras de colonias-ÚFC: Los niveles de ÚFC variaron entre 4500 (predio del municipio San Pedro) y 2103500 (en Entreríos) con un promedio de 115932 ÚFC. El valor que se presentó con más frecuencia (moda) en los seis municipios muestreados es de 70000 ÚFC. Como se mencionó en la introducción, según la resolución 000012 de 12 de enero de 2007, la bonificación máxima a productores de leche de la región 2 (Antioquia, Quindío, Risaralda, Caldas y Chocó), se da en rangos de ÚFC de 0 a 75.000 (MADR-COLOMBIA, 2007), lo que incluiría este valor de moda encontrado en el estudio.

La medición de contaminación microbiana, medida en ÚFC, mostró que los municipios de Belmira, San Pedro y Santa Rosa de Osos son los que tienen más predios, con menos de 70000 unidades formadoras de colonias.

Entreríos aparece con un alto número de fincas, cuyo conteo mensual de ÚFC está por encima de los 70000. Finalmente, dos municipios: Don Matías y San José de la Montaña presentan un número similar de predios por encima y por debajo de la moda de 70000 ÚFC (Figura 1).

En esta investigación se utilizó un tipo de medición general de bacterias, como se explicó anteriormente, ya que no era

objetivo del estudio definir el tipo de bacteria; sin embargo, se sugiere que para futuros estudios se empleen técnicas para la identificación de bacterias específicas para tratar de relacionarlas, según los puntos de riesgo (Elmoslemany *et al.* 2010) y para proponer las soluciones más idóneas para su control o su erradicación.

ÚFC y tipo de ordeño: El ordeño es manual en el 80% de los predios medidos, el 20% restante lo conforman los ordeños mecánicos en potrero y en sala. En los predios con ordeño manual, se presentan valores de conteo bacteriano, que se distribuyen, tanto por encima como por debajo de la moda de 70000 ÚFC. El ordeño mecánico en potrero sólo presenta valores por debajo de 70000 ÚFC, así como el mecánico en establo, que arrojó en su mayoría conteos por debajo de la moda. En 1996, se reportó en cabras que el ordeño manual era más propenso a presentar altos recuentos ÚFC comparado con los tipos de ordeño mecánico en sala y en mecánico en potrero (Zeng & Escobar 1996). En años anteriores, en un estudio en vacas, se concluyó acerca de la importancia de la preparación de la ubre antes del ordeño, ya que la higiene de ésta se podría ver afectada en el ordeño manual, por el número de vacas, el sellado, el secado, el tipo de papel para limpiar, tipo de desinfectante y recambio de este (Galton *et al.* 1986). Concluyeron los autores acerca del beneficio del secado manual de pezones, como paso del ordeño manual, mas que el tiempo o el tipo

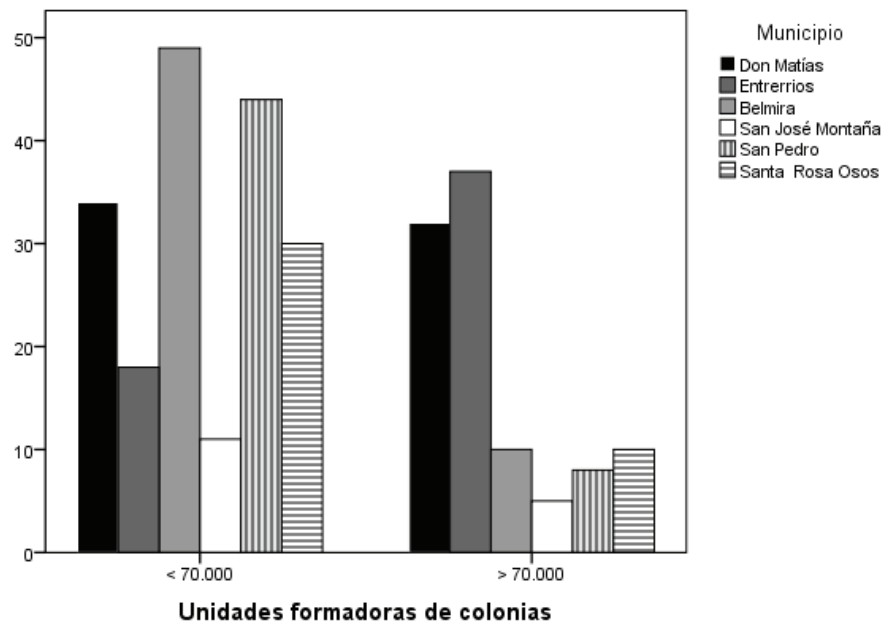


Figura 1. Conteo de unidades formadoras de colonias (ÚFC), en seis municipios del norte de Antioquia, Colombia. Se tuvo en cuenta el valor más frecuente (moda de 70000 ÚFC), para estudiar conteos por encima y por debajo de este valor.

de papel utilizado. Todas estas labores desempeñadas por operadores del ordeño manual, en la mayoría de casos con amplia experiencia en campo, infortunadamente no siempre se enmarcan dentro de las buenas prácticas en producción primaria de leche (Gaviria 2007). Sumado a esto, el número de vacas por operario y por sesión de ordeño, limita la aplicación de dichas prácticas, por falta de tiempo.

Se publicó recientemente (Gonzalo *et al.* 2010), que los factores que influyen en un 35,4% del total de la variación de UFC en leche de ovejas en España, fueron el año, el mes, la terapia de secado y el tipo de ordeño. En el presente trabajo, no se encontró efecto del tipo de ordeño, quizás explicado por los porcentajes de tipos de ordeño mencionados que, en su gran mayoría, se hallan dentro del tipo manual.

UFC y altitud: La altitud presentó un promedio de 2428 msnm, con variaciones entre 2288 y 2700 msnm. Se trata, entonces, de trópico alto. Más predios medidos mostraron valores de UFC menores a 70000, cuando se hallaban a altitudes superiores de 2428 msnm; a altitudes menores, se muestra que los conteos de UFC, se encuentran tanto por encima como por debajo del valor de moda (Figura 2). El efecto de la altitud estaría relacionado, posiblemente, con la temperatura y la proliferación de bacterias. Altitudes mayores al promedio, analizados para este estudio (2428 msnm), corresponderían, en general, a temperaturas promedio bajas; este dato no fue analizado. A altitudes menores a 2428

msnm, el riesgo de presentarse UFC es más de cinco veces mayor [EXP(B)=5.432], que a altitudes mayores (Tabla 2).

UFC y tiempo de leche en cantina/tiempo al tanque: El tiempo que dura la leche en las cantinas antes de llegar al tanque de recolección fue en promedio de $148,8 \pm 31,4$ minutos, con un rango entre 90 y 180 minutos.

En la figura 3, se puede observar que la leche que se mantiene en tanques por menos de 90 minutos presenta conteos de UFC menores a los 70.000 UFC. Por otro lado, en el rango de 90 a 120 minutos de permanencia en las cantinas, las UFC varían por encima y por debajo de las 70.000 UFC. El tiempo transcurrido desde el ordeño hasta llegar al tanque sin alcanzar la cadena de frío es un punto crítico para el conteo de UFC, ya que aumentaría el riesgo de proliferación bacteriana.

Esto corresponde al tiempo que permanece la leche a la temperatura óptima para el crecimiento de mesófilos. Es importante tener esto en cuenta, dado que las distintas fuentes de contaminación de la leche al momento del ordeño y las condiciones de tiempo y de temperatura de almacenamiento, antes de llegar a la planta de recepción, definen el número de bacterias por mililitro, que en este momento se convierten en la población inicial para todos los procesos industriales, a que se destine esta materia prima (Gaviria, 2007).

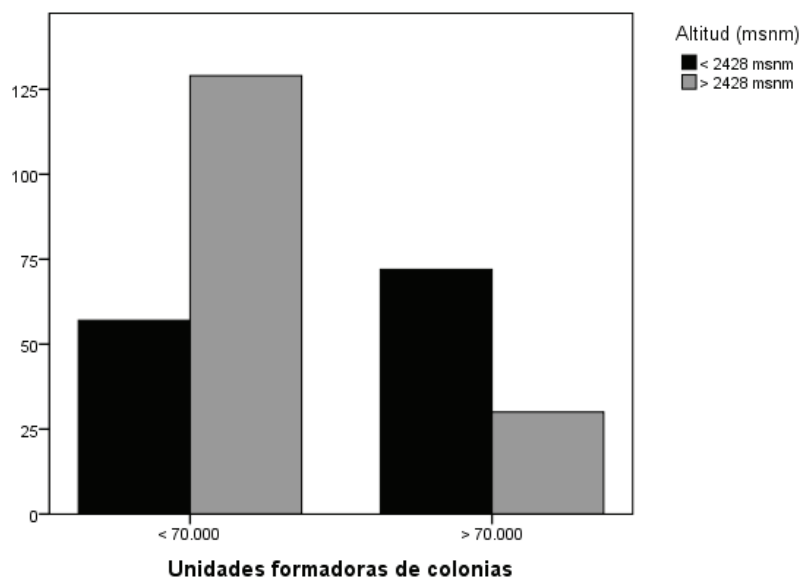


Figura 2. Conteo de unidades formadoras de colonias UFC, según la altitud promedio (msnm) en que se encontraban los predios, en seis municipios del norte de Antioquia, Colombia. Se tuvo en cuenta el valor más frecuente (moda de 70000 UFC), para estudiar conteos por encima y por debajo de este valor.

Tabla 2. Resultados de Regresión Logística. Para la variable dicotómica: altitud, se tomó como variable de referencia a Alt_cat(1); ND: no hay dato; B, se refiere al coeficiente β de la regresión; Sig: significancia (valor de p); Exp(B): exponencial de B, es el riesgo relativo de que ocurran las UFC, bajo la influencia de las variables que se muestran.

Variables	B	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza (95%)	
				Límite Inferior	Límite superior
Alt_cat(1)		ND			
Alt_cat(2)	1.692	.000	5.432	3.204	9.2081
Nun_vac_ord(1)		.001			
Nun_vac_ord(2)	1.374	.000	3.953	1.913	8.169
Nun_vac_ord(3)	.990	.007	2.692	1.314	5.513
Tiempo_cant(1)		.003			
Tiempo_cant(2)	.894	.078	2.445	.905	6.610

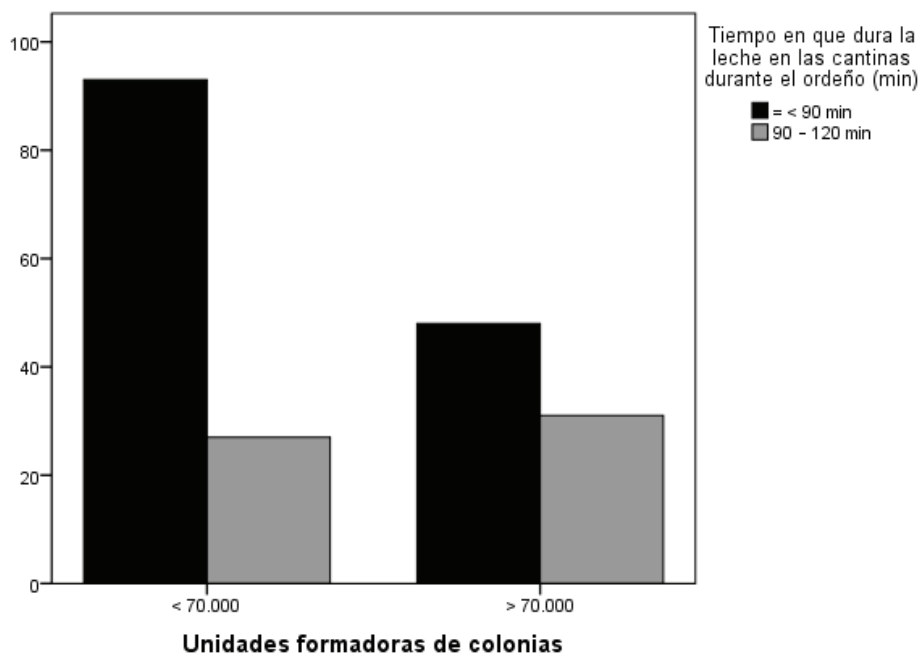


Figura 3. Conteo de unidades formadoras de colonias UFC, según el tiempo que dura la leche en las cantinas, durante el ordeño y antes de llegar al tanque de recolección, en predios de seis municipios del norte de Antioquia, Colombia. Se tuvo en cuenta el valor más frecuente (moda de 70000 UFC), para estudiar conteos por encima y por debajo de este valor.

En estudios acerca de los factores que influyen en los recuentos de bacterias de leche en tanque, se evidenció que muestras de leche que habían sido mantenidas a temperaturas bajas constantes (en laboratorio) presentaban conteos de bacterias totales más bajos, luego de incubación, comparado con leche que había sido refrigerada y había sufrido cambios. Publicaron, igualmente, que posibles factores responsables de altos conteos, luego de incubación

preliminar, eran no sólo máquinas y baldes sucios sino, también, medidas sanitarias pobres, agua con altos conteos de bacterias totales y condiciones de tanque no satisfactorias (Morse *et al.* 1968a; 1968c).

Un estudio de caso reciente mostró que con una rutina de limpieza y de desinfección de la máquina de ordeño correcta, lo que merecía mejorar era la limpieza y la desinfección de

los pezones, ya que contaminaban la pezonera que, a su vez, impurificaba los medidores y, finalmente, estas bacterias se acumulaban en tanque de frío (Ramón Estévez *et al.* 2011).

Sin embargo, en otra investigación, se concluyó que ni el pezón, ni el balde, ni la cantina, ni el tanque, como utensilios, son el punto crítico de control. Dicho punto sería el tiempo transcurrido desde el ordeño hasta el tanque sin alcanzar la cadena de frío, dada la alta correlación entre la variable tiempo y el conteo de UFC (Posada Arias *et al.* 2010), como sucedió en el presente estudio.

La regresión logística arrojó que al comparar la categoría 2 (entre 90 y 120 minutos) con aquella de referencia de menos de 90 minutos en cantina, se encontró que el riesgo de aumentar las UFC es más de dos veces mayor al permanecer la leche por más de 90 minutos en las cantinas. Es importante tener en cuenta que esta categoría no resultó significativa estadísticamente ($p=0.078$), pero el intervalo de confianza indicaría una influencia importante de la variable (Tabla 2). Tiempo en cantina superior a 120 minutos, no mostró influencia en el riesgo de formación de UFC ($p=0,062$ e intervalo de confianza para EXP(B) de 0,130-1,050 (Tabla 2).

Una comunicación corta también se refirió al tema del almacenamiento de la leche de cabra en tanque en cuanto al uso de preservantes (azidio o bronopol), al uso de diferentes temperaturas (4 y 10°C) y al efecto final en los conteos por citometría de flujo (Sierra *et al.* 2009), mostrando las ventajas de estos manejos, reflejado en la disminución de conteos. Parece importante sugerir este tipo de práctica asumiendo el factor de tiempo en cantina, como factor de riesgo para las UFC.

UFC y distancia al tanque: La distancia que recorre la leche hasta el tanque final varió en un rango de 5m (en ordeño mecánico en establo) hasta 546m (en ordeño manual en potrero), con un promedio de 101,3m. La leche recolectada que debe recorrer distancias por debajo del promedio para llegar al tanque corresponde a muestras que presentan conteos en tanque de UFC inferiores a los 70000; sin embargo, hay una cantidad considerable de muestras en tanque que aun concerniendo a leche que recorre distancias superiores al promedio (más de 500m) presentan igualmente conteos inferiores a los 70000. La regresión logística no arrojó valores significativos, en cuanto al efecto de distancia al tanque y conteos de UFC.

Número de vacas en ordeño: El promedio de animales en ordeño fue de $35,1 \pm 16$, dentro de un rango de 17 a 65 animales. Según la figura 4, a mayor número de animales en ordeño (grupo de 26 a 50 y grupo de mayor a 50 vacas), los conteos de UFC se encuentran en su mayoría por debajo

de 70000. Para cantidades de animales inferiores a 26, las UFC estarían tanto por debajo como por encima del valor de 70000; no obstante, la regresión logística mostró un efecto significativo del factor “número de animales” sobre el aumento de UFC y podría estar explicado por el aumento en el tiempo que dura el ordeño. Estos dos grupos corresponden, en su mayoría, a ordeños tipo mecánico (potrero y sala), donde la calidad del manejo de los animales por el operario podría explicar este resultado, dado que se encontró que en promedio un sólo operario maneja los tres posibles grupos de animales, para este estudio, como se mencionó anteriormente, en cuanto al factor tiempo en cantina. Se podría especular también acerca de que un número mayor de animales, aumenta la probabilidad que alguno de ellos sea “foco” de contaminación, ya que las UFC se calculan en tanque final.

Desde 1968, se reportó en un estudio acerca de los factores que contribuyen al recuento de bacterias en tanque y más, específicamente, en lo relacionado con las UFC de muestras de vacas, como mediciones individuales. Los resultados fueron conteos de bacterias con promedios elevados y con amplia variabilidad. Explican esto los autores por la posible contaminación con bacterias del agua de suministro, pero, sobretodo, por un proceso de lavado y secado de ubres poco idóneo, lo que se traduce en un efecto individual de cada vaca a la contaminación en leche en tanque final (Morse *et al.* 1968b).

Sin embargo, más recientemente, se ha publicado que el número de organismos patógenos aislados en tanque final no guarda una relación directa con el número de vacas infectadas dentro de un rodeo, sino que se debe interpretar en conjunto con otras pruebas, como el conteo de células somáticas (RCS) (Calvinho, 2001). En el presente trabajo, no se encontró relación entre los RCS y las UFC (datos no mostrados).

El número de vacas entre 26 y 50 y de más de 50 animales en ordeño aumenta el riesgo de presentación de UFC en, aproximadamente, dos a cuatro veces ($EXP(B)=2.69-3,95$), al comparar con grupos de pocos animales (menos de 26 vacas), de manera estadísticamente significativa (Tabla 2). Este análisis es similar al encontrado en un estudio del 2010, donde se investigó la asociación entre los factores de manejo en la granja y la calidad de leche cruda, en cuanto a conteos totales de bacterias. Analizaron datos longitudinales para permitir estudio de efectos estacionales y para encontrar los factores de riesgo para TAC (UFC) y PIC, como referido en la introducción. La estación fue un predictor significativo para todo tipo de conteo de bacterias, con conteos más bajos en invierno; una inadecuada frecuencia de lavado ácido y el aumento del tamaño de la vacada fueron factores de riesgo (Elmoslemanya *et al.* 2010).

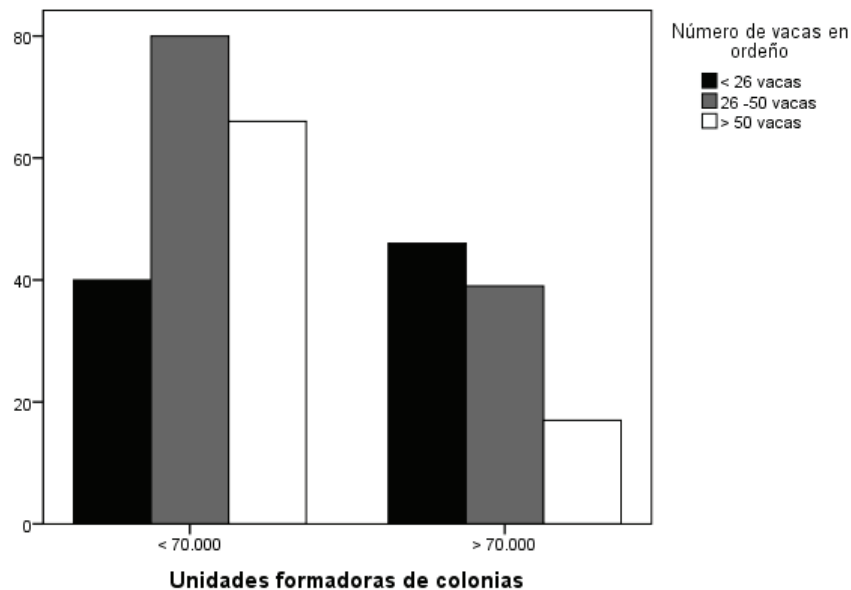


Figura 4. Conteo de unidades formadoras de colonias UFC, según el número de animales en ordeño, en fincas de seis municipios del norte de Antioquia, Colombia. Se tuvo en cuenta el valor más frecuente (moda de 70000 UFC), para estudiar conteos por encima y por debajo de este valor.

Se recalca, la contribución importante del presente estudio, ya que no tuvo en cuenta períodos del año, como en ese estudio o en otros similares en ovejas (Gonzalo *et al.* 2010), por no existir estaciones en Colombia, pero sí incluyó variables diferentes, como la altitud, el número de animales y el tiempo en cantina, lo que enriquece el análisis para, finalmente, lograr buenas prácticas de ordeño y de control de carga microbiana. Las variables presentes en el modelo final de regresión logística fueron la altitud, el número de vacas en ordeño y el tiempo en la cantina.

Las pobres prácticas de higiene en el manejo de ubre, como fuente primaria de contaminación y el deficiente mantenimiento de la cadena de frío, se han catalogado como factores de obvia importancia, en la regulación del número de bacterias. El número de bacterias, se puede reducir disminuyendo, entre otras prácticas, el tiempo de transporte de leche, luego del ordeño manual o mecánico en potrero, hasta el tanque de enfriamiento.

En resumen, la presente investigación arroja que un punto crítico dentro de la rutina de ordeño, en cuanto a la contaminación microbiana, es el tiempo transcurrido desde el ordeño hasta el tanque, sin alcanzar la cadena de frío.

Otro factor crítico es el número de vacas, ya que esto estaría aumentando el tiempo que dura el ordeño. La altitud, por

su posible relación con la temperatura y la proliferación de bacterias, también juega un rol influyente. Se necesitan análisis más puntuales, tanto en el tiempo (importante efecto de año y de mes) como en el lugar (buenas prácticas de manejo por predio), para poder concluir, de manera más segura, acerca de los factores más importantes que influyen en la contaminación microbiana por predio y poder realizar recomendaciones para lograr buenas prácticas de ganadería individual.

Agradecimientos: Financiación. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, proyecto cód.103-2008O2526-3153. Proprietarios y administradores de las fincas incluidas en el experimento, en seis municipios del norte de Antioquia (Encanto 1, 2 y 3, Chupadero 1 y 2, Fortaleza, Primavera, San José, Molino, Fray Juana, Granja, Palmera, Reposo). Estrategia Sostenibilidad 2009-2010 al grupo Biogénesis, Universidad de Antioquia. Conflictos de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

1. CALVINHO, L. 2001. Diagnóstico bacteriológico de mastitis y su importancia en los programas de control. Disponible desde Internet en <http://www>.

- apocal.com.ar/wp-content/uploads/diagnostico_de_mastitis.htm.pdf (Brasil) (con acceso 2/09/2011).
2. ELMOSLEMANYA, A.; KEEFEA, G.; DOHOOA, I.; WICHTELA, J.; STRYHNA, H.; DINGWELLE, R. 2010. The association between bulk tank milk analysis for raw milk quality and on-farm management practices. *Prev. Vet. Med. (Irlanda)*. 95:32-40.
 3. GALTON, D.; PETERSSON, L.; MERRILL, W. 1986. Effects of premilking udder preparation practices on bacterial counts in milk and on teats. *J. Dairy Sci. (USA)*. 69:260-266.
 4. GAVIRIA, B. 2007. Calidad higiénica y sanitaria de la leche cruda. En: Buenas prácticas de producción de leche. Ed. Biogénesis, Universidad de Antioquia (Medellín-Colombia). 189p.
 5. GONZALO, C.; CARRIEDO, J.A.; GARCIA-JIMENO, M.C.; PEREZ-BILBAO, M.; DE LA FUENTE, L.F. 2010. Factors influencing variation of bulk milk antibiotic residue occurrence, somatic cell count, and total bacterial count in dairy sheep flocks. *J. Dairy Sci.* 93:1587-1595.
 6. MADR-COLOMBIA. 2007. Pago de leche cruda al productor. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Resolución 000012, 2007.
 7. MORSE, P.M.; JACKSON, H.; MCNAUGHTON, C.H.; LEGGATT, A.G.; LANDERKIN, G.B.; JOHNS, C.K. 1968a. Investigation of factors contributing to the bacterial count of bulk-tank milk. I. Influence of two-day storage and effect on results of preliminary incubation. *J Dairy Sci.* 51:1182-1187.
 8. MORSE, P.M.; JACKSON, H.; MCNAUGHTON, C.H.; LEGGATT, A.G.; LANDERKIN, G.B.; JOHNS, C.K. 1968b. Investigation of factors contributing to the bacterial count of bulk tank milk. II. Bacteria in milk from individual cows. *J Dairy Sci.* 51:1188-1191.
 9. MORSE, P.M.; JACKSON, H.; MCNAUGHTON, C.H.; LEGGATT, A.G.; LANDERKIN, G.B.; JOHNS, C.K. 1968c. Investigation of factors contributing to the bacterial count of bulk tank milk. 3. Increase in count, from cow to bulk tank, and effects of refrigerated storage and preliminary incubation. *J. Dairy. Sci.* 51:1192-1206.
 10. POSADA ARIAS, S.; LOAIZA, E.; RESTREPO, J.; OLIVERA, M. 2010. Caracterización del ordeño manual e identificación de puntos críticos de control para la calidad higiénica de la leche en una finca del norte de Antioquia. *Rev. Lasallista Invest. (Colombia)*. 7:35-46.
 11. RAMÓN ESTÉVEZ, J.; RESTREPO BOTERO, J.; RUIZ-CORTÉS, Z.; OLIVERA ÁNGEL, M. 2011. Detección de riesgos de contaminación con microbios ambientales en un sistema de ordeño mecánico de un hato lechero del norte de Antioquia. *Rev. Lasallista Invest.* 8:7-15.
 12. SIERRA, D.; SÁNCHEZ, A.; CONTRERAS, A.; LUENGO, C.; CORRALES, J.C.; DE LA FE, C.; GUIRAO, I.; MORALES, C.T.; GONZALO, C. 2009. Short communication: effect of storage and preservation on total bacterial counts determined by automated flow cytometry in bulk tank goat milk. *J. Dairy Sci.* 92:4841-4845.
 13. VAN SCHAİK, G.; GREEN, L.E.; GÚZMAN, D.; ESPARZA, H.; TADICH, N. 2005. Risk factors for bulk milk somatic cell counts and total bacterial counts in smallholder dairy farms in the 10th region of Chile. *Prev. Vet. Med. (USA)*. 67:1-17.
 14. VILAR, M.; RODRÍGUEZ OTERO, J.; SANJUAN, M.; DIEGUEZ, F.; VARELA, M.; YUS, M. 2011. Implementation of HACCP to control the influence of milking equipment and cooling tank on the milk quality. *Trends Food Sci. & Techn. (UK)*. 20:1-9.
 15. WHO/FAO. 2008. Codex Alimentarius. Animal food production. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 16. ZENG, S.; ESCOBAR, E. 1996. Effect of breed and milking method on somatic cell count, standard plate count and composition of goat milk. *Small Rum. Res. (USA)*. 19:169-117.

Recibido: Septiembre 2 de 2011

Aceptado: Febrero 28 de 2012

RESIDUOS DE β -LACTÁMICOS EN LECHE CRUDA Y FACTORES ASOCIADOS A SU PRESENTACIÓN

β -LACTAM RESIDUES IN RAW MILK AND FACTORS ASSOCIATED WITH ITS PRESENTATION

Juan Fernando Vásquez¹, Martha Olivera²

¹ MV, M.Sc. Asistente Técnico Cooperativa Colanta Ltda. Grupo de investigación Biogénesis. Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad de Antioquia. Autor para correspondencia: Carrera 75 N° 65-87 oficina 46-202 Medellín, Colombia. E-mail: ju-fevaca@gmail.com ²MV, Dr.ScAgr. Docente Escuela de Medicina Veterinaria. Grupo de investigación Biogénesis. Universidad de Antioquia.

REV. U.D.C.A ACT. & DIV. Cient. 15(1): 157 - 165, (2012)

RESUMEN

El *Codex Alimentarius* determina que la residualidad de antibióticos en leche debe ser nula por las consecuencias negativas para la salud humana (*Codex Alimentarius Commission*, 2011). Con el fin de aportar información sobre residuos β lactámicos, los más usados en Colombia, en el control de infecciones en ganado lechero y para hacer una aproximación a los factores de riesgo asociados a la presencia de residuos, se analizaron las bases de datos de once plantas de acopio de leche cruda, de diferentes regiones del país. Se determinó la frecuencia de la residualidad de antibióticos, durante el 2010, y los factores de riesgo asociados, se buscaron en las encuestas aplicadas por parte de profesionales de los centros de acopio a los hatos positivos, durante el período 2007 a 2010. Las plantas estudiadas recibieron leche de 8.423 productores; de 738 millones de litros muestreados el 0,05% de la leche fue positiva. Se analizaron 340 encuestas, en las que se indagó sobre el uso de antibióticos y los posibles factores de riesgo presentes para el no retiro de la leche y las posibles causas de no retiro de la leche. Los dos mayores factores de riesgo asociados a la residualidad fueron el uso de medicamentos sin prescripción médica veterinaria y la ausencia de registro de tratamientos. Adicionalmente, se asociaron al evento de positividad para residuos, el olvido en el retiro de la leche (42,57%) y el tiempo de retiro incompleto (20,79%). Los β lactámicos más frecuentes fueron mezclas de cloxacilina-ampicilina (20%), mezclas de penicilinas G (15,2%) y, en menor proporción, cefalosporinas, amoxicilinas y penetamato. Las enfermedades asociadas a la positividad en residualidad fueron mastitis clínica (76%) y cojeras (16%).

Palabras clave: Antibióticos, inhibidores, mastitis, residuos en leche, salud pública.

SUMMARY

The *Codex Alimentarius* determines that residual antibiotics in milk should be zero due to the negative effects on human health. With the aim to contribute to the information on residues of β lactamics, the most common antimicrobials used in Colombia for the control infections in dairy cattle, and for making an approach to risks factors associated to the event of residues in milk we analyzed the data bases of eleven dairy collection facilities from different regions of the country. The frequency of residues was determined during 2010 and risk factors were searched in surveys applied by professionals belonging to the collection facilities to the herds appearing positive to residues during the period 2007 a 2010. This Centers received milk from 8423 producers; out of the 738 millions litters sampled 0.05% were positive. 340 surveys were analyzed and the two major risk factors associated to residues were the use of medications without a professional prescription and the lack of medical histories. Other factors associated were forgetting the retirement (42.57%) and incomplete retirement period (20.79%) The β -lactámicos most frequently found were mixtures of cloxaciline-ampiciline (20%), mixtures of peniciline G (15.2%) and to a lesser extend cefalosporines, amoxicilines y penetamate. Diseases associated to positivity were clinical mastitis (76%) and lameness (16%).

Key words: Antibiotics, mastitis, residues in milk, public health.

INTRODUCCIÓN

La presencia de residuos de antibióticos y otros medicamentos en la leche es un tema de preponderancia en la salud pública actual, ya que tiene implicaciones en salud humana,

por los fenómenos de resistencia a antibióticos, reacciones alérgicas hipersensibles (Bogialli & Di Corcia, 2009) y toxicidad aguda o crónica (Doyle, 2006). En los procesos industriales, se dificultan los procesos de elaboración de quesos, de yogures y de otros derivados, que impliquen fermentación con cultivos bacterianos (Seymour *et al.* 1988; Van Schaik *et al.* 2002; Blowey & Edmondson, 2010). A nivel comercial tienen implicaciones por la imposibilidad de vender leche o derivados con residuos, además de la imagen negativa de la opinión pública hacia el consumo de leche y sus derivados (McEwen *et al.* 1991). Las leyes y los principios que regulan la presencia de residuos de medicamentos y, en general, la inocuidad de los alimentos están consignados en el Codex Alimentarius. En Colombia, la norma que estipula los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano es el decreto 616 de 2006 (Ministerio de Protección Social, 2006) y el 1880 de 2011 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural); Estados Unidos está regida por la Pasteurized Milk Ordinance PMO (US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION FDA, 2007), mientras que para la Unión Europea es el reglamento #2377/90; todas coinciden en que la cantidad de inhibidores en leche debe ser nula (McLaughlin, 2006).

El objetivo de este trabajo es generar información actualizada sobre la frecuencia de presentación de residuos de β -lactámicos en la leche cruda en Colombia, los factores de riesgo de su presentación, así como los factores de riesgo más probables, por las cuales, se entregó leche con residuos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio: Se realizó un estudio retrospectivo *cross-sectional*, en el que los datos estudiados correspondían a los reportes del análisis de β -lactámicos en leche, realizados por una empresa colombiana de lácteos, en la totalidad de la leche enviada por 8.423 productores, durante el 2010.

Centros de acopio: Los centros de acopio analizados reciben leche de hatos localizados en diversos ecosistemas y con diferentes sistemas de producción. En las zonas de lechería especializada de trópico de altitud (>2000 m.s.n.m.), se encuentran las plantas de Funza, de San Pedro de los Milagros, de Santa Rosa de Osos y de Yarumal. Las plantas de Armenia, de Medellín y de Frontino tienen un área de influencia predominantemente de trópico medio (500-2000 m.s.n.m.), con sistemas de producción mixtos, en algunas zonas de lechería especializada y en otros de doble propósito y las plantas de Puerto Boyacá, de Barranquilla, de San Onofre y de Planeta Rica pertenecen a zonas de trópico bajo (<500 m.s.n.m.), donde predominan los sistemas de producción doble propósito (Figura 1).

Encuestas: Se analizaron las encuestas realizadas a los hatos que suministraron leche positiva, entre junio de 2007 y junio de 2010; estas encuestas fueron aplicadas por los Médicos Veterinarios del Departamento de Asistencia Técnica de la empresa acopiadora y, en ellas, se indagó sobre los factores de riesgo más probables de encontrar residuos antimicrobianos en leche, entre otras: enfermedades tratadas, antibióticos utilizados, normas de manejo de animales tratados, tiempo de retiro, disposición de la leche retirada, asistencia médica veterinaria.

Análisis estadístico: A partir de la información suministrada por las oficinas de control de calidad de las plantas, se calculó el volumen de leche positiva por planta/año (No. de litros positivos), número de tanques positivos (No. tanques de enfriamiento de leche en finca positivos) y porcentaje del volumen de leche positiva a β -lactámicos (volumen de leche positiva/volumen total captado por planta anualmente * 100). Los datos, se sometieron a los estadísticos de Kolmogorov - Smirnov y de Shapiro - Wilk, comprobando que la distribución de los mismos cumplían los supuestos de normalidad. Ante esta situación, se procedió a determinar diferencias estadísticas en volumen y en porcentaje de leche positiva a β -lactámicos, entre plantas, mediante un ANAVA no paramétrico de Kruskal Wallis. Estas pruebas fueron procesadas, a través del programa estadístico SPSS® versión 17.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan a continuación son un reflejo de lo que sucede en producción de leche, en aquellos sitios donde se conserva la cadena de frío y donde los ganaderos son bonificados o penalizados, de acuerdo a la calidad de leche que entregan. Las grandes plantas acopiadoras de leche realizan pruebas en plataforma para determinar si tiene residuos antibióticos y penalizan a los productores recurrentes en esta práctica; sin embargo, autorizada por el decreto 1880 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011), más de 17 millones de litros diarios de leche se comercializan crudos, sin pruebas de residualidad. Ejemplo de lo que puede ocurrir con la venta de leche cruda son los resultados de un estudio realizado en una cuenca lechera antioqueña, en donde los productores no tienen cadena de frío, se transporta la leche en cantinas y no están dentro de los programas de implementación de buenas prácticas ganaderas y se encontró un porcentaje de muestras positivas a β -lactámicos, que varió entre 4,6% y 19,6 % (Reyes *et al.* 2010).

En Colombia, la producción de leche estimada durante 2009 fue de 5.760 millones de litros (Suárez & Bazzani, 2010). El 12,82% de la producción nacional (738.667.771 litros de leche refrigerada) fueron acopiados por las plantas analizadas en este estudio. Un total de 372.821 litros de le-

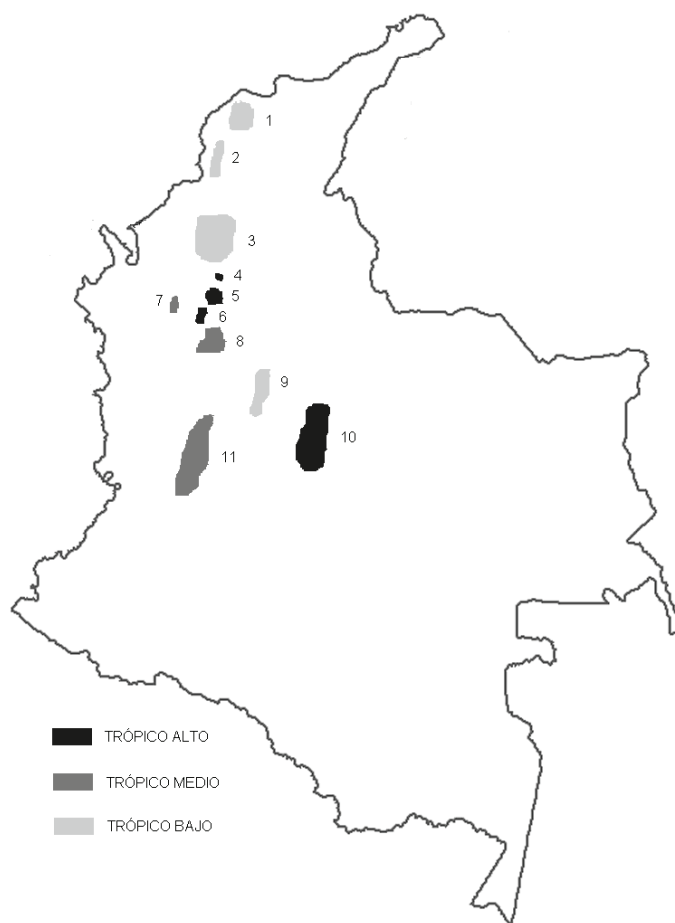


Figura 1. Áreas de influencia de los centros de acopio de leche en estudio y su zona de vida predominante. 1. Barranquilla, 2. San Onofre, 3. Planeta Rica, 4. Yarumal, 5. Santa Rosa, 6. San Pedro, 7. Frontino, 8. Medellín, 9. Puerto Boyacá, 10. Funza, 11. Armenia.

che provenientes de 733 productores resultaron positivos a β -lactámicos, lo que equivale al 0,05% de la leche analizada. Del total de productores positivos, el 10,4% reincidieron en entregar leche con residuos, a lo largo del año estudiado (2010). En su orden, las regiones cuyos tanques presentaron mayor frecuencia de residuos antimicrobianos correspondieron a las de sistemas de producción de lechería especializada de trópico alto y medio, localizadas en Antioquia (Santa Rosa de Osos, Yarumal, Medellín), viejo Caldas (Armenia) y Sabana de Bogotá (Funza), que oscilaron entre el 0,04 – 0,10% de leche positiva (Tabla 1). En las regiones de trópico bajo de sistemas predominantemente de doble propósito, se presentó la menor incidencia, oscilando entre 0 y 0,01%, de la leche acopiada. El análisis de varianza encontró que el porcentaje del volumen de leche positiva fue significativamente diferente ($P < 0.01$) en, al menos, una de las plantas analizadas, además permitió determinar que el porcentaje de

leche positiva a β -lactámicos durante el período de estudio fue también significativamente diferente ($P < 0.01$) en, al menos, uno de los centros de acopio; la prueba no paramétrica utilizada no permitió determinar cuáles en particular.

La frecuencia de resultados positivos a residuos (0,05%) fue inferior a los encontrados para este tipo de antibióticos, en Perú, en la región del Callao, en donde de 40 muestras de leche cruda registraron 40% de muestras positivas a β -lactámicos (Guerrero *et al.* 2009) e inferiores a los reportados para Venezuela, en el estado Zulia, de 104 muestras de leche pasteurizada, de ocho marcas diferentes, encontraron el 0,96% positiva a Penicilina G (Allara *et al.* 2002). En Paraná (Brasil), 59 de 151 muestras de leche pasteurizada contenían residuos de antimicrobiales, principalmente, neomicina, estreptomina, dihidroestreptomina y cloranfenicol (Bando *et al.* 2009); en México analizaron leche pasteurizada de cua-

Tabla 1. Número de productores con resultados positivos a antibióticos β -lactámicos, en las diferentes regiones colombianas, durante 2010.

Zona de producción	Planta	N° productores positivos	Litros positivos a antibióticos*	Litros de leche captada	% de leche positiva*
Trópico alto (>2000 msnm)	Funza	37	53.436	81.060.043	0,07
	Yarumal	103	28.923	47.169.383	0,06
	Santa Rosa	104	65.468	113.714.523	0,06
	San Pedro	327	112.094	282.190.819	0,04
Trópico medio (500 - 2000 msnm)	Armenia	17	27.106	26.642.296	0,10
	Frontino	25	9.206	12.477.941	0,07
	Medellín	119	76.239	112.955.796	0,07
Trópico bajo (<500 msnm)	Pto. Boyacá	1	349	6.315.676	0,01
	Planeta Rica	0	0	46.130.167	0,00
	Barranquilla	0	0	5.533.013	0,00
	San Onofre	0	0	4.478.115	0,00
Total		733	372.821	738.667.771	0,05

*El análisis de varianza presentó diferencias significativas ($P < 0.01$) para litros de leche positiva y porcentaje de leche positiva entre las plantas analizadas

tro industrias lecheras, hallando residuos de sulfonamidas, que oscilaron entre 44,7 y 58,3% de las muestras. Tres de 96 muestras excedieron los niveles de residuo máximo para sulfonamidas y una de 96 fue positiva para cloranfenicol (Gutiérrez *et al.* 2005); en otro estudio encontraron más del 50% de leche positiva a ampicilina, dicloxacilina, eritromicina, penicilina g y cloranfenicol (Ramírez *et al.* 2001) y en el estado Guerrero, el 18,6% de las muestras de leche cruda analizadas presentó residualidad (Camacho *et al.* 2010). En el caso de Colombia, entre tanto, se registró presencia de antibióticos, en el 25% de leche cruda, en la ciudad de Montería (Máttar *et al.* 2009).

Estudios estadounidenses recientes reportan, entre 2008 y 2009, presencia de inhibidores, en 861 tanques, que contenían 14.578.704 kilos de leche cruda (NMDR, 2009). En el Estado de New York detectaron antibióticos en 3,9 por cada 1000 productores (Van Schaik *et al.* 2002). En la Unión Europea, el porcentaje de hatos positivos a antimicrobianos es menor al 0,5% (Hillerton & Berry, 2004). En Kenia, la positividad a antibióticos estuvo en 4%, en un estudio (Ekuttan *et al.* 2007) y 21% en otro adelantado por Shitandi & Sternesjo (2001), mientras que en Tanzania, el 4,5% de las muestras de leche cruda tomadas fue positiva a residuos de antimicrobiales, en un estudio (Mdegela *et al.* 2009) y al 7,0% de las muestras en otro (Kivaria *et al.* 2006), aunque para el 2000, la prevalencia de antibióticos llegó a ser del 36% (Kurwijila *et*

al. 2006). En Colombia, las sanciones para esta infracción no están reglamentadas. Dependiendo de la empresa acopiadora, las sanciones pueden ser desde ninguna hasta la suspensión del recibo de la leche, por períodos variables o de manera definitiva y penalizaciones en el precio de la leche. En Estados Unidos, la legislación es estricta: se sanciona con la suspensión parcial o permanente de licencia como productor de leche grado "A", el pago por parte del productor de la leche contaminada y de los costos generados en su descarte (Seymour *et al.* 1988; Sischo, 1996; US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION FDA, 2007).

Este estudio muestra que la leche producida bajo sistemas de producción de lechería especializada es más propensa a enviar leche con residuos al acopiador que los hatos con sistemas doble propósito en Colombia, posiblemente, por una mayor prevalencia de mastitis, asociada a mayores producciones por vaca, con razas especializadas de producción lechera; en contraste, los sistemas doble propósito de trópico bajo, localizados en la costa Atlántica y Magdalena medio presentaron mucha menor positividad (0 – 0,01% del total de la leche). Esto podría estar asociado a la menor utilización de antibióticos y algunas rutinas de manejo características del sistema, que pueden evitar el contacto de leche positiva con el tanque, tales como el aislamiento de animales tratados en corrales o potreros de enfermería y el darle toda la producción de leche de vacas en tratamiento a sus crías. Al-

gunos estudios han reportado menor incidencia de mastitis en estos sistemas y lo han atribuido a la acción del ternero durante el mamado, por mejor extracción de leche residual, la presencia de enzimas bacteriostáticas presentes en la saliva en contacto con el pezón y el efecto de masaje en la ubre realizado por éste, durante la succión (Roldán *et al.* 2000).

Como se ve en la tabla 2, el análisis de las encuestas muestra que el olvido en el retiro de la leche es el primer factor de riesgo asociado a residuos en leche de β -lactámicos (42,57% de los casos). Le siguen en importancia, el tiempo de retiro incompleto de los medicamentos (20,79%), sea por desconocimiento de los tiempos de retiro o por omisión intencional de los mismos. La sobredosificación de antibióticos mostró residuos particularmente con los preparados farmacéuticos, basados en ceftiofur, los cuales, a dosis recomendadas no lo presentarían, pero a dosis mayores superan los límites máximos permitidos. También la vía inadecuada de aplicación, como la aplicación de productos de uso parenteral vía intramamaria (mezclas de penicilinas, por ejemplo) o lavados uterinos con antibióticos parenterales es causa de residuos en leche; en un caso, una finca entregó leche con residuos después de utilizar un antibiótico parenteral aplicado vía conjuntival.

En cuanto a los factores de riesgo que llevan a encontrar residuos en leche, los resultados de este trabajo concuerdan

con los reportados en la literatura de países, como Reino Unido, Canadá y Estados Unidos: ausencia o mal manejo de registros de tratamiento, tiempo de retiro incompleto, falta de asistencia veterinaria, período de secado cortos en vacas tratadas con terapia antibiótica de vaca seca, accidentes u olvidos en la manipulación de leche de descarte, retiro de la leche de un solo cuarto en tratamientos intramamarios, fallas en la comunicación entre empleados del hato, trabajadores de medio tiempo, vacas recién compradas, desconocimiento de los tiempos de retiro de la leche, usos extraetiqueta de los productos y mala identificación de animales tratados. Es posible que la falta de rutina de realizar pruebas rápidas de detección de antibióticos en la finca también haya influido en que no se retire la leche el tiempo suficiente y se mezcle con la leche del tanque, como lo demuestran autores como Booth (1982), Kaneene & Ahl (1987) y Sawant *et al.* (2005). Hatos grandes (Jayarao *et al.* 2004) en los que la identificación de los animales en tratamiento no es clara y hatos con altos recuentos de células somáticas en tanque tienden a ser más susceptibles, a presentar residuos antimicrobianos (Sargeant *et al.* 1998; Van Schaik *et al.* 2002, Reyes *et al.* 2010), ya que existe una asociación entre la salud de la ubre y el recuento de células.

Las causas más frecuentes por las que se encontraron residuos de β -lactámicos en la leche coinciden con las encon-

Tabla 2. Factores de riesgo más probables para que se presenten resultados positivos a antibióticos β -lactámicos en leche cruda de diferentes regiones colombianas (n=340 encuestas), durante el periodo comprendido entre junio de 2007 y junio de 2010.

Causa	Número de casos	% del total de encuestas	% de causas conocidas
Desconocida	138	40,59	
Olvidó retirar leche	86	25,29	42,57
Tiempo de retiro incompleto	42	12,35	20,79
Uso de droga de secado pocos días antes del parto	27	7,94	13,37
Sobredosificación de antibióticos sin modificar el tiempo de retiro	11	3,24	5,45
Se trató la vaca vía intramamaria y solo se retiró la leche del cuarto afectado	10	2,94	4,95
Vía inadecuada de aplicación	9	2,65	4,46
Aplicación de antibióticos de uso humano	9	2,65	4,46
Ordeño de animales nuevos en el hato	5	1,47	2,48
Sabotaje	3	0,88	1,49
Total	340	100	100

tradas en el 32, 15,8 y 3%, de los casos en Estados Unidos (Booth, 1982); además, Blowey & Edmondson (2010) reportan que el uso extraetiqueta de antimicrobianos fue el causal del 17% de los casos de residuos en leche. Este uso extraetiqueta puede aplicar en nuestro estudio con las causales de sobredosificación de antibióticos sin retiro, vía inadecuada de aplicación y de aplicación de antibióticos de uso humano. La suma de estos tres motivos equivale al 14,37% de las causas totales, lo cual, no difiere mucho de lo encontrado en este estudio norteamericano. Generalizando, varias de las causas reportadas por la literatura son asociadas a error humano, por olvido, por problemas de comunicación, por tratamientos mal realizados o por contaminación accidental del tanque con leche positiva (Booth, 1982; Blowey & Edmondson, 2010).

Se demuestra el uso de antibióticos de aplicación en humanos, en nueve fincas, a las cuales, se les determinó que la leche contenía residuos y que habían usado los medicamentos en tratamientos intramamarios y parenterales; el producto más utilizado en esta infracción fue la ceftriazona, empleada en tratamiento de mastitis clínica, en el norte de Antioquia (Plantas de San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos y Yarumal). El uso de medicamentos de uso humano en medicina veterinaria, no aprobados por los servicios de salud, es una práctica indeseable que presenta problemas de positividad de antibióticos en leche, por desconocimiento de la farmacocinética del producto en la ubre bovina. Los resultados de la encuesta que indaga sobre normas de manejo tendientes a prevenir la presencia de inhibidores antimicrobianos en leche, se presentan en la tabla 3.

El porcentaje de fincas en que existe prescripción de antibióticos por un Médico Veterinario es similar (33,91%) a lo reportado en Estados Unidos (32%) (Sawant *et al.* 2005). Es importante anotar que, tanto el porcentaje de hatos que lle-

va registros de tratamiento (37,61%) como los que marcan los animales tratados (40%), es muy inferior a lo reportado en estudios canadienses, donde el 47,87% de las fincas llevan registros de tratamiento y el 71,28% de los hatos positivos marcan animales (McEwen *et al.* 1991). La falta de registros ha sido reportada como la causa principal de presentación de residuos, en el 32% de hatos en Estados Unidos (Booth, 1982). Los bajos porcentajes de cumplimiento de estas normas tendientes a disminuir la presencia de β -lactámicos en leche son factores de riesgo latentes para la reincidencia en la presentación de positividad, por lo tanto, la labor de capacitación a los trabajadores de las fincas en estas prácticas es muy importante, así como la necesidad de que siempre sea un veterinario quien prescribe el tratamiento.

La frecuencia de aplicación de β -lactámicos en los 125 tratamientos posterior a los que se produjeron residuos en leche fue por vía intramamaria (51,2%), en 16 casos (12,8%) el producto se usó en tratamientos preventivos (en terapia de vaca seca) y 109 (87,2%), en tratamientos curativos. El subgrupo de β -lactámicos con mayor frecuencia de detección de residuos en leche fueron las cefalosporinas (46,4%). Como antibióticos genéricos, el más común en presentación fueron las mezclas de cloxacilina-ampicilina, con el 20% (Tabla 4). La vía de aplicación asociada a residuos en la leche coincide con los reportados en otros artículos (Booth & Harding, 1986; McEwen *et al.* 1991), que encontraron que se debía, principalmente, a los tratamientos intramamarios, tanto en lactancia como en el secado, seguido por los tratamientos parenterales, intrauterinos y orales.

La enfermedad ampliamente asociada a presencia de β -lactámicos en leche fue mastitis, con 84 casos (77,1%), seguido de cojeras, con 17 (15,6%), hallazgos que concuerdan con los reportados por Seymour *et al.* (1988), 76 y 16% de los casos, respectivamente. En menor proporción, se en-

Tabla 3. Prácticas tendientes a prevenir presencia de inhibidores en leche realizadas en hatos positivos en Colombia (2007-2010).

Práctica realizada	% DE REALIZACIÓN
Conocimiento de los tiempos de retiro de los medicamentos que utiliza	87,6
Descarta la leche en recipientes marcados destinados para este fin	45,1
Marca y/o aísla los animales tratados	40,0
Lleva registro de tratamientos y de retiro de leche	37,6
Prescripción de antibióticos por médico veterinario	33,9

Tabla 4. Antibióticos β -lactámicos utilizados previo a la presentación de residuos en tanque (n= 125 encuestas).

β -lactámico utilizado	Número de casos	%
Cloxacilina-Ampicilina	25	20
Penicilina G	19	15,2
Cefoperazona	17	13,6
Penicilina-estreptomicina	16	12,8
Ceftiofur	13	10,4
Ceftriazona	9	7,2
Cefapirina	8	6,4
Cefalonium	4	3,2
Cefquinoma	4	3,2
Cefalexina	3	2,4
Amoxicilina	2	1,6
Amoxicilina-Ácido clavulánico	1	0,8
Ampicilina	1	0,8
Cloxacilina	1	0,8
Penetamatoyohidrato	1	0,8
Penicilina-kanamicina	1	0,8
Total	125	100

contró metritis, con tres casos (2,7%), retención de placenta, con dos (1,9%) y conjuntivitis, dermatitis y neumonía, con uno cada una (2,7%).

Es importante resaltar que en Colombia aún es permitida la comercialización de leche cruda con mínimos controles estatales. Los presentes resultados dan una idea de lo que sucede con leche que es remitida fría a plantas acopiadoras, con programas de control de calidad y supervisión estatal, pero no son extrapolables a otras condiciones de producción y de comercialización. Lo que sí se puede concluir, a partir de los estudios, es que los esfuerzos en detección de antibióticos por parte del Estado y de la industria, ligado a una legislación seria y operativa y a capacitación de los ganaderos y operarios en la finca contribuyen de forma decisiva en la disminución de la problemática.

Se concluye que aún se entrega leche a las acopiadoras con residuos de antibióticos (0,05%), aunque la legislación internacional determina que debe ser nula y que el mayor factor de riesgo para que suceda es el olvido de retirar la leche.

Agradecimientos: Los autores agradecen a los departamentos de Control Calidad y Asistencia técnica de la Cooperativa

Colanta, por permitir el acceso a sus bases de datos para el análisis de información y al MADR, por el apoyo a la formación de estudiantes de Maestría en Ciencias Animales, Fisiología de la Reproducción y la Lactancia, contrato 103-200802526-3153. **Conflictos de intereses:** Los dos autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Universidad de Antioquia.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALLARA, M.; IZQUIERDO, P.; TORRES, G.; RODRÍGUEZ, B. 2002. Penicilina G en leche pasteurizada producida en el estado Zulia – Venezuela. *Rev. Científica*. 12:683-687.
2. BANDO, E.; OLIVEIRA, R.C.; FERREIRA, G.M.; MACHINSKI, M. Jr. 2009. Occurrence of antimicrobial residues in pasteurized milk commercialized in the state of Paraná, Brazil. *J. Food Prot.* 72:911-914.
3. BLOWEY, R.; EDMONDSON, P. 2010. *Mastitis Control in Dairy Herds*. 2a ed. Londres. CAB International. 239p.

4. BOGIALLI, S.; DI CORCIA, A. 2009. Recent applications of liquid chromatography–mass spectrometry to residue analysis of antimicrobials in food of animal origin. *Anal. Bioanal. Chem.* 395:947-966.
5. BOOTH, J.M. 1982. Antibiotic residues in milk. *Practice.* 4:100-109.
6. BOOTH, J.M.; HARDING, P. 1986. Testing for antibiotic residues in milk. *Vet. Record.* 119:565-569.
7. CAMACHO, L.; CIPRIANO, M.; CRUZ, B.; GUTIÉRREZ, I.; HERNÁNDEZ, P.; PEÑALOZA, I.; NAMBO, O. 2010. Residuos de antibióticos en leche cruda comercializada en la región Tierra Caliente, de Guerrero, México. *REDVET-* 11:2.
8. CODEX ALIMENTARIUS. 2011. Residuos de Medicamentos Veterinarios en los alimentos. Disponible desde Internet en: <http://www.codexalimentarius.net/vetdrugs/data/vetdrugs/index.html#1> (con acceso 26/02/2011).
9. DOYLE, M.E. 2006. Veterinary drug residues in processed meats - potential health risk. Food Research Institute (FRI Briefings). Disponible desde Internet en: http://fri.wisc.edu/docs/pdf/FRIBrief_VetDrgRes.pdf (con acceso 28/12/2011).
10. EKUTTAN, C.E.; KANG'ETHE, E.K.; KIMANI, V.N.; RANDOLPH, T.F.; 2007. Investigation on the prevalence of antimicrobial residues in milk obtained from urban smallholder dairy and non-dairy farming households in Dagoretti Division, Nairobi, Kenya. *East Afr. Med. J.* 84:87-91.
11. GUERRERO, D.; MOTTA, R.; GAMARRA, G.; BENAVIDES, E.; ROQUE, M.; SALAZAR, M. 2009. Detección de residuos de antibióticos β -lactámicos y tetraciclinas en leche cruda comercializada en El Callao. *Ciencia e Invest.* 12:79-82.
12. GUTIÉRREZ, R.; NOA, M.; DÍAZ, G.; VEGA Y LEÓN, S.; GONZÁLEZ, M.; PRADO, G. 2005. Determination of the presence of 10 antimicrobial residues in mexican pasteurized milk. *INCI.* 30:291-294.
13. HILLERTON, J.E.; BERRY, E.A. 2004. Quality of the milk supply: European regulations versus practice. NMC Annual Meeting Proceedings 2004. Compton, U.K. Disponible desde Internet en: <http://www.nmconline.org/articles/qualityeuro.pdf> (con acceso 28/12/2011).
14. JAYARAO, B.M.; PILLAI, S.R.; SAWANT, A.A.; WOLFGANG, D.R.; HEGDE, N.V. 2004. Guidelines for monitoring bulk tank milk somatic cell and bacterial counts. *J. Dairy Sci.* 87:3561-3573.
15. KANEENE, J.B.; AHL, S. 1987. Drug residues in dairy cattle industry: epidemiological evaluation of factors influencing their occurrence. *J. Dairy Sci.* 70:2176-2180.
16. KIVARIA, F.M.; NOORDHUIZEN, J.P.; KAPAGA, A.M. 2006. Evaluation of the hygienic quality and associated public health hazards of raw milk marketed by smallholder dairy producers in the Dar es Salaam region, Tanzania. *Trop Anim Health Prod.* 38:185-194.
17. KURWIJILA, L.R.; OMORE, A.; STAAL, S.; MDOE, N.S. 2006. Investigation of the risk of exposure to antimicrobial residues present in marketed milk in Tanzania. *J. Food Prot.* 69:2487-2492.
18. MÁTTAR, S.; CALDERÓN, A.; SOTELO, D.; SIERRA, M.; TORDECILLA, G. 2009. Detección de Antibióticos en Leches: Un Problema de Salud Pública. *Rev. Salud Pública.* 11:579-590.
19. MCEWEN, S.; BLACK, W.; MEEK, A. 1991. Antibiotic residue prevention methods, farm management, and occurrence of antibiotic residues in milk. *J. Dairy Sci.* 74:2128-2137.
20. McLAUGHLIN, F. 2006. A brief comparison of United States and European Union standards for fluid dairy production. Michigan State University. Disponible desde Internet en: http://www.iflr.msu.edu/BookStudentPapers_files/A_Brief_Comparison_of_United_States_and_European_Union_Standards_for_Fluid_Dairy_Products.pdf (con acceso 30/11/2011).
21. MDEGELA, R.H.; RYOBA, R.; KARIMURIBO, E.D.; PHIRI, E.J.; LOKEN, T.; REKSEN, O.; MTENGETI, E.; URIO, N.A. 2009. Prevalence of clinical and subclinical mastitis and quality of milk on smallholder dairy farms in Tanzania. *J. S. Afr. Vet. Assoc.* 80:163-168.
22. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2011. Decreto 1880 de 2011. Disponible desde Internet en: www.minagricultura.gov.co/archivos/decreto_leche_cruda.pdf (con acceso 30/11/2011).
23. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. 2006. Decreto número 616 de 2006. Disponible desde Internet en: http://www.agronet.gov.co/www/docs_

- agronet/2006103010449_decreto_616_28_02_06.pdf (con acceso 28/12/2011).
24. NMDR (NATIONAL MILK DRUG RESIDUE DATA BASE FISCAL YEAR). 2009. Annual Report October 1, 2008 - September 30 GLH Inc., Falls Church, VA, 2010. Disponible desde Internet en: <http://www.kandc-sbcc.com/nmdrd/fy-09.pdf> (con acceso 28/12/2011).
 25. RAMÍREZ, A.; GUTIÉRREZ, R.; GONZÁLEZ, C.; ESCOBAR, I.; CASTRO, G.; DÍAZ, G.; NOA, M. 2001. Detección de antibióticos en leche comercializada en la ciudad de México. *Rev. Salud Anim.* 23:37-41.
 26. REYES, J.; VILLAR, D.; OLIVERA, M. 2010. Evaluación de residuos de antimicrobianos por la prueba Deltotest, en una cuenca lechera de Antioquia con alto índice de mastitis subclínica. *RETVET.* 11:121009.
 27. ROLDÁN, A.; PERDOMO, P.; SÁNCHEZ, H.; RAMÍREZ, M. 2000. Tecnificación del sistema de producción ganadera de doble propósito en el trópico andino colombiano: amamantamiento restringido. *Livestock Res. Rural Devel.* 12:2-4.
 28. SARGEANT, J.; SCHUKKEN, Y.; LESLIE, K. 1998. Ontario Bulk Milk Somatic Cell Count Reduction Program: Progress and Outlook. *J. Dairy Sci.* 81:1545-1554.
 29. SAWANT, A.; SORDILLO, L.; JAYARAO, B. 2005. A Survey on Antibiotic usage in dairy herds in Pennsylvania. *J. Dairy Sci.* 88:2991-2999.
 30. SEYMOUR, E.; JONES, G.; MCGILLIARD, M. 1988. Persistence of residues in milk following antibiotic treatment of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71:2292-2296.
 31. SHITANDI, A.; STERNESJO, A. 2001. Detection of antimicrobial drug residues in kenyan milk. *J. Food Safety.* 21:205-214.
 32. SISCHO, W. 1996. Symposium: drug residue avoidance: the issue of testing quality milk and tests for antibiotic residues. *J. Dairy Sci.* 79:1065-1073.
 33. SUÁREZ, R.; BAZZANI, A. 2010. Coyuntura de la leche en Colombia – Balance del año 2009. ANALAC. Área de estudios económicos; Disponible desde Internet en: <http://establo.info/Documentos/COYUNTURA%20DE%20LA%20LECHE%20EN%20COLOMBIA%20Mz29.pdf> (con acceso 28/12/2011).
 34. US FOOD AND DRUG ADMINISTRATION - FDA. 2007. Center for Food Safety and Applied Nutrition. Grade "A" pasteurized milk ordinance: 2007 revision. Disponible desde Internet en: <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/MilkSafety/ConferenceonInterstateMilkShipmentsNCIMSMo-delDocuments/PasteurizedMilkOrdinance2007/default.htm> (con acceso 28/12/2011).
 35. VAN SCHAİK, G.; LOTEM, M.; SCHUKKEN, Y.H. 2002. Trends in somatic cell counts, bacterial counts, and antibiotic residue violations in New York state during 1999–2000. *J. Dairy Sci.* 85:782-789.

Recibido: Enero 2 de 2012

Aceptado: Abril 19 de 2012

IMPORTANCIA HISTÓRICA Y CULTURAL DE LOS HUMEDALES DEL BORDE NORTE DE BOGOTÁ (COLOMBIA)

HISTORICAL AND CULTURAL IMPORTANCE OF WETLANDS OF BOGOTA'S NORTHERN BORDER (COLOMBIA)

Henny Margoth Santiago Villa¹

¹ Antropóloga – M.Sc. en Investigación Social Interdisciplinaria. Docente Investigadora - Facultad Ciencias Ambientales - Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A - Bogotá (Colombia). hsantiago@udca.edu.co; hmargoth@gmail.com

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 15(1): 167 - 180, 2012

RESUMEN

En la Sabana de Bogotá, los humedales han sido el lugar de asentamiento de varias sociedades, quienes han ocupado la región desde hace 2000 años. La revisión presentada en este documento expone una serie de reflexiones históricas y culturales sobre los humedales, especialmente, los ubicados en la zona norte de la ciudad de Bogotá D.C. El texto abarca un lapso desde períodos prehispánicos hasta la actualidad, lo que permiten tener un acercamiento a los significados simbólicos y culturales que las diferentes comunidades, quienes han coexistido en la Sabana de Bogotá, a través del tiempo, han dado a estos ecosistemas.

Palabras clave: Humedales, historia, Sabana de Bogotá, Muiscas.

SUMMARY

In the Sabana de Bogotá, wetlands have been a place for human settlements of several societies that have occupied the region for at least 2000 years. The revision presented in this document explained a series of historical and cultural reflections about the wetlands of the Sabana de Bogotá, especially those located on the northern border of the city of Bogotá D.C. The text covers a period from pre-Hispanic times to the present, which allows an approach to the symbolic and cultural meanings that different communities, that existed in the Sabana de Bogota, over time, have given to the ecosystems.

Key words: Wetlands, History, Sabana de Bogotá, Muiscas.

INTRODUCCIÓN

Los humedales fueron reconocidos por la Convención de Ramsar, en 1971, como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Ramsar, 2006).

En el Distrito Capital (D.C.), el DAMA (2000), los ha definido como ecosistemas intermedios entre el medio acuático y el terrestre, con porciones húmedas, semi-húmedas y secas, caracterizados por la presencia de flora y de fauna muy singular. Posteriormente, el DAMA (2002), se refiere a los humedales del altiplano de Bogotá, como “aquellos cuerpos y cursos de agua estacional o permanente, asociados con la red principal y los afluentes del río Bogotá” y los clasifica en dos tipos principales: humedales naturales y artificiales o altamente artificializados, que cumplen una variedad de funciones ecológicas, ambientales, hídricas, sociales y culturales.

Por su parte, Andrade (2003), los clasifica como “casi-naturales” o semi-naturales, siguiendo los lineamientos de la Convención de Ramsar (2006), al ser espacios con valores naturales, pero con grandes afectaciones de origen antrópico. La importante biodiversidad que albergan los humedales del D.C. es desconocida y, en algunos casos, ‘despreciada’ por los habitantes de la ciudad (Calvachi, 2002).

Ahora bien, los seres humanos, a través del tiempo, han establecido estrechos vínculos con el entorno natural, en el cual, se desarrollan como grupo, logrando así la construcción del paisaje cultural, en donde quedan marcas de estas rela-

ciones establecidas, pues a diferencia de otros seres vivos, no sólo vivimos sino que creamos nuestro propio entorno. Construimos un medio socio-cultural, al crear una relación simbiótica con el medio que transformamos, pero que también nos transforma (Godelier, 1989, Groot, 2006), como diría Moscovici (1975) "...el hombre es lo producido y no lo dado... ...dependemos de nuestro medio porque lo hemos hecho mientras él nos hacía...". Los humedales del D.C., que aún se conservan, son muestra fehaciente de dicho proceso y no han sido ajenos a las problemáticas presentadas en los humedales del altiplano Cundi-boyacense; dentro del conjunto de ecosistemas del D.C. son los más afectados, por el acelerado crecimiento de la ciudad (SDA, 2008).

Dar una mirada histórica a los humedales del D.C. es fundamental, para entender la situación que viven actualmente, pues su deterioro tiene antecedentes que se remontan a la época colonial. Desde este período, los imaginarios de estos ecosistemas cambiaron con el proceso de ocupación y transformación social, política y económica, perpetrado por el español, lo que implicó la desarticulación de los indígenas de su sistema cultural, al alternar, en gran medida, el paisaje y los referentes geográficos, que servían como recurso de la memoria, la tradición y la cosmogonía.

Durante el siglo XX, el tratamiento de las problemáticas medio-ambientales ha privilegiado dimensiones de carácter biológico, físico, técnico y ecológico y, hasta hace algún tiempo, empezó a ser tema de las ciencias sociales, entre ellas, la antropología, la sociología y la historia, dando importancia a las comunidades que han estado en continuo contacto con el medio ambiente y que han ocasionado efectos positivos y negativos en éste. Así mismo, han empezado a transformar sus conceptos, sus métodos y sus paradigmas, para tal tarea, dando como resultado, el surgimiento de la interdisciplinariedad, como una nueva forma de entender los problemas sociales actuales.

METODOLOGÍA

Este documento surge como parte de la investigación "Imaginario culturales de los humedales en el D.C. El caso del humedal Torca Guaymaral", financiado por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, en el 2010. Su objetivo es señalar cómo las comunidades, a través del tiempo, han establecido estrechos vínculos con el entorno natural, logrando la construcción del paisaje cultural que cambia y se reinterpreta, pero en el que quedan huellas de esas relaciones establecidas. Así mismo, mostrar cómo los imaginarios construidos sobre estos espacios han servido de mediadores en los deterioros medio-ambientales.

El trabajo, se desarrolló en el humedal de Torca Guaymaral;

sin embargo, la revisión bibliográfica abarcó toda la Sabana de Bogotá, debido a que los humedales hacen parte de la Estructura Ecológica Principal (EEP) del D.C. y de la Región y, junto con los demás ecosistemas de la Altiplanicie Cundi-boyacense, constituyen una unidad bio-geográfica en el ámbito regional, que se caracterizan por ser centros de endemismo, a nivel de fauna y de flora y lugares de paso de aves migratorias australes y boreales (Andrade, 2003; 2005); de igual forma, comparten un pasado cultural e histórico común.

Metodológicamente, se ha tenido en cuenta, de un lado, la concepción de complejidad retomada de los planteamientos de diversos autores, como García (2000), Carrizosa (2002), Morin (1988) y Vasco (1995), que permiten entender que el carácter complejo de cualquier sistema, está dado por las interrelaciones entre los componentes, cuyas funciones son, a su vez, interdependientes. Y, plantean una visión unitaria de las relaciones entre naturaleza y seres humanos, a través del tiempo, incluyendo, las concepciones, los valores y las interacciones, que de ella se genera.

Bateson (2001), también propone una visión de la vida humana, que considera las relaciones entre mente y cuerpo (naturaleza y cultura, o espacio físico y territorio), como parte de una única unidad sagrada e indisoluble y enfatiza la gran equivocación que cometemos al separar naturaleza y cultura, en cualquiera de los procesos vitales, que involucran a los seres humanos.

Se hizo una revisión histórica en el Archivo General de la Nación (AGN) y la Biblioteca Luis Ángel Arango (BLAA), tanto en su colección general como en la sección de Libros Raros y Manuscritos. En el AGN, se revisó la Sección Colonia: Fondos Misceláneas, Tierras de Cundinamarca, Caciques e Indios y el Fondo Richmond, encontrando manuscritos que permitieron complementar la información revisada de los diferentes autores.

En la BLAA, se revisó la documentación correspondiente a la zona de la Sabana de Bogotá, revisando las investigaciones desarrolladas en la zona desde la arqueología y la etnohistoria, así como la sección Libros Raros y Manuscritos, con el fin de ubicar información de la zona de estudio, para el siglo XIX.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según la Convención de Ramsar (2006), los humedales poseen atributos especiales, como parte del patrimonio cultural de la humanidad, asociados a creencias religiosas y cosmológicas y a valores espirituales; de igual forma, constituyen una fuente de inspiración estética y artística, aportan infor-

mación arqueológica sobre el pasado remoto, sirven de refugios de vida silvestre y de base a importantes tradiciones sociales, económicas y culturales locales.

Van der Hammen *et al.* (2009) definen los humedales del D.C., como “lugares-patrimonio”, entendiendo patrimonio como el conjunto de claves de la historia que se reviven, se les confieren nuevos sentidos y se re-significan en el presente. Esta concepción de “lugares-patrimonio” surge a partir de procesos emergentes socio-espaciales dinámicos, contruidos colectivamente a partir de una multiplicidad de prácticas y de representaciones que convergen en un lugar y que, muchas veces, se encuentran en tensión. Así mismo, plantean que las representaciones y las prácticas de los habitantes dan sustento a ese capital cultural y, a través de ellas, construyen sus identidades, en un proceso mutuo y dinámico.

De otro lado, retomo el concepto de imaginario, como guía de este trabajo, concepto que ha sido estudiado por diversos autores. Backzo (1991) considera el imaginario social como una fuerza reguladora de la vida colectiva, que funcionan como dispositivos de control y, en especial, del ejercicio del poder. Por su parte, Durand (2000) propone lo imaginario como imágenes mentales y visuales organizadas en el mito, donde el individuo, la sociedad y la humanidad organizan y expresan, simbólicamente, relaciones existenciales e interpretan el mundo frente a los desafíos impuestos por la muerte y el tiempo; formula que lo imaginario obedece a una lógica restrictiva sobre el modelo de las reglas semánticas y sintácticas de los hechos del lenguaje.

Castoriadis (1997) plantea lo imaginario como resultado de un proceso social histórico, que permite la emergencia de nuevas significaciones imaginarias sociales. Estos imaginarios crean una representación del mundo que comprende a la sociedad misma y su lugar en ese mundo y que, a su vez, crean el pensamiento de los individuos, pues el imaginario no se puede entender como algo fantasioso o ficticio, sino como la creación portadora de sentido, una creación que no puede ni debe cerrar la puerta a la alteridad. De Moraes (2007) plantea el imaginario social como una producción colectiva, compuesto por un conjunto de relaciones imagéticas que actúan como memoria afectivo-social de una cultura y depositario de la memoria, que la familia y los grupos recogen, de sus contactos con lo cotidiano.

En este caso, se entenderá como una construcción mental, resultado de un proceso social e histórico, que tiene como finalidad organizar y expresar, simbólicamente, relaciones existenciales e interpretar el mundo frente a los desafíos impuestos por el tiempo (Castoriadis, 1997; Durand, 2000). Así mismo, los imaginarios pertenecen a períodos históri-

cos específicos, donde el significado depende del contexto. El imaginario es el recurso supremo de la conciencia, que transforma el mundo, pero que, a la vez, es creador y que funciona como “ordenador del ser a las órdenes del mejor”.

Los imaginarios obedecen a una lógica restrictiva sobre el modelo de las reglas semánticas y sintácticas de los hechos del lenguaje, pues las maneras de designar los espacios trae cargas sociales y culturales, que marcan la forma como los individuos y la sociedad se va a comportar con respecto a ellos y no sólo se van a comportar, sino, también, el significado que adquieran para la sociedad (Durand, 2000). Los imaginarios, entonces, representan y simbolizan las esperanzas, los miedos y parte de la cultura de los grupos humanos, a través del tiempo. Los símbolos son importantes, debido a que circulan dentro del universo del mundo social, por lo tanto, las imágenes no están constituidas sino en proceso, a partir de una interacción entre el hombre y el medio social que refiere a reflejos y a pulsiones.

Los seres humanos, a través del tiempo, han necesitado simbolizar su entorno y su vida y, en este punto, entra en juego la memoria como un depósito simbólico que surge, crea y da sentido a la realidad, ya que actualiza el pasado en el presente.

Históricamente, las zonas de humedales han estado vinculadas al desarrollo de las sociedades que han coexistido con ellos, desde los primeros cazadores-recolectores hasta los actuales habitantes del D.C.

Es probable que estos primeros grupos pleistocénicos hayan comenzado a impactar y alterar el ecosistema, a través de las prácticas cotidianas de consecución de alimento. Gnecco & Aceituno (2004) lo han planteado al hacer referencia a los cazadores-recolectores no como “explotadores pasivos” de los ecosistemas, sino por el contrario como “transformadores activos”, al igual que los agricultores, a partir de prácticas de manipulación de los recursos, con el fin de aumentar su productividad –desmonte y cultivo selectivo-.

La investigación arqueológica realizada en la Sabana de Bogotá ha logrado trazar la secuencia regional más completa y mejor documentada en las tierras altas de la cordillera oriental, desde hace unos 12.000 AP hasta la aparición de los primeros agricultores, hace 3.000 AP (Correal Urrego & Van der Hammen, 1977; Correal Urrego, 1986, 1981). Dentro de los aspectos más relevantes en el estudio de los cazadores-recolectores encontramos la consecución de materias primas, para la fabricación de herramientas; la materia prima, se discrimina entre local, cuyas fuentes se hallan localizadas a menos de 50km del sitio y foránea, fuentes ubicadas a más de 50km del sitio; esta distancia nos daría un área total de 2.500km². Los resultados arrojados por la arqueología indi-

can que alrededor del 100% de las materias primas usadas en estas zonas fue local, lo que demuestra un conocimiento detallado del territorio (Gnecco & Aceituno, 2004).

Dentro de las evidencias de intervención antrópica temprana de los ecosistemas, con los que se relacionaron estos primeros grupos humanos, se registra el manejo de especies vegetales, inicialmente, de plantas nativas y, luego, de cultivos de alto rendimiento, como el maíz. Los datos arqueológicos y palinológicos de la Sabana de Bogotá muestran evidencias de cultivo de maíz, hasta el año 3.300 AP, hallada en Zipacón (Correal Urrego & Pinto, 1983), mientras que en Aguazuque, se ubican macro-restos de zapallo, de ibia y de motilón, dados de 3.900 AP.

De otra parte, los análisis realizados a restos humanos encontrados en los sitios de Tequendama y de Aguazuque, que datan de 4.000 AP, indican consumo de plantas, probablemente cultivadas, mientras que el cambio de dieta hacia el consumo de maíz está fechado 500 años después (Correal Urrego, 1990). Según Gnecco & Aceituno (2004) es probable que en la Sabana ya existiese un sistema de manejo y de cultivo de plantas nativas, en períodos de poblamiento temprano; sin embargo, el cultivo no marcó una ruptura en la forma de vida de los cazadores-recolectores tempranos, sino que formó parte de un proceso continuo de explotación del medio, cuyo efecto final fue la “domesticación del bosque”, a nivel económico y simbólico, derivando en sistemas agroecológicos (Aceituno & Loaiza, 2008). Lo anterior, lleva a concluir que, probablemente, la evolución de los ecosistemas en la Sabana de Bogotá, en los períodos Pleistoceno y Holoceno, fue el resultado de las relaciones ecológicas e históricas entre los seres humanos y el medio-ambiente, quienes sometieron a la naturaleza a diversas perturbaciones, como parte de sus estrategias de explotación del territorio, manifestándose en cambios naturales y culturales, perceptibles en escalas de larga duración, como por ejemplo, la apertura de bosques, la dispersión de semillas o el uso del fuego (Gnecco & Aceituno, 2004).

A partir del año 1.200 A.P. hacen presencia los grupos pre-muiscas en la Sabana de Bogotá (Langebaek, 1992); Boada (2006) planteó que para el período Herrera (300 a.c al 200 d.c), los asentamientos encontrados en la zona de Suba y de Cota fueron extremadamente dispersos y, la mayoría, de menos de una hectárea, estaban localizados a ambos lados del río Bogotá, con mayor presencia hacia el margen occidental. Algunos de estos asentamientos, se registran muy cerca a los humedales o chucuas de esta zona; no obstante, el acceso a los recursos estuvo más orientado hacia el río que hacia los humedales. Para el período Muisca Temprano (200 d.c al 1.000 d.c) y Tardío (1.000 d.c al 1.600 d.c), los asentamientos ubicados en la zona de Cota y de Suba cre-

cieron sustancialmente. En el acceso a los recursos, sigue siendo prioritario el río Bogotá; los humedales parecen haber sido lugares secundarios en el proceso de ubicación de los asentamientos; de todas formas, estos espacios suministraron fuentes de alimentación, como peces, para los grupos humanos que allí se asentaron (Boada, 2006).

Entre el siglo I a.c. al VIII d.c., los humedales se convierten en sitios visitados permanentemente por los Muiscas, sirviéndose de la biodiversidad allí existente, obteniendo, en estas áreas, alimentos proteínicos, a partir de la cacería, de la siembra de plantas o de la cría de peces. Según lo corrobora el registro arqueológico (Boada, 2006), estos grupos humanos habitaron los sectores cercanos al río Bogotá, más que a los humedales, probablemente, por los recursos que éste proveía.

“En la sabana, los asentamientos más antiguos parecen estar cerca a la orilla del río y luego la gente colonizó áreas más alejadas. Los camellones próximos al río son los más antiguos (1100 aC), de manera que también coinciden con escoger zonas en donde se facilita el acceso simultáneo a varias zonas de recursos como el río, monte y tierra. Los recursos del río fueron muy importantes para la alimentación de la población, con el pescado como una fuente de proteína y al mismo tiempo, los camellones situados en la llanura de inundación del río fueron básicos para la producción agrícola...” (Boada, 2006).

La evidencia arqueológica demuestra la relación que tuvieron los Muiscas con los humedales en la zona, pues en los fondos de los valles planos e inundables construyeron camellones -superficies de tierra elevadas artificialmente, lo suficientemente altas, para crear un área que permitiera cultivar plantas cuyas raíces no permanezcan con demasiada humedad-, separados por canales, que les permitieron aprovechar la fertilidad del terreno, la humedad en tiempos de sequía y el drenaje en épocas lluviosas.

Sin duda, este sistema hidráulico, que incluía el camellón, el canal y la forma como los camellones estaban estructurados, a través del espacio (Boada, 2006), originó un sistema de producción agrícola muy efectivo, que pudo llegar a sostener una densa población humana. Indica la misma autora, que se ha considerado que el sistema de canalización parece haber entrado en crisis en un período inmediatamente anterior a la conquista, por dos razones: el progresivo incremento de la sedimentación de las zanjas y la pérdida de control sobre las inundaciones. Este sistema generaba reservas de humedad y de control sobre las heladas que se presentan en la sabana de Bogotá y permitía implementar otras actividades económicas, como la cría de peces (Izquierdo & López, 2005).

Estos sistemas hidráulicos adquirieron importancia frente a los requerimientos de producción de alimentos y escasez de suelos óptimos para la producción agropecuaria, adicional a ser sistemas de alta eficiencia para el mejoramiento de las condiciones agroecológicas de los suelos; fueron también una estrategia óptima para el aumento del potencial productivo en áreas en que, por el exceso de agua, se hace casi imposible el sostenimiento de una agricultura permanente (Herrera *et. al.* 2004). Para la zona de Suba y de Cota, Boada (2006) localizó un área total de 7.451ha de camellones, ubicados entre la orilla oriental del río Bogotá y la Autopista Norte y desde el humedal de Jaboque hasta el aeropuerto de Guaymaral, hallando camellones de damero; irregulares y paralelos al malecón del río.

En el AGN, se registran datos que revelan la tradición en la construcción, en el uso y en el manejo de canales y “acequias”, por parte de esta comunidad. Un documento de 1794 confirma el auto que proveyó la Real Audiencia de Santafé a los indígenas de algunos pueblos de Boyacá (Soracá, Sotaquirá y Cómbita), con el objeto de construir zanjas y hacer mantenimiento a la acequia, que proveía de agua a la ciudad de Tunja.

“(…) por falta de agua respecto de llenarse para su abasto, demás de dos leguas, y sea su conducto de tierra tan deleznable y barrancosa que cualquier lluvia (sic) la derrumba (regando?) el conducto cuyo daño se había (sic) continuado por más de ochenta años, sin haver vastado (sic) los reparos que se habían (sic) aplicado por necesitar de especial asignación de medios, para mantener quien continuase en ellos y limpiase el conducto, y que por no tener dha [dicha] zitudad (sic) propios ni de que poderlo hacer se había (sic) originado el que los vecinos (sic) de ella la hayan dejado desierta (...) y que para que dos (sic) indios pudiesen asistir a este reparo y limpieza, los mandase reelevar (sic) de los servicios a que están obligados con vista de lo referido por zédula (sic) de quatro (sic) de septiembre de mil y seiscientos y noventa y dos” (AGN, Colonia, Caciques e Indios, legajo 55, Rollo 056/78, f. 782-800).

De otra parte, los humedales fueron estratégicos para el desarrollo cultural de los Muisca, quienes se mantuvieron en equilibrio con ellos, no solo por los recursos que estos espacios les ofrecían, sino porque se fueron convirtiendo en lugares sagrados que explicaban el origen de la vida y otros acontecimientos, como la fertilidad, asociada a la trilogía sol-agua-tierra, trilogía que también podía significar semen-útero-labranza, y lo terreno y lo pagano. El papel preponderante que tuvieron los humedales, las lagunas, los ríos y las quebradas para los Muisca, se debió, probablemente, al ser una sociedad agrícola, que dependía del agua para sus sementeras y, por ende, para su vida misma (Castaño, 2003; Rojas de

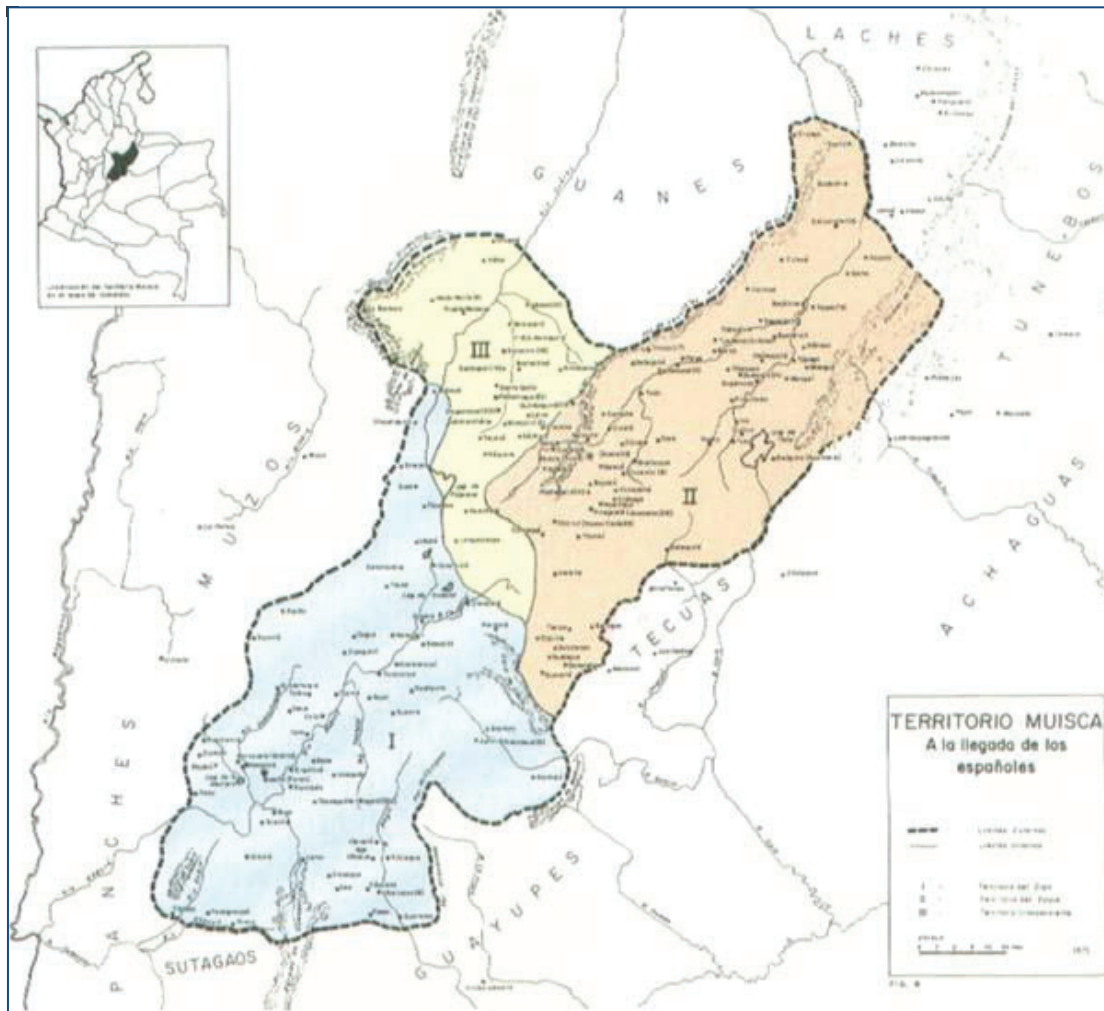
Perdomo, 1995). La importancia del agua en la vida Muisca, se aprecia de múltiples formas; una de ellas, se representa en sus templos, considerados espacios sagrados que, según la clasificación realizada por Casilimas Rojas & López Ávila (1989) encontramos: Centros Ceremoniales Mayores Principales, Centros Ceremoniales Mayores Secundarios, Centros Ceremoniales Menores y Templos Particulares.

Los primeros fueron considerados santuarios exclusivos de algunos personajes, dedicados a actos religiosos o ceremonias especiales, como por ejemplo, investiduras de caciques principales o adoraciones a dioses particulares, asociados a su origen. Entre estos templos, se encuentran lagunas como Iguaque, Guatavita y Ubaque, mientras que los segundos son lagunas o fuentes hídricas alrededor de los cuales vivían los jeques y en donde se celebraban ceremonias y sacrificios de carácter local. Las lagunas de Fúquene, Tota, Suesca, La Herrera, Ubaté, múltiples quebradas y espacios con agua hacen parte de estos Centros Ceremoniales Secundarios (Casilimas Rojas & López Ávila, 1989).

El siguiente apartado sintetiza, en buena medida, la importancia de las fuentes de agua para la sociedad Muisca. “Al parecer las fuentes de agua en general, fueron lugares sagrados para los muisca, porque en ellas veneraban a Bachué la “diosa” madre de la humanidad “diosa” de las legumbres y la fertilidad, también porque el agua era el elemento vital para sus sementeras. También es mencionada la quebrada de Tíquiza, situada en Chía en la cual según la tradición popular, se bañaba el cacique de Chía en las ceremonias de consagración como Zipa de Bogotá” (Casilimas Rojas & López Ávila, 1989).

Las crónicas de la conquista nos dejan apreciar los mitos y las leyendas recogidos posterior a la llegada de los españoles, en los que se puede apreciar la importancia del agua, como elemento central de muchos episodios mitológicos que acontecieron en lagos, en lagunas y en humedales (Mapa 1).

Entre los mitos relacionados con el agua, se encuentra el de Bachué, quien representa el origen del pueblo Muisca. Emerge de la laguna de Iguaque con un niño en sus brazos, con él tendrá su descendencia, que va a poblar la tierra, vuelve a la laguna con su hijo adulto, convirtiéndose ambos en serpientes. Este animal es una de las imágenes más comunes y de mayor simbolismo en la cultura Muisca; considerado un animal totémico y mítico, que simbolizaba la unión entre el agua y la tierra, entre el mundo de los vivos y de los muertos; fue muy importante para los Muisca, siendo una sociedad antropocéntrica (Rojas de Perdomo, 1995; Castaño, 2003; Correa, 2005).



Mapa 1. Territorio Muisca a la llegada de los españoles. Fuente: Falchetti & Plazas, 1973.

De otra parte, se encuentra Bochica, el héroe civilizador, quien le enseñó a los Muisca normas políticas, preceptos morales, técnicas agrícolas y a trabajar el algodón, la cerámica y el oro; además, intercedió para salvarlos de las inundaciones originadas por Chibchacum, como castigo al mal comportamiento que tenían. Dio origen al Salto del Tequendama, por donde desaguó la Sabana de Bogotá. Finalmente, la diosa Chía, quien solicitó a los Muisca ofrecer sacrificios y ofrendas a ríos y arroyos, lagos y lagunas en señal de devoción y de respeto a las deidades indígenas, entre otros (Rojas de Perdomo, 1995; Correa, 2005).

La evidencia cultural nos permite entender la estrecha relación que los Muisca mantuvieron con las fuentes de agua. En las prácticas y en los rituales ceremoniales, se encuentran representaciones de imágenes tridimensionales –triángulo-

pirámides triangulares compuestas por semillas, cuentas de collar, objetos de oro y cobre, siempre asociados a la figura de la serpiente, posiblemente, como una representación del útero de la madre tierra. “El triángulo fue, sin lugar a dudas, un símbolo de fertilidad y de conexión entre la vida y la muerte...” (Castaño, 2003).

Además, es común encontrar en algunos humedales de la Sabana de Bogotá monolitos y menhires de piedra, como los 19 monolitos hallados en Jaboque (Figura 1) y que se relacionan con la localización de camellones y de canales. La ubicación de estos monolitos tienen varias interpretaciones que van desde estar alineados con la constelación Escorpión, para los solsticios, hasta considerarlos mojones de linderos para los Resguardos, que se conformaron en el siglo XVI (Izquierdo & López, 2005).

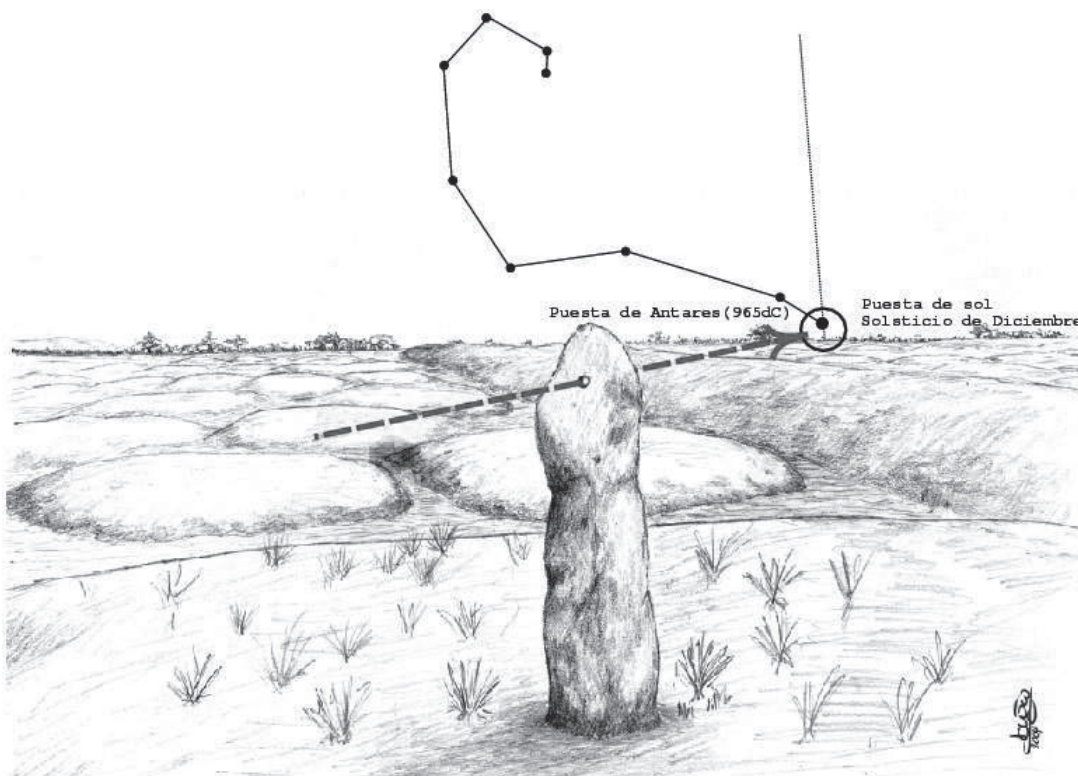


Figura 1. Reconstrucción hipotética del Monolito 9 en el 965 dC, mostrando la relación existente entre la puesta de sol en el solsticio de diciembre y el punto de ocultación de la estrella Antares. Fuente: Izquierdo & López, 2005.

Lamentablemente, el proceso de conquista y posterior colonia, dejó de lado el legado vital del simbolismo, la tradición y la cosmovisión que se tenía del agua, como elemento central en el desarrollo cultural de los Muisca (Castaño, 2003). Por el contrario, todas las prácticas culturales, especialmente, las religiosas, que se hacían en estos espacios, fueron satanizadas por parte de los blancos, debido a que en ellos se realizaban rituales a sus dioses. Es probable que los imaginarios de los europeos frente a las prácticas culturales de los indígenas fueran consideradas como prácticas socialmente prohibidas y, por ello, penalizadas.

“Desde las primeras épocas de la Colonia, las autoridades centraron buena parte de sus esfuerzos en tratar de restringir actividades rituales de índole indígena. Se prohibieron los juegos y “tomatas”, y dentro de los castigos estaban la trasquilada de pelo y la pérdida de la manta. Pese a todas estas restricciones, las fiestas de carácter indígena seguían celebrándose en los solares de la servidumbre cobijadas por la oscuridad de una noche que, en el día, era satanizada por los sacerdotes” (Monroy Álvarez, 2004).

Este proceso implicó también la desarticulación de los indígenas de su sistema cultural, al haberse transformado, en

gran medida, sus referentes geográficos, y con ellos la memoria, la tradición y la cosmogonía. Sitios como los humedales, que tuvieron importancia a nivel económico, territorial y religioso, pasaron a ser designados con nombres diversos, al tenor de los intereses de los encomenderos, los hacendados y los colonos, durante casi todo el periodo colonial. A esto, se ligó también la influencia de los misioneros católicos (dominicos y franciscanos), quienes arribaron a la región cerca de 1550, para fundar órdenes y adelantar una campaña de erradicación de las costumbres y de las prácticas rituales indígenas, en ríos, en bosques y en pantanos (humedales), para lo cual, adquirió vigencia la creación de centros doctrineros, en lo que más tarde fueron los resguardos de Bosa, de Fontibón, de Engativá, de Suba, de Usme y de Usaquén, principalmente (Velandia, 1983).

Según Rodríguez (2008), durante los siglos XVI y XVII, en el Nuevo Reino de Granada, los procesos de evangelización y de aculturación fueron posibles, a partir de la imposición de nuevos espacios y relaciones sociales, nueva visión del tiempo y nuevas creencias, devociones y rituales. Fue orden de la Real Audiencia, en el siglo XVI, que los alcaldes mayores denunciaran cualquier tipo de actividad idolátrica, por parte de los indígenas.

En el año de 1606, Lorenzo Gómez tomaba posesión de unas tierras en Engativá, próxima a los "(...) bohíos de la Poblason (sic) Vieja de Yngatiba (sic)" describe al solicitante, "(...) estando en un cerrillo y junto a unas labranzas (sic) que dijeron ser de los indios (sic) de Suba, junto a una sanja (sic) y un pozo que los dos (sic) indios tiene fecho que dicen ser santuario (sic)" (AGN, Colonia, Tierras-Cundinamarca, Tomo 35, rollo 115, f. 314).

Así mismo, las misiones católicas tenían como objetivo extender la prohibición de ritos antiguos, ceremonias gentílicas, costumbres como bailes, fiestas y borracheras y destruir los santuarios, así como aplicar castigos a los "indios cristianos", que persistiesen en el ejercicio de aquellos rituales, todo con el fin de cimentar la fe y la devoción cristiana, entre la población indígena (Velandia, 1983).

Documentos históricos en el AGN permiten relacionar algunos humedales de la ciudad, como Jaboque, con un aparente "santuario" indígena, cuya memoria permanece viva a principios del siglo XVII; de hecho, ya en 1607, la petición de Alonso Briceño alude a: (...) una ciénaga que se llama Tibaguya, linde con estancia de Lorenzo Gómez (...) corriendo el pantano y zienega (sic) abajo en el dicho termino de Suba; y en esta parte estaban unos indios (sic) de la encomienda de Bartholomé de Masmela que no eran sus tierras ni de su pueblo y fuera del dho (sic) Resguardo que estos indios (sic) decían estaban allí por cierto modor (sic) de Rito, que no podían acudir a ser doctrinados por la incomodidad (sic) del lugar (...) y que habían sucedido muertes, y que el sitio era santuario (sic) donde decían los dhos indios (sic) y los de Suba tenían idolatrías (sic) por un montte (sic) que allí ay" (AGN, Colonia, Tierras Cundinamarca, Tomo 35, rollo 115, f. 283r285r).

Durante los siglos XVIII y XIX, los humedales fueron invisibles y sobre ellos se desarrollan procesos de expansión, inicialmente, con la conformación de haciendas. Hacia 1851, se decreta la libre enajenación de las tierras que antaño habían sido Resguardos Muiscas en Zipaquirá, en Nemocón, en Tabio, en Tocancipá, en Cota y en Suba, entre otros. Esto, unido a la desamortización de bienes de manos muertas, logró la privatización de la tenencia de la tierra y consolidó la hacienda en la Sabana de Bogotá (Guío & Palacio Castañeda, 2008).

Varios teóricos han coincidido en plantear una relación directa entre la encomienda y el establecimiento de las haciendas en América Latina. Así mismo, se ha planteado que la hacienda no sólo fue una empresa económica, sino la base fundamental para la creación del poder político y del prestigio social, a partir del siglo XVIII (Friede, 1965; Guillén Martínez, 2003).

Lo anterior dio como resultado que varias zonas de humedales quedaran inmersas dentro de las haciendas, y sufrirían procesos de desecación. En el caso de la Sabana de Bogotá, éste proceso se inició con la entrada del eucalipto, como medio para lograr convertir zonas no aptas en agrícola-mente aptas, como lo menciona Palacio (2008): "Por su parte, la Sabana -zona desde la que procedían buena parte de la población de Bogotá, su idiosincrasia y la riqueza de sus tierras-, desde el siglo XIX había transformado su paisaje con el ingreso al país de pinos y eucaliptos que ayudaban a desecar ese pantano en que se convertía en invierno, cuyos remanentes hoy llaman humedales".

Según Pardo Umaña (1988), desde el finales del siglo XVIII, la tierra en la zona nororiental de la Sabana de Bogotá, se encontraba distribuida en nueve grandes haciendas: El Chuchó, La Conejera, El Noviciado, Tibabitá, Hato Grande, Yerbabuena, Fusca, Tiquiza y Fagua. La fundación y posterior fragmentación de estas haciendas fue una de las grandes causas de la constante destrucción y transformación de los actuales humedales de la zona.

Sumado a lo anterior, apreciamos que múltiples zonas de la Sabana de Bogotá, se llenaron de largas zanjas, de zanjones y de vallados de desagüe, con el fin de coadyuvar en el proceso de desecación de la Sabana, dando comienzo también, al proceso de construcción de jarillones, -montículos de tierra en las orillas de los ríos-, para evitar inundaciones durante el período de invierno. Estos procesos trajeron cambios en la vegetación, pasando de bosques de aliso a las orillas del río Bogotá a siembras de sauces, cuyas raíces reforzaron los jarillones (Van der Hammen, 2003; Ruiz Soto, 2008).

Es común encontrar referencias a la vegetación "de malezas" que existía en el monte de los cerros, entre las cuales, se hallan borrachero, arboloco, espino, encenillo, cordoncillos y a la fauna que se percibía en esta época, ya fuera en las haciendas, en los humedales o en los alrededores de la ciudad. Entre la fauna sobresalen patos migratorios, garzas blancas y rosadas, venados, peces, como la guapucha y el capitán, cangrejos de agua dulce, animales que se aprovechaban para la auto-subsistencia por parte de los indígenas y estancieros (Ruiz Soto, 2008). Los indígenas que aún quedaban, se les permitía la cacería, con el consentimiento del cacique, como lo menciona el siguiente apartado: "De suerte que aunque había en aquellos tiempos tanta abundancia de venados que andaban en manadas y les comían a los indios sus labranzas y sementeras, no tenían ellos facultad de matar alguno y comerlo sin licencia de su señor y cacique" (Rodríguez Freyle, 1984); sin embargo, estas prohibiciones no incluían al resto de la población, hacendados y extranjeros, especialmente, quienes vieron en la cacería, un deporte, especialmente, por parte de los extranjeros, asiduos visitan-

tes de la capital, durante todo el siglo XIX, quienes hicieron mención de los humedales no solo como zonas de cacería sino también de pesca, "...vimos una gran cantidad de patos silvestres volando; la cacería de éstos; según comprobé más tarde, es un buen deporte en algunas de las lagunas de esta sabana" (Potter Hamilton, 1993)

"En la Sabana se cazaba conejo, armadillo, comadrejas, borigos, patos de laguna, y los zorros y faras que salían en las noches a atormentar las gallinas o a pescar en el río. En montes y páramos había venados y buitres que, al igual que las torcazas y palomas, los gallinazos, carracos y gualas, fueron objetivo del rifle de hacendados y mayordomos hasta mediados del siglo XX" (Ruiz Soto, 2008).

"En cuanto a los venados, raza que desapareció completamente de la región, su cacería fue diversión favorita de todos los señores Castros, y las cabezas de los que mataban eran disecados y servían como adornos y roperos en las casa de las haciendas pertenecientes a la familia. ...y éste (Don Antonio Castro y Montenegro) alcanzó a darles muerte...a 1582 venados, todos machos, pues era orden expresa suya, que se cumplía religiosamente, la de no disparar nunca contra las hembras" (Pardo Umaña, 1988).

Durante el siglo XIX, la hacienda "criolla" se considera como una unidad agro-ecosistémica, en donde las actividades de explotación agropecuaria toman fuerza. Con ellas, aparecen las transformaciones visibles en el paisaje, dadas por la introducción del eucalipto, entre 1857 y 1865, y el alambre de púas, en 1880; ambos ayudaron al hacendado a fijar linderos y dividir potreros (Ruiz Soto, 2008).

Las actividades agrícolas, se establecieron en terrenos no inundables, ubicados sobre el costado occidental de la Sabana, pues hacia la parte nororiental, aún quedaban grandes espejos de agua, que pasaban por el camino viejo, actual carrera séptima (Mapa 2). En cuanto a la producción pecuaria, se criaron ovejas, caballos y ganado de ceba (carne y cuero), lo que permitió para mediados del siglo XIX, la comercialización de algunos productos como carne, quesos, papa, sal y harina de trigo con otras zonas del país (Ruiz Soto, 2008). Sin embargo, desde el siglo XVI, la tierra en la Sabana, se había dividido en estancias de ganado mayor (vacuno), estancias de pan sembrar (agricultura), estancias de ganado menor (ovinos) y estancias de pan coger (huertos) (Fundación Misión Colombia, 1988).

Durante las primeras décadas del siglo XX, la maquinaria agrícola, como las trilladoras estacionarias a vapor y los tractores, ocasionaron una transformación de la forma de vida y de producción rural desarrollada en el siglo XIX. Se comenzó el proceso de homogenización de los cultivos en la Sabana,

con el trigo, el maíz, la cebada y la papa; adicionalmente, se trajeron especies maderables, pastos, forrajes y razas de especies mayores y menores europeas y norteamericanas, con el fin de "modernizarse". A este proceso, se le ha denominado la "europeización de la Sabana de Bogotá" (Ruiz Soto, 2008).

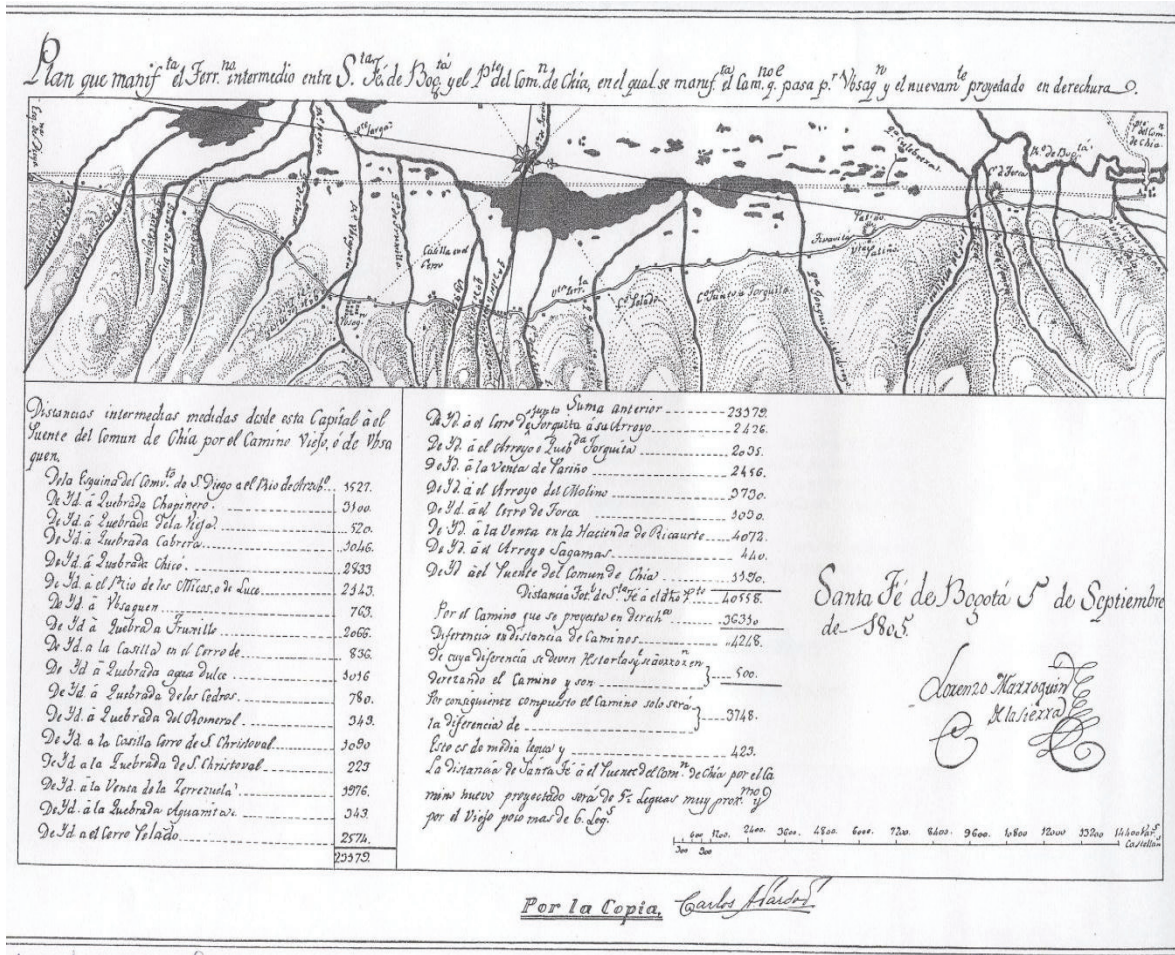
Todo lo anterior, unido a la invisibilidad a que fueron sometidos los humedales durante los siglos anteriores y a las prácticas culturales que sobre ellos se desarrollaron, ocasionó un acelerado proceso de destrucción y de pérdida total de gran parte de ellos. Las zonas de humedal desecadas fueron infestadas con agroquímicos y con pesticidas, dejando de lado el conocimiento ancestral de los Muisca, ocasionando un acelerado proceso de contaminación de las aguas en los reductos de humedales que quedaron (Van der Hammen, 2003).

A principios del siglo XX, se encuentra un reconocimiento jurídico hacia los humedales, chucuas, pantanos, entre otros, por parte del gobierno de Rafael Reyes, mediante el Decreto Legislativo 40 del 28, de febrero de 1905, donde se decreta en el artículo 1º, el deslinde de los predios particulares los lagos, las lagunas, las ciénagas y los pantanos que, según el parágrafo correspondiente a dicho artículo, se debían deslindar los terrenos que en los últimos diez años hayan estado inundados u ocupados por agua (Rojas, 2000), sin que esto indique su protección y su uso racional.

Por el contrario, la urbanización de la ciudad creyó traer consigo la idea de progreso y de desarrollo, sin darse cuenta que su acelerado proceso afectó, en gran medida, estos ecosistemas, pues de ser fuente de muchos productos (leña, alimento, recreación), estar asociados con algunos aspectos de la vida cotidiana y sumar para principios del siglo XX más de 50.000 has, hoy sólo quedan 800ha, debido a los continuos rellenos a los que se vieron sometidos, especialmente, hacia el occidente y el norte del D.C. y cuyo objetivo no es otro que construir nuevas urbanizaciones y nuevas vías de comunicación, ejemplo de ello, tenemos el caso de la Autopista Norte, inaugurada en 1956 y que transformó el antiguo humedal de Torca-Guaymaral, en tres secciones: hacia el occidente, el humedal de Guaymaral, la mejor conservada a nivel de biodiversidad; hacia el oriente, el humedal de Torca y, en el centro, el separador de la autopista (Moreno *et al.* 2005)

Las zonas húmedas que no desaparecieron, a pesar de estos embates, perdieron sus funciones naturales de regulación de aguas en épocas de invierno, dando paso a que las inundaciones ocasionaran desastres, como los ocurridos en los últimos inviernos.

"La región fue perdiendo su capacidad de amortiguar, mediante sus ecosistemas nativos –páramos, bosques, hume-



Mapa 2. Mapa de Santafé al Puente del Común por el camino de Usquén. Fuente: Mapoteca 2. Referencia 1241. 1805. AGN.

dales y los mismos ríos-, los comportamientos del clima, necesitando entonces implementar obras de ingeniería para mitigarlos. En lugar de utilizar la ingeniería para aprovechar las ventajas que ofrecían los ecosistemas, se utilizaba la ingeniería para disminuir los estragos producidos por las transformaciones de los ecosistemas” (Guío & Palacio Castañeda, 2008).

EN CONCLUSIÓN

Es claro que la interacción del ser humano con los humedales de la Sabana de Bogotá ha tenido una serie de connotaciones especiales a lo largo de los últimos doce mil años. Las relaciones establecidas con estos ecosistemas han influido notoriamente en su conservación en tiempos prehispánicos y en su destrucción progresiva, posterior a la llegada de los europeos.

Los humedales de la ciudad de Bogotá y de la Sabana, han sido espacios de gran biodiversidad, fuentes de alimento y de oportunidades de calidad de vida de las diversas poblaciones humanas, que utilizaban sus servicios ambientales, principalmente el agua, así como espacios sagrados que resumían y sintetizaban el origen de la vida y la explicación más profunda de los advenimientos sobrenaturales, entre la fertilidad, las deidades y el mundo terreno y pagano.

Al hacer una reflexión de la situación que han vivido los humedales en la Sabana en los últimos tres mil años, se logra entender que el significado de los imaginarios que sobre ellos se han construido va a depender del contexto histórico, en el cual, se construyen y que han funcionado como un recurso supremo de la conciencia, que transforma el mundo, pero que, a la vez, es creador y que funciona como “ordenador del ser a las órdenes del mejor”.

Se evidencia, entonces, en el período de conquista y posterior colonia, cómo los imaginarios construidos sobre estos ecosistemas fueron cambiando y con ello las percepciones y el uso funcional y práctico; los nuevos imaginarios rompieron con la armonía que los indígenas mantuvieron con el medio natural, dando paso a procesos destructivos que, hasta la fecha, siguen vigentes.

Los espejos de agua empezaron a disminuir progresivamente, mostrando síntomas de deterioro y de alteración de su salud vital, en la medida que la sociedad los fue marginando e invisibilizando y, posteriormente, modificándolos, para convertirlos en suelos agrícolas y ganaderos, en suelos urbanizables o de expansión urbana del Distrito Capital, ocasionando una serie ininterrumpida de conflictos de orden ambiental, que comienzan en el período de la colonia, en gran medida, por los imaginarios occidentales, construidos sobre estos espacios; imaginarios que rompieron con la armonía que los indígenas mantenían y dieron el origen para los procesos destructivos que, hasta la fecha, siguen vigentes.

Es necesario entender que la relación naturaleza - cultura es indisoluble y que los problemas ambientales involucran la construcción cultural de la naturaleza, bajo relaciones de poder; incluso, en estas relaciones de poder, debe ser muy clara la racionalidad ambiental, entendida como un proceso político y social que tenga en cuenta la conformación y la concertación de intereses opuestos, donde exista una reorientación de tendencias; se rompan obstáculos epistemológicos y barreras institucionales; así mismo, se creen nuevas formas de organización productiva, innovación de nuevos métodos de investigación y de producción de nuevos conceptos y conocimientos (Leff, 1994).

Esta nueva racionalidad ambiental debe desembocar en una nueva conciencia ambiental, que permita discutir las amenazas no solo sobre los ecosistemas sino sobre la vida misma, logrando el desarrollo de un “pensar verde”, como llamaría Ulloa (2002), que solo se daría por el deterioro de los ecosistemas y el agotamiento o extinción de los recursos naturales y las especies biológicas, los que han transformado procesos biológicos, ecológicos, sociales y culturales, como el caso de los imaginarios ambientales.

Y es probable que el surgimiento de nuevos “ciudadanos verdes” traiga consigo la re-construcción de imaginarios culturales, que permitan la recuperación, la protección y la preservación de los humedales; sin embargo, la idea de formar “ciudadanos-verdes” es que los conocimientos o prácticas se reproduzcan en su cotidianidad, hasta convertirse en prácticas culturales, para así aportar a la re-visibilización de estos espacios, como ecosistemas estratégicos dentro de la Estructura Ecológica Principal del Distrito Capital.

Sería interesante retomar los sistemas de conocimiento no occidentales, específicamente los indígenas, considerados como una alternativa a la crisis ambiental, pues están basados en concepciones complejas y diferentes, sobre la naturaleza que no responden a las categorías occidentales impuestas por procesos de etnocidio y aculturación, sino a concepciones y conocimientos locales, articulados con un territorio, una identidad y una tradición histórica, étnica, social y cultural de los mismos.

De otra parte, sería interesante explorar más a los humedales como “lugares-patrimonio” (van der Hammen *et al.* 2009), con el fin de darles nuevos sentidos y re-significaciones en el presente, pero también, con el fin de aportar en la construcción colectiva de identidad de los habitantes que conviven cotidianamente con estos espacios y quienes son los únicos que podrían convertirlos en “lugares-patrimonio” y así darles, nuevamente, una gran valoración social, por la biodiversidad y por los servicios ambientales y escénicos que ofrecen.

En estos procesos es fundamental recuperar las historias de los barrios que, en sus procesos de conformación, fraccionaron o destruyeron gran parte de los humedales y que hoy hacen parte fundamental de su desarrollo; pues los procesos de arraigo y de sentido de pertenencia, fundamentados sobre las vivencias, son la base para la construcción de valores patrimoniales, son el motor para las acciones de recuperación y de protección de estos ecosistemas, así como herramientas de apropiación del lugar.

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

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEITUNO, F.J.; LOAIZA, N. 2008. Rastreando los orígenes de la agricultura en la vertiente oriental del Cauca Medio. En: López, C.E.; Ospina, G.A. (eds). Ecología Histórica. Interacciones Sociedad – Ambiente a Distintas Escalas Socio – Temporales. UTP, Pereira. 297p.
2. ANDRADE, G. 2003. Los humedales de Bogotá y la convención Ramsar: Oportunidades para la gestión del patrimonio natural de la ciudad. Serie Documentos Técnicos. No.1 Fundación Humedales. Bogotá, Colombia. 16p.
3. ANDRADE, G. 2005. La continuidad de los parques y el espacio público en Bogotá y su entorno. Hacia un

- sistema regional y distrital de áreas protegidas. En: Cárdenas, F.; Correa, H.D.; Mesa, C. (Compiladores) *Región, ciudad y áreas protegidas. Manejo ambiental participativo*. CEREC, Ecofondo, FPAA, Fescol, Bogotá. 564 p.
4. Archivo General de la Nación AGN. 2010. Sección Colonia, Tierras de Cundinamarca, Tomo 35, rollo 115, f. 283r 285r.
 5. Archivo General de la Nación AGN. 2010 Sección Colonia, Caciques e Indios, legajo 55, Rollo 056/78, f. 782-800.
 6. Archivo General de la Nación AGN. 2010. Sección Colonia, Tierras-Cundinamarca, Tomo 35, rollo 115, f. 314.
 7. BACKZO, B. 1991. *Los imaginarios sociales. Memorias y esperanzas colectivas*. Ed. Nueva Visión. Argentina. 199p.
 8. BATESON, G. 2001. *Espíritu y naturaleza*. Buenos Aires: Amorrortu eds. 480p.
 9. BOADA, A.M. 2006. *Patrones de asentamiento regional y sistemas de agricultura intensiva en Cota y Suba, Sabana de Bogotá (Colombia)* Fund. Investig. Arqueol. Nacionales, Banco de la República. 181p.
 10. CALVACHI, B. 2002. *La biodiversidad bogotana*. Rev. La Tadeo. 67:89-98.
 11. CARRIZOSA, J. 2002. *Colombia de lo imaginario a lo complejo*. Bogotá: IDEA. Universidad Nacional. 203p.
 12. CASILIMAS ROJAS, C.I.; LÓPEZ ÁVILA, M.I. 1989. *El templo Muisca*. Rev. Maguaré 5:127-150.
 13. CASTAÑO U., C. 2003. *Adaptaciones simbólicas y culturales al bioma de los humedales de la Sabana de Bogotá y los ecosistemas de alta montaña*. En *Los Humedales de Bogotá y la Sabana*. EAAB, Conservación Internacional. Bogotá, Colombia. p.141-167.
 14. CASTORIADIS, C. 1997. *Ontología de la creación. Ensayo & Error*, Colección Pensamiento Crítico Contemporáneo. Bogotá. 320p.
 15. CORREA RÚBIO, F. 2005. *Sociedad y naturaleza en la mitología Muisca*. Tabula Rasa. 3:197-222.
 16. CORREAL ÚRREGO, G. 1986. *Apuntes sobre el medio ambiente pleistocénico y el hombre prehistórico en Colombia*. En: Bryan, A.L. (ed.) *New Evidence for the Pleistocene Peopling of the Americas*. Center for the Study of Early Man, University of Maine, Orono. 368p.
 17. CORREAL ÚRREGO, G. 1990. *Aguazuque: Evidencias de Cazadores, Recolectores y Plantadores en la Altiplanicie de la Cordillera Oriental*. FIAN, Bogotá. 307p.
 18. CORREAL ÚRREGO, G. 1981. *Evidencias culturales y megafauna pleistocénica en Colombia*. Fund. Invest. Arqueol. Nal. 12:1-148.
 19. CORREAL ÚRREGO, G.; PINTO, M. 1983. *Investigaciones Arqueológicas en el Municipio de Zipacón, Cundinamarca*. FIAN, Bogotá. 204p.
 20. CORREAL ÚRREGO, G.; VAN DER HAMMEN, T. 1977. *Investigaciones Arqueológicas en los Abrigos Rocosos de Tequendama*. Banco Popular, Bogotá. 194p.
 21. DAMA, 2000. *Historia de los Humedales de Bogotá con énfasis en cinco de ellos*. Bogotá D.C. 107 p.
 22. DAMA, 2002. *Los Humedales del Altiplano en Bogotá, bases técnicas para su conservación, restauración y manejo*. Documento Técnico Elaborado por G. I. Andrade. 68p.
 23. DE MORAES, D. 2007. *Imaginario social, cultura y construcción de la hegemonía*. En *Contratiempo Revista de cultura y pensamiento / La cultura crítica en América Latina / Otoño - Invierno N° 2*. Disponible desde Internet en: http://www.revistacontratiempo.com.ar/moraes_imaginario_cultura_hegemonia.htm (con acceso 07/10/12)
 24. DURAND, G. 2000. *Lo imaginario*. Ed. del Bronce. Barcelona. 165p.
 25. FALCHETTI, A.M.; PLAZAS, C. 1973 *El territorio de los muisca a la llegada de los españoles*. Bogotá, U. de los Andes. 27p.
 26. FRIEDE, J. 1965. *Los orígenes de la propiedad territorial en la América Intertropical*. En: *Historia Extensa de Colombia. Descubrimiento y Conquista del Nuevo Reino de Granada*. Vol. 4 Tomo II. Acad. Col. Historia. Editorial Lerner. Bogotá. 453p.

27. FUNDACIÓN MISIÓN COLOMBIA. 1988. Historia de Bogotá. Bogotá: Villegas Editores. Vol. 1. 330p.
28. FUNDACIÓN MISIÓN COLOMBIA. 1988. Historia de Bogotá. Bogotá: Villegas Editores. Vol. 2. 330p.
29. GARCÍA, R. 2000. Estudio Básico de Sistemas Complejos. En: Leff, E.; Morello, J. (eds) Los problemas de conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. México: Siglo XXI Editores. 410p.
30. GNECCO, C.; ACEITUNO, J. 2004. Poblamiento temprano y espacios antropogénicos en el norte de Suramérica. *Complutum*. 15(15):151-164.
31. GODELIER, M. 1989. Lo ideal y lo material. Pensamiento, economías, sociedades. Madrid. Taurus. 310p.
32. GROOT, A.M. 2006. Arqueología y patrimonio: conocimiento y apropiación social. *Rev. Acad. Col. Ciencia*. 30(114): 5-17.
33. GUILLÉN MARTÍNEZ, F. 2003. El poder político en Colombia. Ed. Planeta, Bogotá. 594 p.
34. GÚÍO, C.; PALACIO CASTAÑEDA, G. 2008. Bogotá: el tortuoso y catastrófico (des)encuentro entre el río y la ciudad. En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia. 345p.
35. HERRERA, L.F.; ROJAS, S.; MONTEJO, F. 2004. Poblamiento prehispánico de la depresión Momposina: Un sistema integrado de manejo sostenible de los ecosistemas inundables. En: Restrepo, R. (Compilador). *Saberes de Vida. Por el bienestar de las nuevas generaciones*. UNESCO – Siglo del Hombre Editores, Bogotá. 342p.
36. IZQUIERDO P, M.A.; LÓPEZ, L.F. 2005. Valoración Arqueoastronómica del emplazamiento monolítico del Humedal de Jaboque (Engativá). Segundo informe. U.N. de Colombia – EAAB Instituto de Ciencias Naturales Observatorio Astronómico Nacional. 180p.
37. LANGEBAEK, C.H. 1992. Noticias de caciques muy mayores. Origen y desarrollo de las sociedades complejas en el noroccidente de Colombia y norte de Venezuela. U. de los Andes y U.de Antioquia, Medellín. 24p.
38. LEFF, E. 1994. Sociología y ambiente: Formación socio-económica, racionalidad ambiental y transformaciones del conocimiento. En: Leff, E. (Ed). *Ciencias Sociales y formación ambiental*. Ed. Gedisa. Madrid. 321p.
39. Manual de la Convención de Ramsar. Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). 2006. 4a. ed. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza. 124p.
40. MONROY ÁLVAREZ, S. 2004. Los gozos del arrabal: la permanencia de objetos rituales y las identidades marginales en el suroriente de Bogotá. *Bol. Antropol*. 18(035):73-91.
41. MORENO, V.; GARCÍA, J.F.; VILLALBA, J.C. 2005. Descripción general de los Humedales de Bogotá D.C. Disponible desde Internet en: <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/humed.pdf> (con acceso 15/12/12).
42. MORIN, E. 1988. El método III. El conocimiento del conocimiento. Madrid: Cátedra. 264p.
43. MOSCOVICI, S. 1975. Sociedad contra natura. Editorial Siglo XXI, México. 336p.
44. PALACIO, G. 2008. Urbanismo, naturaleza y territorio en la Bogotá republicana (1810-1910) En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia. 345p.
45. PARDO UMAÑA, C. 1988. Haciendas de la Sabana. Villegas Eds. 2a Ed. Colombia. 205p.
46. POTTER HAMILTON, J. 1993. Viajes por el interior de las provincias de Colombia. Comisión Preparatoria para el V Centenario del Descubrimiento de América, Instituto Colombiano de Cultura. Bogotá. 369p.
47. RODRÍGUEZ, D.F. 2008. La música en la evangelización de los pueblos de indios del altiplano cundiboyacense durante el siglo XVII. En: Gamboa M., J.A. (ed.) *Los muiscas en los siglos XVI y XVII: miradas desde la arqueología, la antropología y la historia*. Ed. Uniandes. 317p.
48. RODRÍGUEZ FREYLE, J. 1984. El Carnero. Instituto Caro y Cuervo. Bogotá. 345p.

49. ROJAS, R. 2000. Humedales en la Sabana de Bogotá. Una mirada histórica durante los siglos XV a XIX. Alcaldía Mayor de Bogotá, Colombia. 66p.
50. ROJAS DE PERDOMO, L. 1995. Arqueología colombiana. Círculo de Lectores. Bogotá. 374p.
51. RUIZ SOTO, M.F. 2008. Lineamientos para una historia agro-ambiental de la Sabana de Bogotá. En: Palacio, G. (ed.) Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005. Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonía, IMANI. Leticia, Amazonas, Colombia. 345p.
52. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE SDA. 2008. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Bogotá D.C. 296p.
53. ULLLOA, A. 2002. Pensando verde: el surgimiento y desarrollo de la conciencia ambiental global. En: Palacios, G.; Ulloa, A. (Eds). Repensando la naturaleza. Encuentros y desencuentros disciplinarios en torno a lo ambiental. UNAL (Amazonas), Imani, ICANH, Colciencias. 246p.
54. VAN DER HAMMEN, M.C.; LÜLLE, T.; PALACIO, D.C. 2009. La construcción del patrimonio como lugar: Un estudio de caso en Bogotá. Rev. Antípoda. 8:61-85.
55. VAN DER HAMMEN, T. 2003. Los humedales de la Sabana. Origen, evolución, degradación y restauración. En: Los Humedales de Bogotá y la Sabana. EAAB, Conserv. Int. Bogotá, Colombia. 264p.
56. VASCO, C. 1995. La teoría general de procesos y sistemas. En Misión Ciencia Educación y Desarrollo. Vol 2. Colciencias, Presidencia de la República. Bogotá. 241p.
57. VELANDIA, R. 1983. Fontibón: pueblo de la Real Corona. Imprenta Distrital. Academia Colombiana de Historia, Bogotá. 192p.

Recibido: Diciembre 2 de 2011

Aceptado: Mayo 15 de 2012

IMPORTANCIA DEL JAGÜEY GANADERO EN LA CONSERVACIÓN LOCAL DE AVES SILVESTRES EN EL CARIBE COLOMBIANO

CATTLE POND IMPORTANCE IN THE LOCAL CONSERVATION OF WILD BIRDS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

Jaime De La Ossa-V.¹, Silvia Galván-Guevara², Alejandro De La Ossa-Lacayo³

¹ Universidad de Sucre, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo Investigación Biodiversidad Tropical, Colombia. jaimedelaossa@yahoo.com. ² Universidad de Cartagena, Maestría en Ciencias Ambientales. Grupo de Investigación en Biodiversidad Tropical de la Universidad de Sucre, Colombia. ³ Universidad Pontificia Javeriana de Colombia, Maestría en Desarrollo Rural, Colombia.

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 181 - 186, 2012

RESUMEN

Se llevó a cabo un inventario de la avifauna residente o visitante asociada a un jagüey o laguna artificial de la costa Caribe de Colombia, que se utiliza como reserva de agua para el ganado vacuno en la época seca y que también sirve como fuente de agua para las comunidades cercanas. Se hizo el registro de individuos de cada especie durante la época seca e inicio de la época de lluvias, mediante el método de observación constante, por periodos de tiempo preestablecidos, usando dos puntos fijos de conteo. Se determinó una comunidad de aves que mostró 28 especies pertenecientes a 15 familias, de las cuales, se identificaron como residentes continuos (RC), 11 especies (39,3%), como visitantes regulares (VR), 7 especies (25%) y como visitantes ocasionales (VO), 10 especies (35,7%), lo que permite aceptar la importancia estratégica de este tipo de lagunas en la conservación de la biodiversidad local, mostrando que los agroecosistemas pueden conservar una sustancial parte de la biodiversidad de su anterior ecosistema natural.

Palabras clave: Jagüey, avifauna, abundancia, Caribe, Colombia.

SUMMARY

Was carried out an inventory of the resident or visitor avifauna associated to an artificial pond or "jagüey" of the Colombian

Caribbean coast that is used as cattle water reservation for the dry season and that it is also used as water source of water for its near human communities. The registration of individuals of each species was made during the dry season and at the beginning of the rainy season, using two fixes observation points. In this bird community, 28 species belonging to 15 families were determined, of which as continuous residents (RC) 11 species (39,3%), as regular visitors (VR) 7 species (25%), and as occasional visitors (VO) 10 species (35.7%) were identified; this allows to accept the strategic importance of this type of artificial lagoons in the conservation of the local biodiversity, showing that the agroecosystems can conserve an important part of the biodiversity of its previous natural ecosystem.

Key words: Artificial pond, avifauna, abundance, Caribbean, Colombia.

INTRODUCCIÓN

La avifauna posee un gran valor para la diversidad biológica nacional y las aves silvestres tienen intrínsecos valores para la sociedad (Díaz & Armesto, 2003). Dado este reconocimiento es fundamental que se lleven a cabo inventarios de las poblaciones existentes, seguimiento y control de los cambios poblacionales, en función del tiempo y de las condiciones ambientales, ya que existe el riesgo de declinación poblacional por factores diversos, pero significativamente de origen

humano: como pérdida de hábitat, introducción de especies exóticas, comercio de mascotas, toxicidad ambiental, producción agrícola y predación humana (Canavelli *et al.* 2004), a los cuales, no escapa la región Caribe colombiana, dedicada, principalmente, a labores agrícolas, como parte fundamental de su economía, siendo la ganadería de carne una de las actividades de mayor impacto negativo, ambientalmente hablando (Mahecha *et al.* 2002).

Ahora, lugares comparativamente pequeños bien protegidos, como lagunas artificiales, cercas vivas o parches de bosques, pueden adquirir gran importancia como hábitat, porque permiten la concentración de la avifauna local (Salinas *et al.* 2007). Para Centroamérica, se reconocen prácticas silvopastoriles, por medio de las cuales, se ha logrado aumentar la producción animal, recuperar áreas degradadas que, a su vez, ayudan a ofrecer refugio permanente u ocasional a muchas poblaciones de avifauna; se encontró que las cercas vivas, por ejemplo, son de gran importancia para las aves residentes, especialmente, en la época seca, cuando los árboles están en floración y atraen a muchos polinizadores que pueden servirles de alimento (Sáenz & Menacho, 2005), lo que concuerda para los jagüeyes en lo que a fauna silvestre hace referencia (Botero *et al.* 2009).

También es claro que en ambientes acuáticos construidos para fines ganaderos, algunas especies de aves pueden sobrevivir (Botero *et al.* 2009), por ejemplo, entre las aves acuáticas, algunas especies de ellas migratorias, hallan refugio temporal en estos cuerpos de agua, mientras otras, no migratorias, se tornan residentes permanentes (Botero *et al.* 2009) y en estos lugares es factible hallar casi todas las especies comunes para el área (Fajardo *et al.* 2008). Entonces, ante los impactos antrópicos, cada vez más evidentes por sus consecuencias, los jagüeyes se convierten en una importante alternativa de conservación biológica (Declerck *et al.* 2006) y en donde es factible hacer listados, censos y estudios de abundancia poblacional, que conduzcan a posteriores planes de manejo, con fines conservacionistas.

En el presente trabajo, se llevó a cabo observación, identificación y determinación de abundancia relativa de las aves que habitan un jagüey, en la zona de sabanas antrópicas del departamento de Sucre, área representativa de la zona seca del Caribe colombiano. Se compara la presencia ausencia de las diferentes poblaciones de acuerdo con la estación pluviométrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Granja el Perico, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Sucre, Colombia, localizada a 9°12'45.1'' N y 75°24'1.8'' O, a 146 m.s.n.m.

El área de estudio posee en espejo de agua de 0,9ha en su máxima cota de inundación. La zona, se clasifica como perteneciente al bosque seco tropical, caracterizada como un ecosistema de piso térmico cálido, con periodos de lluvias anuales bien definidos (Botero *et al.* 2009), incluye grandes extensiones de sabanas antrópicas y no está conectada a un río ni pertenece a una cuenca permanente; su dinámica está determinada por el flujo de las escorrentías. Específicamente, el jagüey estudiado presenta en sus orillas abundante vegetación, con una cobertura del 60% y un dosel medio de 15m, así como una densa población flotante de *Pistia stratiotes* (oreja de mulo) (De La Ossa *et al.* 2009).

Métodos: Se hizo un inventario de las aves presentes y se registró el número de individuos de cada especie, durante la época seca (febrero-abril) e inicio de la época de lluvias (mayo-julio), de 2009, según lo propuesto por Dunn & Ralph (2004), mediante el método de observación constante por periodos de tiempo preestablecidos; se usó el punto fijo de conteo (Farnsworth *et al.* 2002); se trabajó tres veces a la semana, entre las 06:00 y las 10:00 horas y entre las 16:00 y las 19:00 horas, con dos puntos fijos de avistamiento. La identificación taxonómica se llevó a cabo *in situ* (Remsen *et al.* 2008).

Análisis de los datos: Mediante el programa InfoStat 2011e-free, se verificó el supuesto de normalidad de los datos y homogeneidad de varianza, se aplicó ANOVA y prueba de múltiples rangos (diferencias mínimas significativas); se establecieron cálculos de abundancia relativa en porcentaje, con las siguientes categorías: residente continuo (RC) (especies que habitan exclusivamente el lugar), visitante regular (VR) (permanecen parte del día en el jagüey) y visitante ocasional (VO) (especies que llegan a forrajear o beber agua y se van de inmediato) (Hernández-Vásquez, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1, se presentan los resultados obtenidos durante los seis meses de estudio. Se registraron 28 especies pertenecientes a 15 familias, de las cuales, se identificaron como residentes continuos (RC), 11 especies (39,3%); como visitantes regulares (VR), 7 especies (25%) y como visitantes ocasionales (VO), 10 especies (35,7%). Igualmente, se presentan los valores de abundancia relativa en porcentaje para cada especie por periodo analizado.

No se encontraron diferencias significativas al aplicar ANOVA para comparar los meses de estudio, pero sí se hallaron para el carácter (Tabla 2). Al hacer un análisis de diferencias mínimas significativas para el carácter ocupacional por especie, significativamente se diferencian las especies

Tabla 1. Registro y valores de abundancia de las aves asociadas a un jagüey de la costa Caribe colombiana ((F) febrero, (M) marzo, (A) abril, ((My) mayo, (J) junio, (Jl) julio), (N.C) Nombre común, (C) Carácter, (RC) Residente continuo, (VR) Visitante regular, (VO) Visitante ocasional, (\bar{X}) Media por periodo estudiado, (%) Representación porcentual por periodo.

Familia	Especie	N.C	C	Sequía					Lluvias				
				F	M	A	\bar{X}	%	My	J	Jl	\bar{X}	%
ARDEIDAE	<i>Butorides striatus</i>	Garcipolo	VO	1	0	0	0,33	0,38	1	2	1	1,33	1,85
	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza del ganado	RC	3	5	4	4,00	4,55	2	5	3	3,33	4,63
	<i>Ardea alba</i>	Garza real	VO	1	1	1	1,00	1,14	0	0	0	0,00	0,00
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Guaco	RC	1	1	1	1,00	1,14	1	1	2	1,33	1,85
	<i>Tigrisoma lineatum</i>	Vaco tigre	RC	1	1	0	0,67	0,76	0	2	1	1,00	1,39
CATHARTIDAE	<i>Cathartes aura</i>	Laura	VR	2	3	1	2,00	2,27	1	0	0	0,33	0,46
	<i>Coragyps atratus</i>	Golero	VR	2	3	1	2,00	2,27	1	2	4	2,33	3,24
ACCIPITRIDAE	<i>Busarellus nigricollis</i>	Gavilán	VR	1	1	0	0,67	0,76	0	1	1	0,67	0,93
	<i>Buteo magnirostris</i>	Gavilán	VR	2	2	2	2,00	2,27	2	2	2	2,00	2,78
FALCONIDAE	<i>Milvago chimachima</i>	Pigua	VR	3	5	4	4,00	4,55	3	4	5	4,00	5,56
	<i>Caracara plancus</i>	Caracara	VR	0	0	1	0,33	0,38	0	0	0	0,00	0,00
JACANIDAE	<i>Jacana jacana</i>	Gallito de ciénaga	RC	7	8	8	7,67	8,71	6	9	8	7,67	10,65
COLUMBIDAE	<i>Columba cayennensis</i>	Guarumera	VO	0	0	0	0,00	0,00	1	0	1	0,67	0,93
	<i>Columbina talpacoti</i>	Tierrerrita	VO	9	9	11	9,67	10,98	7	5	4	5,33	7,41
PSITTACIDAE	<i>Aratinga pertinax</i>	Cotorra	VO	3	4	4	3,67	4,17	5	4	5	4,67	6,48
	<i>Brotogeris jugularis</i>	Periquito	VO	6	6	5	5,67	6,44	2	1	0	1,00	1,39
CUCULIDAE	<i>Crotophaga ani</i>	Cocinera	RC	11	10	15	12,00	13,64	11	14	10	11,67	16,20
	<i>Crotophaga major</i>	Cocinera	RC	3	2	4	3,00	3,41	1	3	3	2,33	3,24
ALCENIDAE	<i>Ceryle torquata</i>	Martin Pescador	VR	0	0	1	0,33	0,38	1	0	0	0,33	0,46
PICIDAE	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero	VO	0	1	0	0,33	0,38	1	0	0	0,33	0,46
TYRANNIDAE	<i>Arundinicola leucocephala</i>	Niderito	RC	2	2	1	1,67	1,89	2	2	2	2,00	2,78
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Chichafria	RC	6	7	4	5,67	6,44	4	5	7	5,33	7,41
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Siriri	RC	3	2	5	3,33	3,79	2	4	1	2,33	3,24
HIRUNDINIDAE	<i>Progne tapera</i>	Golondrina	VO	5	6	8	6,33	7,20	0	0	0	0,00	0,00
TROGLODYTIDAE	<i>Campylurhyncus griseus</i>	Chupa huevo	RC	6	8	5	6,33	7,20	10	9	8	9,00	12,50
THRAUPIDAE	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo	RC	3	3	2	2,67	3,03	1	4	3	2,67	3,70
FRINGILLIDAE	<i>Saltator coerulescens</i>	Salterín	VO	0	1	1	0,67	0,76	0	0	0	0,00	0,00
	<i>Sicalis flaveola</i>	Canario	VO	3	0	0	1,00	1,14	1	0	0	0,33	0,46
Total							88	100				72	100

Tabla 2. ANOVA para el carácter ocupacional y los meses del estudio.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Carácter	266,13	2	133,06	16,12	0,00
B:Meses	17,71	5	3,54	0,43	0,82
Residuos	1320,73	160	8,25		
Total	1604,57	167			

residentes continuas (RC) de las otras dos categorías, lo que permite asumir la importancia del jagüey, en cuanto al mantenimiento de una comunidad residente permanente (Tabla 3). Al analizar estadísticamente mediante ANOVA, la variable individuos por especie presentes en el jagüey, independientemente del carácter y del tiempo, se obtiene que existe diferencia significativa entre especies (Tabla 4).

La diferencia hallada en cuanto al carácter ocupacional muestra la importancia del jagüey como refugio en un área deforestada, se le relaciona igualmente con una mayor abundancia de especies de aves, siendo las de mayor aporte dentro de estas áreas las especies residentes, concordando con Salinas *et al.* (2007), lo cual, es significativamente evidente en este estudio y se puede comprobar al observar en la tabla 1, la representación porcentual de las especies residentes continuas (RC), tales como: *Jacana jacana* (gallito de ciénaga), *Crotophaga ani* (cocinera), *Pitangus*

sulphuratus (chichafria), *Campylurhyncus griseus* (chupa huevo), *Bubulcus ibis* (garza del ganado), *Nycticorax nycticorax* (guaco), *Tigrisoma lineatum* (vaco tigre).

En cuanto a la estructura de la comunidad y los diferentes tipos de ocupación específica mostrada y sin que el factor temporal se discrimine, este estudio difiere de diversos reportes, en donde la comunidad de aves presenta variaciones específicas de abundancia, durante los diferentes periodos estacionales del año, aún en el trópico. Indican, que se registran diferencias significativas en la abundancia y en el número de especies entre estaciones, lo que puede estar influenciado por el arribo de aves migratorias, la alta disponibilidad de alimento y la disponibilidad de sitios para criar (Isacch & Martínez, 2001), algo que no se presentó en el área de estudio, en donde la avifauna estudiada es característicamente local, además por razones antrópicas, se localiza concentrada en lugares particulares, como los

Tabla 3. Análisis de diferencias mínimas significativas para el carácter: (RC) residente continuo, (VR) visitante regular, (VO) visitante ocasional. Según prueba de múltiples rangos (95% LSD).

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
RC – VO	*	2,27	1,01
RC – VR	*	2,89	1,12
VO – VR		0,61	1,14

* indica una diferencia significativa.

Tabla 4. ANOVA para individuos por especie ($p < 0.05$).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1340,91	27	49,66	26,37	0,00
Intra grupos	263,66	140	1,88	32,56	0,36
Total	1604,57	167			

cuerpos de agua remanentes. La composición específica de aves en diferentes ecosistemas depende de factores que actúan a nivel espacial y temporal (Hernández- Vásquez, 2000; Isacch & Martínez, 2001).

Se señala la existencia de especies gregarias, que reúnen una fracción importante de su población en ciertos lugares formando colonias reproductivas o en sitios de descanso o de permanencia temporal o en zonas alimentación (BirdLife Internacional & Conservation Internacional, 2005), como lo registran Salinas *et al.* (2007), para *Ardea alba* (Ciconiiformes, Ardeidae) y para *Gallinula chloropus* (Gruiformes, Rallidae); no obstante, el carácter gregario podría ser aplicado a las especies residentes permanentes o continuas, dadas las circunstancias de aislamiento y de ausencia de otros jagüeyes cercanos o de áreas aptas para su sobrevivencia, por ejemplo, *Jacana jacana* (Charadriiformes, Jacanidae).

Las 28 especies halladas en este estudio representan el 15,5% del total de la avifauna registrada como asociada a manglares y humedales del delta-estuario del río Magdalena, dentro de la región Caribe de Colombia, la cual, posee ecosistemas diversos y forma parte de la vía Parque Isla Salamanca y del Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta, con un total de 79.200ha (Moreno-Bejarano & Álvarez-León, 2003).

De las especies de avifauna asociada a manglares y humedales del delta-estuario del río Magdalena, se registran como comunes *Bubulcus ibis*, *Milvago chimachima*, *Jacana jacana*, *Aratinga pertinax*, *Crotophaga major*, *Pitangus sulphuratus*, *Progne tapera* y *Campylurhyncus griseus*, lo que es consecuentemente similar para este estudio; sin embargo, *Columbina talpacoti*, *Crotophaga ani*, *Tyrannus melancholicus* y *Thraupis episcopus*, que fueron comunes en este trabajo, aparecen como escasas para la citada zona del Magdalena (Moreno-Bejarano & Álvarez-León, 2003).

Hay que anotar que como visitantes regulares, las especies detectadas de las familias Cathartidae, Accipitridae y Falconidae, que agrupan en total seis especies dentro de esta categoría, representan el 85,7%, esto es explicable por sus hábitos carroñeros o por ser aves de rapiña, lo que implica que el jagüey se convierte en un lugar de forrajeo importante para ellos en su búsqueda de alimento.

En cuanto a las aves rapaces, se ha demostrado que algunas especies de este grupo son favorecidas por los paisajes agrícolas, como *Buteo magnirostris* y *Milvago chimachima*, siendo está última la de mayor abundancia relativa, dentro de esta categoría en este trabajo, lo que permite aseverar que su presencia es favorecida por los paisajes ganaderos, tipificándose como abundante (Filloly & Bellocq, 2007). Es

claro que muchas especies de aves rapaces son tolerantes a los cambios ambientales que sufre una región en razón de la producción agropecuaria y de ocupación humana (Filloly & Bellocq, 2007).

La pérdida de hábitats naturales es la principal causa de la pérdida de la biodiversidad mundial (Myers *et al.* 2000); no obstante, algunos agroecosistemas pueden conservar una sustancial parte de la biodiversidad de su anterior ecosistema natural y servir como zonas de amortiguación y complementarias de las áreas protegidas o de reserva para la fauna silvestre local o migratoria (Belfrage *et al.* 2005).

En este caso, los jagüeyes son sin duda alguna refugios de gran valor para la avifauna dentro de una matriz paisajística que cambió sustancialmente, debido a su dedicación agrícola, sin que pueda asumirse que la ganadería es la única responsable del cambio ambiental existente. Se le abona, en este caso, que permite comparativamente un mejor mantenimiento de la diversidad biológica, al menos en lo que a avifauna hace referencia (Fajardo *et al.* 2008; Botero *et al.* 2009). En muchos casos, el jagüey es la única reserva de agua disponible para el ganado y para los pobladores locales durante la época de sequía; es una fuente de sobrevivencia de gran valor cultural y productivo.

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

Financiación: Este estudio fue financiado con aportes del Grupo de Investigación en Biodiversidad Tropical de la Universidad de Sucre, Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELFRAGE, K.; BJÖRKLUND, J.; SALOMONSSON, L. 2005. The effects of farm size and organic farming on diversity of birds, pollinators, and plants in a Swedish Landscape. *J. Hum. Behav. Soc. Environ.* 34(8):582-588.
2. BIRDLIFE INTERNACIONAL.; CONSERVATION INTERNACIONAL. 2005. Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en los Andes Tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad. *BirdLife and CI.* 14:85-96.
3. BOTERO, A.L.; DE LA OSSA, V.J.; ESPITIA, P.A.; DE LA OSSA-LACAYO, A. 2009. Importancia de los jagüeyes en las sabanas del Caribe colombiano. *Recia.* 1(1):71-84.

4. CANAVELLI, S.; ZACCAGNINI, M.E.; TORRESIN, J.; CALAMARI, N.; DUCOMMUN, M.; CAPLLONCH, P. 2004. Monitoreo extensivo de aves en el Centro-Sur de Entre Ríos. *INSUGEO*. 12:49-362.
5. DE LA OSSA, V.J.; SAMPEDRO-MARÍN, A.; GALVÁN-GUEVARA, S.; DE LA OSSA-LACAYO, A. 2009. Registro de *Pseudis paradoxa* (Linnaeus, 1758) (Anura, Pseudidae) en el departamento de Sucre, Colombia. *Recia*. 1(2):264-272.
6. DECLERCK, S.; DE BIE, T.; ERCKEN, D.; HAMPEL, H.; SCHRIJVERS, S.; VAN WICHELEN, J. 2006. Ecological characteristics of small farmland ponds: Associations with land use practices at multiple spatial scales. *Biol. Conserv.* 131(4):523-532.
7. DÍAZ, I.A.; ARMESTO, J.J. 2003. La conservación de las aves silvestres en ambientes urbanos de Santiago. *Rev Ambiente y Desarrollo de CIPMA*. 19(2):31-38.
8. DUNN, E.H.; RALPH, C.J. 2004. The use of mist nets as a tool for bird population monitoring. Monitoring bird populations using mist nets. *Studies in Avian Biology*. 29:1-6.
9. FAJARDO, N.D.; GONZÁLEZ, J.R.; NEIRA, L.A. 2008. Ganadería del futuro. En: Fajardo, N.D.; González, J.R.; Neira, L.A. ed. *Investigación para el desarrollo. Sistemas ganaderos amigos de las aves*. CIPAV. p.173-225.
10. FARNSWORTH, G.L.; POLLOCK, K.H.; NICHOLS, J.D.; SIMONS, T.R.; HINES, J.E.; SAUER, J.R. 2002. A removal model for estimating detection probabilities from point-count surveys. *Auk*. 119:414-425.
11. FILLOY, J.; BELLOCQ, M.I. 2007. Respuesta de las aves rapaces al uso de la tierra: un enfoque regional. *Hornero*. 22(2):131-140.
12. HERNÁNDEZ-VÁSQUEZ, S. 2000. Aves acuáticas del estero de la Manzanilla, Jalisco, México. *Acta Zool. Mex.* 80:143-153.
13. ISACCH, J.P.; MARTÍNEZ, M.M. 2001. Estacionalidad y relaciones con la estructura del habitat de la comunidad de aves de pastizales de paja colorada (*Paspalum quadrifarium*) manejados con fuego en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ornitol. Neotrop.* 12:345-354.
14. MAHECHA, L.; GALLEGO, L.A.; PELÁEZ, F.J. 2002. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 15(2):213-225.
15. MORENO-BEJARANO, L.M.; ÁLVAREZ-LEÓN, R. 2003. Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el delta-estuario del río Magdalena, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(105):517-534.
16. MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; DA FONSECA, G.A.B.; KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403:853-858.
17. REMSEN, J.; CADENA, C.; JARAMILLO, A.; NORES, M.; PACHECO, J.; ROBBINS, M.T. 2008. A classification of the bird species of South America. *AOU*:10-65.
18. SÁENZ, J.C.; MENACHO, O.R.M. 2005. Riqueza y abundancia de las aves migratorias en paisajes agropecuarios de Esparza, Costa Rica. *Zeledonia*. 9(1):10-21.
19. SALINAS, L.; ARANA, C.; PULIDO, V. 2007. Diversidad, abundancia y conservación de aves en un agroecosistema del desierto de Ica, Perú. *Rev Perú Biol.* 13(3):155-167.

Recibido: Noviembre 23 de 2011

Aceptado: Abril 22 de 2012

CONOCIMIENTO LOCAL Y USOS DE LA FAUNA SILVESTRE EN EL MUNICIPIO DE SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA (CUNDINAMARCA, COLOMBIA)

LOCAL KNOWLEDGE AND WILDLIFE USES IN THE SAN ANTONIO DEL TEQUENDAMA MUNICIPALITY (CUNDINAMARCA, COLOMBIA)

Karin Osbahr¹, Nicole Morales²

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. E-mail: kosbahr@udca.edu.co ² Investigadora 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. E-mail: nicole.morales@javeriana.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 187- 197, 2012

RESUMEN

Tradicionalmente, los habitantes de la región andina han aprovechado los diferentes grupos de la fauna, tanto invertebrada como vertebrada; sin embargo, aunque la fauna en Colombia es bien conocida desde el punto de vista sistemático, existe un gran vacío de información en temas relacionados con los usos. El objetivo general de este estudio fue identificar la fauna silvestre conocida por los habitantes del municipio de San Antonio del Tequendama y evaluar la práctica que le dan desde sus saberes. A partir de encuestas aplicadas a la población rural y urbana, se encontraron seis tipos de aprovechamiento que involucran, especialmente, las clases Mammalia y Aves. La caza de subsistencia, el manejo como mascotas y las creencias o usos medicinales juegan un papel importante y son indicadores indispensables para fortalecer programas de conservación, que involucra a las comunidades locales.

Palabras clave: Índice de valor de uso, fauna silvestre, percepción cultural.

SUMMARY

Traditionally the inhabitants of the Andean region have taken advantage of the different groups of invertebrate and vertebrate fauna. However, although the fauna in Colombia is well known from the systematic point of view, there is a huge information gap on use related issues. The overall objective of

this study was to identify the knowledge of the inhabitants of the municipality of San Antonio del Tequendama and evaluate how they use wildlife. From surveys of rural and urban population six types of use were identified that involve especially mammals and birds. Subsistence hunting, use as pets and beliefs or medicinal uses play an important role and are indicators to strengthen conservation programs that involve local communities.

Key words: Use value index, wildlife, cultural awareness.

INTRODUCCIÓN

El complejo eco-regional de los Andes sobresale por su topografía única con variedad de pisos térmicos y rangos altitudinales (Morello, 1984; Rodríguez *et al.* 2006), dando origen no solo a una composición florística compleja sino también a un alto endemismo y diversidad biológica (Myers *et al.* 2000; Tobón, 2009). Estudios paleontológicos han permitido reconocer que, a partir del intercambio faunístico entre América del Norte y del Sur, que tuvo lugar en épocas del Plioceno y del Pleistoceno, diversos linajes de mamíferos y de aves, como los carnívoros (Ursidae, Mustelidae, Felidae), tapires (Tapiridae), pecaríes y venados (Tayassuidae y Cervidae), ardillas (Sciuridae), conejos (Leporidae), tinamúes (Tinamidae), loros y afines (Psittacidae), colibríes (Trochilidae) y pavas (Cracidae), se integraron a la fauna regional (Webb, 1978; Reig, 1981). Según Correal & van der Hammen (1977), a pesar de la variación climática y ambiental y de las actividades desarrolladas por el hombre primitivo,

los abrigos rocosos de la región del Tequendama, en el Departamento de Cundinamarca, han proporcionado, a través del tiempo, las condiciones óptimas, para que animales silvestres de los órdenes Rodentia, Didelphimorphia, Cingulata, Carnivora, Lagomorpha y Cetartiodactyla permanezcan todavía en la región, aún cuando su abundancia haya podido cambiar positiva o negativamente, debido a los efectos causados por las actividades antrópicas actuales. Tradicionalmente, los habitantes de la región andina han hecho uso de esta biodiversidad, incluyendo los diferentes grupos de la fauna invertebrada y vertebrada. Algunas de estas prácticas, se remontan a la época prehispánica durante, la cual, la recolección de subproductos, como la miel de abejas silvestres, de la cacería y de la pesca eran una fuente de alimentación (Patiño, 1990). Las excavaciones arqueológicas indican que durante esta época los habitantes de la Sabana de Bogotá y sus alrededores cazaban las comadreja (*Mustela frenata*), el borugo de páramo (*Cuniculus taczanowskii*), el coatí de montaña (*Nasuella olivacea*), el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), la zarigüeya (*Didelphis albiventris*) y algunas aves, entre ellas las pavas de monte (*Penelope sp.*), patos, loros y palomas (Correal & Pinto, 1983). Los lagos y los pantanos, a su vez, ofrecían una fuente de peces, como el capitán (*Eremophilus mutisii*), el capitán enano (*Pygidium bogotense*), los cangrejos sabaneros (*Neostrengeria macropa*) y algunos moluscos. Actualmente, muchas de estas prácticas han desaparecido, puesto que los bosques han sufrido una reducción del 74%, debido, en su mayoría, a actividades antrópicas, que no sólo han impactado las coberturas vegetales y las fuentes hídricas sino, también, a las poblaciones de fauna silvestre que los habitan (MMA/DNP/IAvH, 1995; FAO, 2001).

Aun cuando la fauna en Colombia es bien conocida desde el punto de vista sistemático, existe un gran vacío de información en temas relacionados con los usos, la valoración, el manejo y la conservación de la fauna silvestre, a nivel regional y local (Ojasti, 1993; 2000; Rubio-Torgler *et al.* 2000). Robinson & Redford (1991) identificaron cinco tipos de uso de los recursos en el Neotrópico: subsistencia, mercados locales, comercio, cacería deportiva y cosecha o rancheo; sin embargo, es posible que de acuerdo a las características sociales, culturales o económicas propias de cada comunidad, sea posible identificar otros modos de empleo regionales o locales (Ojasti, 1993; Stearman, 2000). Por ende, la valoración cultural de la fauna, se basa en el saber popular generado, bien sea por el contacto directo con las diferentes especies o por los conocimientos tradicionales adquiridos a lo largo del tiempo. La comunidad conoce lo que es importante para ella y la definición de esa importancia es relativa y subjetiva, dependiendo de la experiencia, el conocimiento, las necesidades y hasta de la relación de los costos y beneficios tangibles (Londoño-Betancourth, 2009).

El objetivo general de este estudio fue identificar la fauna silvestre conocida por los habitantes del municipio de San Antonio del Tequendama y evaluar el uso que le dan a partir de sus saberes. Para ello, la investigación se enfocó en estimar la importancia de los mamíferos y las aves silvestres, que por su tamaño y colores suelen ser más llamativos para los habitantes; sin embargo, también se tuvieron en cuenta los anfibios, los reptiles y algunos invertebrados (Arachnida, Malacostraca e Insecta), pues son animales usualmente categorizados como peligrosos y, por lo mismo, pueden presentar, incluso, una mayor amenaza. La información obtenida en esta investigación será de utilidad para los programas de educación ambiental, que actualmente se desarrollan en la zona, en conjunto con la comunidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de San Antonio del Tequendama (Provincia del Tequendama) está situado en el centro occidental del Departamento de Cundinamarca (Colombia), a 4° 37' 08" de latitud Norte y 74° 21' 14" de longitud Oeste. Limita al occidente con el municipio de El Colegio; al Norte, con Tena y Bojacá; al oriente, con Soacha y al sur, con Granada. Su temperatura y su precipitación media anual son de 20,3°C y 1482mm, respectivamente. Se encuentra entre los 1.503 y 1.900 msnm, lo que le confiere un clima frío en zonas altas, y templado y cálido, en zonas bajas, permitiendo que su economía se desarrolle en torno a la ganadería y a la agricultura, especialmente, frutera, cafetera y de plantas ornamentales y aromáticas (IGAC, 1996; CGR-CDSS, 2010). Actualmente, el municipio tiene un área de 8944,76ha, representadas por dos áreas urbanas (64,59ha): la cabecera municipal San Antonio y la inspección de policía Santandercito; dos áreas suburbanas (44,07ha): Pueblo Nuevo y Pradilla-Los Naranjos y un área rural constituida, por veintidós veredas (8828,24ha) (IGAC, 1996).

Esta investigación tuvo lugar en el área urbana de Santandercito (1.645m) y de San Antonio (1.503m) y en las veredas Arracachal (sector Castalia y Pin), Quintas Colombia y Cusió (sector La Cadena), del área rural de San Antonio, en cercanías del Zoológico de Santacruz. La información recolectada fue primaria y cualitativa (Briones, 2003). Se aplicaron encuestas a 278 habitantes, entre los 14 y 95 años de edad, con un tiempo de permanencia en las áreas de estudio, de dos meses en adelante. Las encuestas incluyeron información sobre la persona encuestada e información sobre la fauna como: animales que conoce, animales que ha visto en la región, animales que ha dejado de ver en la región, usos y percepciones (¿Qué haría al encontrar un animal de monte? y ¿Cómo considera a los animales de monte: peligrosos, útiles, dañinos y/o inofensivos?). La información obtenida fue sistematizada en matrices (Excel 2003) y analizada con el

método de análisis simple de la información. Por triangulación de fuentes (Geilfus, 1997), se obtuvo un listado potencial de especies de mamíferos y de aves, agrupadas por clase, orden y familia taxonómica, utilizando como base los nombres comunes mencionados por los pobladores y los datos de distribución registrados con respecto a la altitud de las áreas seleccionadas (1500-1800m), en Hilty & Brown (1986), Emmons (1990), Alberico *et al.* (2000), Morales-Jiménez *et al.* (2004), Wilson & Reeder, 2005, CI & MAVDT (2006), UICN (2010), McMullan *et al.* (2010) y Remsen *et al.* (2011).

Los datos sobre la fauna que los pobladores han visto y han dejado de ver en la región, se analizaron por clase taxonómica con respecto al número total de registros (TR) y de encuestas (TE). Adicionalmente, se relacionó el número total de especies vistas o dejadas de ver y el tiempo de permanencia de los pobladores en la región. Para establecer la relación entre la fauna identificada y sus usos, se aplicó el Índice de Valor de Uso General (IVU_{is}), que expresa la importancia o valor cultural de una especie determinada para todos los encuestados (Cotton, 1996). La fórmula aplicada fue:

$$IVU_{is} = \frac{\sum U_{is}}{n}$$

Donde: U_{is} es el número de usos mencionados por el encuestado; i , para la especie; s y, n es el número total de encuestados (Phillips & Gentry, 1993).

Los registros obtenidos para usos se organizaron en matrices, articulando, mediante análisis de variables cruzadas y la prueba de Chi cuadrado (χ^2), el tipo de uso, en relación a la región encuestada, la fauna involucrada y la clase taxonómica. Específicamente, para el uso medicinal, se relacionó: enfermedad y fauna empleada, y para creencias: creencia y fauna involucrada. Finalmente, con respecto al tema de percepciones, se tuvieron en cuenta las acciones o las consideraciones mencionadas por los encuestados en cada región, con respecto al total de encuestas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basado en los animales que la población mencionó haber visto en la región de San Antonio de Tequendama, se obtuvo un listado potencial, conformado por 89 especies de mamíferos, 51 terrestres y 38 voladoras, relacionadas a 50 nombres comunes y 90 especies de aves, relacionadas a 32 nombres comunes (Anexo 1). Los pobladores también mencionaron algunos reptiles (Clase Sauropsida), anfibios (Clase Amphibia) e Invertebrados (Clases Arachnida, Malacostraca e Insecta). La mayor frecuencia de registros calculada sobre el total de encuestas (TE) por localidad, se obtuvo para la Clase Mammalia (Tabla 1). En general, los pobladores de San Antonio y de Santandercito indicaron que la ardilla (*Sciurus* sp.), el borugo (*Cuniculus* sp.), la fara o runcho (*Didelphis* sp.), el armadillo (*Dasyprocta* sp.), la comadreja (*Mustela* sp.), el ñeque (*Dasyprocta* sp.), el oso perezoso (*Choloepus* sp.) y el conejo silvestre (*Sylvilagus* sp.) son vistos en la región

Tabla 1. Número de registros para cada clase taxonómica y proporciones con respecto al total de registros (TR) y al total de encuestas (TE) en cada zona visitada.

ÁREAS DE ESTUDIO						
Clase taxonómica	SAN ANTONIO			SANTANDERCITO		
	Número de registros	% registros (TR=846)	Frecuencia (TE=235)	Número de registros	% registros (TR=846)	Frecuencia (TE=43)
Mammalia	545	64,42	0,10	193	55,14	0,45
Aves	136	16,08	0,02	100	28,57	0,22
Sauropsida	117	13,83	0,04	46	13,14	0,19
Amphibia	4	0,47	0,01	2	0,57	0,05
Arachnida	37	4,37	0,03	9	2,57	0,09
Malacostraca	6	0,71	0,03	-	-	-
Insecta	1	0,12	0,004	-	-	-

en mayor proporción que otros mamíferos, como el tigrillo (*Felis* sp.), el oso hormiguero (*Tamandua* sp.), el coatí (*Nasua olivacea*), el perro de monte (*Potos flavus*), el venado (*Mazama* sp.) y el puercoespín (*Coendou* sp.). Por su parte, las aves más vistas en ambas regiones fueron la pava (Cracidae), las águilas (Accipitridae), el curruco o búho (Strigidae), los loros y pericos (Psittacidae), los canarios o chisgas (Fringillidae) y las palomas, tórtolas o torcazas (Columbidae); mientras que las menos vistos fueron la tingua (Rallidae), la guacharaca (Tinamidae), la gallineta (Cracidae), el pato silvestre (Anatidae), el tucán (Ramphastidae) y el golillon (especie no identificada).

El tiempo de permanencia en la región de los habitantes encuestados de ambos sexos osciló entre <20 (35,61%), 21-40 (32,74%), 41-60 (17,63%) hasta 60-81 (14,17%) años. El rango de animales reportados mostró una tendencia indirectamente proporcional, de acuerdo a este tiempo de permanencia, donde el mayor porcentaje se centró entre cero a cinco especies diferentes. Únicamente, el rango entre seis a diez especies presentes fue reportado por todas las categorías de permanencia en la región (Figura 1a). Adicionalmente, el 71,94% de los encuestados ha dejado de ver entre una

y tres especies, principalmente, de la Clase Mammalia, como *Choloepus* sp., *Cuniculus* sp. y *Dasyopus* sp. El 5,40% de los encuestados reportó entre cuatro y siete especies ausentes, mientras que el 22,66% asegura no extrañar a ninguna. Sobresale el hecho que los encuestados con más de 60 años de permanencia en la región indicaron la desaparición de hasta siete especies (Figura 1b). Es así como estos resultados muestran variaciones en la presencia y en la ausencia de especies faunísticas, a lo largo del tiempo. Aunque la aplicación de encuestas puede llevar a subestimaciones o sobrestimaciones de la riqueza y la abundancia, debido a posibles discrepancias entre las apreciaciones populares y las científicas (Fleck *et al.* 1999; Sánchez *et al.* 2004), la información aportada por los pobladores, que llevan diferentes periodos habitando la región, permite tener una visión histórica de la fauna local. Igualmente, ofrece información preliminar sobre el estado de conservación, partiendo de la percepción de los pobladores; sin embargo, es importante mencionar que durante el estudio se evidenció la influencia de la Fundación Zoológico Santacruz, puesto que durante las encuestas algunos pobladores mencionaron el jaguar (*Panthera onca*), cuya distribución no concuerda con el área de estudio.

Figura 1a

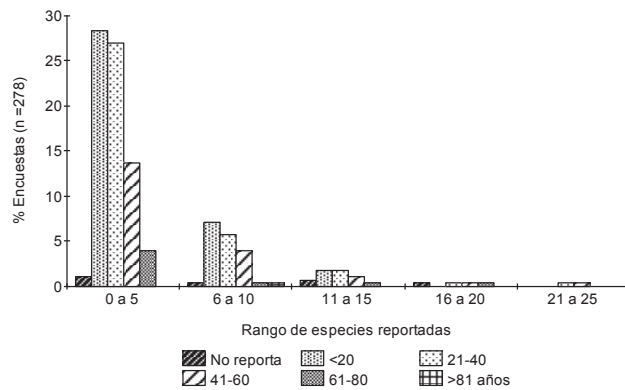


Figura 1b

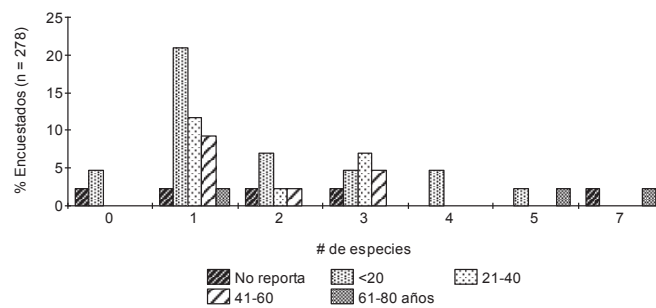


Figura 1. Relación entre el tiempo de permanencia en la región de San Antonio del Tequendama y número de especies reportadas. a) Número de especies presentes. b) Número de especies que han desaparecido en la zona.

La población de esta región del Tequendama identificó cinco tipos de uso directo, la fauna silvestre (mascota, caza por alimento, caza por deporte, comercio y medicinal) y un uso indirecto, el cual, asocia las creencias. En general, los pobladores de San Antonio involucraron, en su mayoría, la utilización de la fauna como mascotas, usos medicinales y creencias (TR = 76.82%, mientras que en Santandercito, el uso como mascotas, caza por alimento y creencias fue reportado en mayor proporción (TR = 76.06%). Las seis categorías de uso identificadas registraron valores superiores para la población de la zona urbana (Figura 2a); sin embargo, la prueba de Chi cuadrado no registró diferencias estadísticamente significativas para las categorías de uso, muestreadas de acuerdo a la zona rural o urbana ($X_2 = 6,30$; $gl = 4$; $p = 0,177$). Las Clases Mammalia y Aves fueron reportadas en cinco categorías de uso. En los mamíferos sobresale el aprovechamiento como alimento y mascotas, mientras que en las aves se reportaron mayor número de creencias y de usos medicinales (Figura 2b). Estas especies, con su respectivo Índice de Valor de Uso General, incluyen los géneros *Sciurus* sp. y *Sylvilagus* sp. (IUV = 0,06), los géneros *Cebus* sp., *Choloepus* sp. y las familias Cervidae y Canidae (IUV = 0,01), *Dasyprocta* sp. (IUV = 0,05) y *Didelphis* sp. (IUV = 0,04). El armadillo (*Dasyprocta* sp.) y el borugo (*Cuniculus* sp.) registraron el mayor Índice de Valor de Uso General (IUV = 0,15 y 0,10, respectivamente). En la Clase Aves, el uso se centró en las Familias Psittacidae (IUV = 0,06), Columbidae (IUV = 0,02) a la vez que en las familias Accipitridae, Turdidae, Trochilidae y Cuculidae (IUV = 0,01). El mayor valor cultural, se obtuvo para la categoría de medicina y de creencias Strigidae (IUV = 0,17) y Cathartidae (IUV = 0,14). La clase Sauropsida, con dos reptiles relacionados (serpientes y tortuga morrocoy) es empleada como mascota y las clases Arachnida, Malacostraca e Insecta, aunque presentaron pocos registros referente a los usos, están relacionadas con la caza deportiva, la medicina y algunas creencias (Figura 2b). En general, la proporción de fauna empleada en los cinco tipos de uso es del 3,23% (*Dasyprocta* sp.), en cuatro usos, del 6,45% (*Cuniculus* sp.), en tres usos, del 22,58% (Cathartidae), en dos usos, del 16,13% (Strigidae) y, en un uso, del 51,61%, indicando que, por lo general, las especies no están relacionadas con más de tres aspectos culturales de la comunidad.

Si bien es cierto que durante el presente estudio no se tuvo en cuenta el origen de la población encuestada es claro que el uso de la fauna se relaciona con procesos de colonización y con usos de la tierra, el cual, a su vez, se asocia con el origen y la costumbre de las poblaciones. De tal manera que el origen ancestral de la población urbana encuestada explicaría los resultados obtenidos que muestran que aún subsiste un fuerte arraigo hacia el uso tradicional de la fauna. En este contexto, la captura de mascotas sigue jugando un papel importante, involucrando, aunque en menor propor-

ción, a mamíferos pequeños y medianos, a aves y a reptiles. Igualmente, los resultados indican que los habitantes de las zonas estudiadas en la región del Tequendama aún mantienen sus actividades de caza de subsistencia para la obtención de carne principalmente de *Dasyprocta* sp., *Cuniculus* sp., *Dasyprocta* sp., *Sylvilagus* sp., y *Didelphis* sp., lo cual, corrobora lo expuesto por Baptiste *et al.* (2002), quienes exponen que la región andina, contrario a las creencias, aún aporta un volumen considerable en el aprovechamiento de la fauna silvestre. Igualmente, se vislumbra que en la región del Tequendama la presión ejercida sobre las poblaciones de las especies coincide con aquellas para las que se registró un mayor número de categorías de uso por parte de las comunidades. A su vez, los resultados concuerdan con los reportes de uso de fauna en los departamentos de Boyacá (García *et al.* 2002), Cundinamarca (Vélez-Sosa, 2004) y Risaralda (Londoño-Betancourth, 2009).

Adicionalmente, la población aplica la caza deportiva y comercial. Según Ojasti (2000), la primera, al igual que la de subsistencia, está dirigida hacia el autoconsumo, mientras que la comercial aporta bienes de cambio y resalta el valor económico de la fauna (FAO/PNUMA, 1994). La caza comercial, como actividad (legal o ilegal), socialmente aceptada y altamente difundida en América Latina, presenta una diversidad de matices que dependen del producto ofrecido: la carne, las pieles, animales vivos, artesanías o elementos para la medicina popular, la industria farmacéutica y actividades culturales, relacionadas con creencias y con rituales (Cordero, 1990; TCA, 1995), por lo que la demanda de especies silvestres es cada vez más alta y suele involucrar diversos mamíferos, como los cérvidos (cuernos), los carnívoros (pieles, dientes, garras, mascotas), los roedores (pieles, mascotas) y los primates (garras, mascotas); aves, principalmente, Psittaciformes y Passeriformes (plumas, mascotas) y reptiles (pieles, caparazón, dientes, mascotas) (Cordero, 1990; Payan *et al.* 2007; Angulo *et al.* 2009; Palacios-Mosquera *et al.* 2010).

A nivel de uso medicinal y creencias, la información proporcionada por los pobladores permitió obtener características puntuales, adquiriendo datos similares a los obtenidos por García *et al.* (2002), en el Departamento de Boyacá. Se identificó que para prácticas medicinales, se emplea la sangre del armadillo para curar el asma, la anemia y el dolor de cabeza; el caldo de runcho, para las alergias; la grasa del zorro, para los dolores y la gastritis; la sangre de chulo, para curar el cáncer y la anemia y, el caldo de grillo, para poder orinar. En el caso de las creencias, se dice que cuando el curruco o el tres-pies canta es porque alguien va a morir; si canta una mirla u otro pájaro es porque va a llover o se acerca el invierno; si se sueña con culebras es porque va a llegar una visita indeseable; si un abejorro entra a la casa o una libélula o mariposa negra se estaciona en la casa o aparece de sorpresa

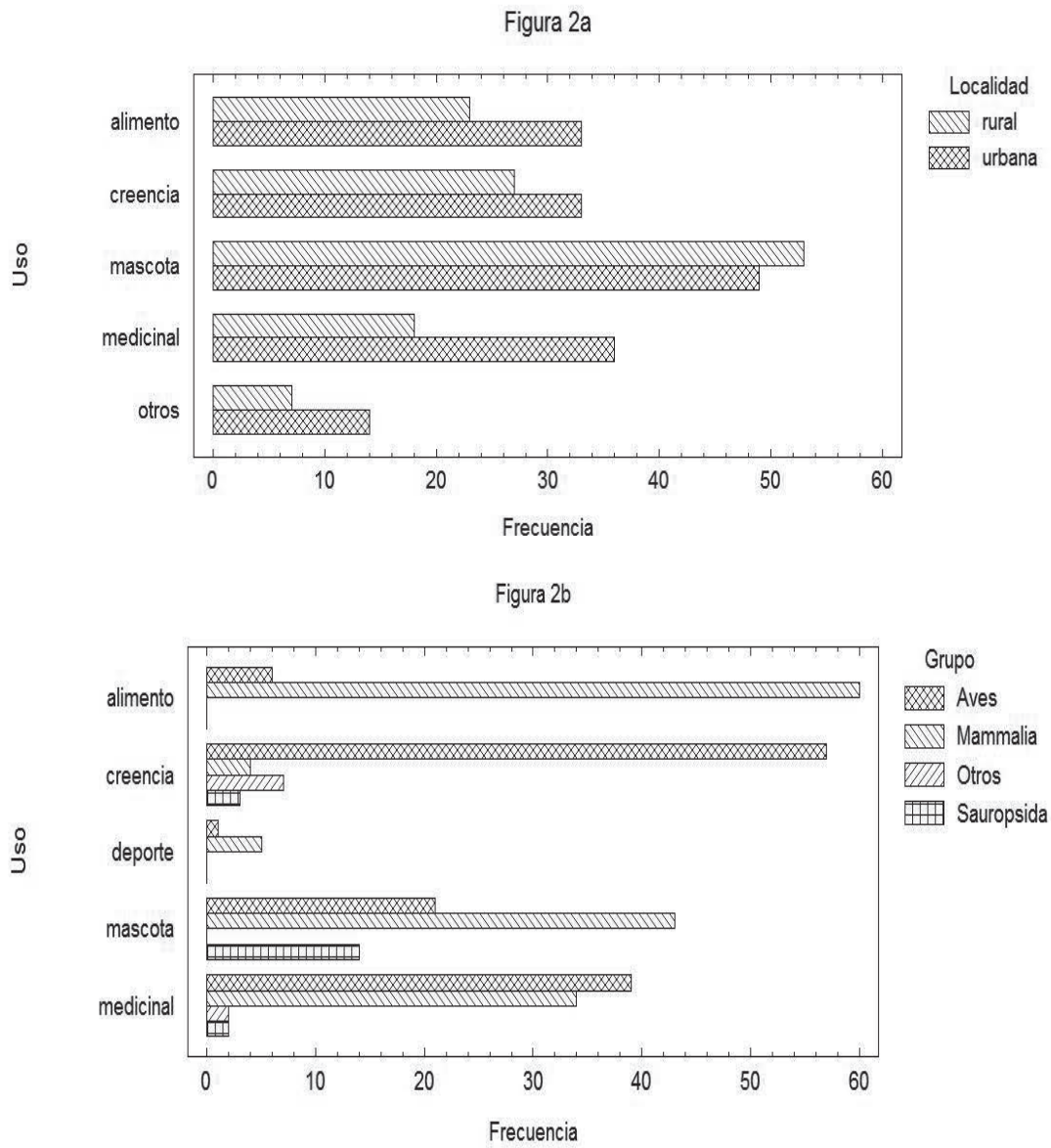


Figura 2. Categorías de uso de la fauna silvestre identificadas por los habitantes de la región de San Antonio del Tequendama. a) Distribución en zonas rurales y urbanas. b) Distribución de acuerdo al grupo taxonómico.

un colibrí o una araña es porque va a llegar visita. Raspar e ingerir los huesos del runcho es utilizado como afrodisiaco.

El estudio y la comprensión de estos tipos de uso a nivel local permiten tener una visión general de las especies de fauna silvestre presentes en la zona y una idea de la presión que la comunidad ejerce sobre las mismas. La utilidad de esta información en la planeación de estrategias de conservación y de uso sostenible de los recursos, a nivel local o

regional, se basa en las percepciones o consideraciones que la población, desde su cultura, tiene respecto a la fauna, ya que como lo describe el concepto de valoración cultural, la percepción y el conocimiento empírico y tradicional que tienen los pobladores respecto al comportamiento, apariencia o forma de vida de un animal en particular, puede influir significativamente en la reacción que esta tenga ante su presencia (Robinson & Redford, 1991; Ojasti, 2000; Vélez-Sosa, 2004); sin embargo, es importante tener en cuenta que las

percepciones frente a la fauna silvestre pueden estar basadas en suposiciones y no en razones justificadas. Con base en esto, los pobladores de San Antonio y Santandercito perciben la fauna silvestre, en primera instancia, como inofensiva (64,39%), aspecto que puede justificar el hecho que la mayoría de los encuestados hayan tenido animales silvestres como mascota; no obstante, al preguntarles qué harían al encontrar un animal de monte, el 73,02% respondió que lo dejaría libre y sólo el 14,39% respondió que lo usaría de mascota. Una explicación para estos resultados puede estar relacionada con los talleres de educación ambiental, que han surgido como iniciativas locales durante, los cuales, se recalca la importancia de conservar y de proteger las especies de fauna silvestre y su hábitat natural.

Para los pobladores de San Antonio, los animales de monte después de ser inofensivos son útiles, peligrosos y dañinos. Estas percepciones coinciden, a su vez, con las acciones mencionadas en las encuestas, pues en segundo lugar, ellos optarían por capturar el animal para mascota, lo llevarían al zoológico o lo matarían para alimento y, en tercer lugar, lo matarían si es venenoso, si los ataca o si se come a los animales domésticos. Sobresalen en este grupo, las especies de los Órdenes Rodentia y de las Familias Mustelidae y Didelphidae, mamíferos que encontraron en los asentamientos humanos una oportunidad de supervivencia y son consideradas como dañinas por entrar a los cultivos o comerse a las gallinas o como peligrosas, por su relación con la transmisión de enfermedades (Linares, 1976; López-Arévalo *et al.* 2002). Igualmente, al ser especies oportunistas son más abundantes alrededor de los asentamientos humanos, en comparación con otros lugares de bosque tropical, donde no hay asociación con el hombre. Otras especies involucradas en el conflicto humano-fauna silvestre son *Tremarctos ornatus*, *Puma concolor*, *Leopardus sp.* y *Cerdocyon sp.*, mamíferos presentes en la Región del Tequendama. Por su tamaño y por sus características ecológicas y morfológicas entran a competir por espacio con las actividades antrópicas o pasan a ser consideradas piezas valiosas para el comercio, convirtiéndose en objetos de caza por parte de los habitantes, lo cual, explica, en gran medida, la disminución de sus poblaciones naturales (Vélez-Sosa, 2004; Payan *et al.* 2007; Angulo *et al.* 2009; Dickman, 2010).

Aún cuando durante el estudio no se evaluó la frecuencia de la cacería, por lo cual, posiblemente es ocasional, es claro que junto con el uso considerable de la fauna como mascotas en la zona urbana se viene ejerciendo una presión significativa sobre las poblaciones de aves y de mamíferos, por lo que se requiere de especial atención de estos temas en los programas de educación ambiental, que se desarrollan en San Antonio del Tequendama. Indudablemente, a largo

plazo estas actividades, se reflejarán en el fortalecimiento de planes de conservación de la fauna silvestre.

Agradecimientos: Agradecemos a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la U.D.C.A Clara Marcela Rodríguez Moreno, Erika Milena Mayorga Torres, Marcela Castiblanco, Alejandro Cardozo, Jaime Buitrago, Daniel Mauricio Díaz Molano, Yeison Vera Vallejo y Daniel Bohórquez quienes aplicaron las encuestas en las áreas estudiadas; a los habitantes quienes muy cordialmente aportaron sus conocimientos; a Santiago Calvo, por la sistematización de la información y, finalmente, al Zoológico Santacruz, por facilitar el trabajo con los habitantes e incluir los resultados de la investigación en sus talleres de Educación Ambiental. **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. ALBERICO, M.; CADENA, A.; HERNÁNDEZ-CAMACHO, J.; MUÑOZ-SABA, Y. 2000. Mamíferos (Synapsida: Theria) de Colombia. *Biota Colombiana*. 1(1):43-75.
2. ANGULO, E.; DEVES, E.; JALMES, M.; COURCHAMP, F. 2009. Fatal attraction: rare species in the spotlight. *Proc. Royal Soc.* 276:1331-1337.
3. BAPTISTE-BALLERA, L.G.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, S.; POLANCO-OCHOA, R.; QUICENO-MESA, M.P. 2002. La fauna silvestre colombiana: una historia económica y social de un proceso de marginalización. En: Ulloa, A. (ed.). *Rostros culturales de la fauna*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia, Fundación Natura. p.295-340.
4. BRIONES, G. 2003. *Métodos y técnicas de investigación para las ciencias sociales*. Ed. Trillas (México). 364p.
5. CGR-CDSS. 2010. Sistema general de participaciones – Municipio de San Antonio del Tequendama. Contraloría General de la República. 34p.
6. CI – Conservación Internacional; MAVDT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2006. Libro rojo de los mamíferos de Colombia. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Eds. Rodríguez-Mahecha, J.V., Alberico, M., Trujillo, F. & Jorgenson, J. (Bogotá, Colombia). 433p.

7. CORDERO, R. 1990. Aprovechamiento de la fauna silvestre en Barlovento, Estado Miranda, Venezuela. *Vida Silv. Neotrop.* 2(2):70-74.
8. CORREAL, U.G.; van der HAMMEN. 1977. Investigaciones arqueológicas en los abrigos rocosos del Tequendama. Ed. Fondo de promoción de la cultura del Banco Popular (Bogotá, Colombia). 194p.
9. CORREAL, G.; PINTO, M. 1983. Investigaciones arqueológicas en el municipio de Zipacón, Cundinamarca. Fundación de Investigaciones Arqueológicas Nacionales, Banco de la República. 58p.
10. COTTON, C. 1996. *Ethnobotany. Principles and Applications.* Ed. John Wiley & Sons (New York, U.S.A). 424p.
11. DICKMAN, A.J. 2010. Complexities of conflict: the importance of considering social factors for effectively resolving human-wildlife conflict. *Animal Conserv.* 13:458-466.
12. EMMONS, L. 1990. *Neotropical Rainforest Mammals, A Field Guide.* Ed. The University of Chicago Press (London). 281p.
13. FAO. 2001. Causas y tendencias de la deforestación en América Latina. Documento de trabajo 52. Programa de Evaluación de Recursos Forestales (Roma). 91p.
14. FAO/PNUMA. 1994. Estado de conservación de la fauna Silvestre del Cono Sur Sudamericano. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe (Santiago, Chile). 120p.
15. FLECK, D.W.; VOSS, R.S.; PATTON, J.L. 1999. Biological basis of saki (*Pithecia*) folk species recognized by the Matses Indians of Amazonian Perú. *Int.J. Primat.* 20:1005-1008.
16. HILTY, S.L.; BROWN, B. 1986. *A guide to the birds of Colombia.* Princeton University Press. 836p.
17. GARCÍA, G.A.; PERICO, D.; ROCHA, C. 2002. Uso de la fauna silvestre en los alrededores del cerro de Mama-pacha (Boyacá-Colombia). En: Durán, C.; Castaño, U. (Eds. Páramos. Memorias Congreso Mundial de Páramos. Editorial Gente Nueva, p.887-899.
18. GEILFUS, F. 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. GTZ, IICA-Holanda Laderas. 293p.
19. IGAC. 1996. *Diccionario geográfico de Colombia.* Tomo III. Ed. IGAC (Bogotá, Colombia). 615p.
20. LINARES, O.F. 1976. "Garden hunting" in the American tropics. *Human Ecol.* 4:331-349.
21. LONDOÑO-BETANCOURTH, J.C. 2009. Valoración cultural del uso e importancia de la fauna silvestre en cautividad en tres barrios de Pereira (Risaralda). *Bol. Cient. Museo Hist. Nat.* 13(1):33-46.
22. LÓPEZ-ARÉVALO, H.F.; MORALES-JIMÉNEZ, A.L.; MATALLAN, C. 2002. Aproximación a los efectos de las actividades antrópicas sobre la fauna de vertebrados del páramo Colombiano. Durán, C.; Castaño, U. (Eds.). *Congreso Mundial Páramos.* Ed. Gente Nueva. p.465-479.
23. MMA – Ministerio del Medio Ambiente; DNP – Departamento de Planeación Nacional; IAvH –Instituto Alexander von Humboldt. 1995. *Política Nacional de Biodiversidad.* 34p.
24. McMULLAN, M.; DONEGAN, T.; QUEVEDO, A. 2010. *Field guide to the birds of Colombia.* Fundación ProAves. 228p.
25. MORALES-JIMÉNEZ, A.L.; SÁNCHEZ, F.; POVEDA, K.; CADENA, A. 2004. *Mamíferos terrestres y voladores de Colombia, Guía de campo.* Ed. Ramos López (Bogotá, Colombia). 248p.
26. MORELLO, J. 1984. *Perfil ecológico de Sudamérica.* Ed. Cultura Hispánica (Barcelona, España). 96p.
27. MYERS, N.M.; MITTERMEIER, R.; da FONSECA, G.; KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
28. OJASTI, J. 2000. Manejo de Fauna Silvestre Neotropical. En: Dallmeier, F. (ed.). *SIMAB Series (5).* Smithsonian Inst./MAB Program (Washington D.C). p.73-106.
29. OJASTI, J. 1993. Utilización de la fauna silvestre en América Latina. Situación y perspectivas para un manejo sostenible. Vol. 25. Ed. Food & Agricultura Org. (Roma, Italia). 248p.
30. PALACIOS-MOSQUERA, L.; MENA-ROJAS, O.P.; SÁNCHEZ-LOZANO, L.E. 2010. Uso tradicional de osos perezosos (*Bradypus variegatus* y *Choloepus hoffmanni*) en seis municipios del departamento del Chocó, Colombia. *Bioetnia.* 7(1):4-9.

31. PATIÑO, V.M. 1990. Alimentos indígenas de origen animal. En: Historia de la cultura material en América equinoccial. Tomo I. Alimentación y alimentos. Instituto Caro y Cuervo, Biblioteca Ezequiel Uricoecha, Bogotá. p.120-163.
32. PAYAN, E.; MESA, M.P.Q.; FRANCO, A.M. 2007. Los felinos como especies focales y de alto valor cultural. Serie especies colombianas 7. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 15p.
33. PHILLIPS, O.; GENTRY, A. 1993. The useful plants of Tambopata, Perú: I. Statistical Hypothesis test with a new quantitative technique. Soc. Econom. Bot. 47(1):15-32.
34. REIG, O.A. 1981. Teoría del origen y desarrollo de la fauna de mamíferos de América del Sur. Nature (Mar del Plata) 1:1-162.
35. REMSEN, J.V. Jr.; CADENA, C.D.; JARAMILLO, A.; NORES, M.; PACHECO, J.F.; PÉREZ-EMÁN, J.; ROBBINS, M.B.; STILES, F.G.; STOTZ, D.F.; ZIMMER, K.J. 2011. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. Version 8. Disponible desde Internet en <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html> (con acceso el 16/08/2011).
36. ROBINSON, J.; REDFORD, K.H. 1991. Neotropical Wildlife use and conservation. Ed. The University of Chicago Press (Londres). 520p.
37. RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; MORALES, M.; ROMERO, M. 2006. Ecosistemas de los Andes colombianos. 2da. Ed. Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (Bogotá, Colombia). 154p.
38. RÚBIO-TORGLER, H.; ULLOA, A.; CAMPOS-ROZO, C. 2000. Manejo de la fauna de caza, una construcción a partir de lo local. Fundación Natura, UASPNN, OEI, ICANH, WWF Bogotá. 160p.
39. SÁNCHEZ, F.; SÁNCHEZ-PALOMINO, P.; CADENA, A. 2004. Inventario de mamíferos en un bosque de los Andes Centrales de Colombia. Caldasia 26(1):291-309.
40. STEARMAN, A.M. 2000. A pound of flesh: Social change and modernization as factors in hunting sustainability among Neotropical indigenous societies. En: Robinson, J.G.; Bennett, E.L. (eds). Hunting for sustainability in tropical forests. Ed. Columbia University Press (New York), p.233-250.
41. TCA. 1995. Uso y conservación de la fauna silvestre en la Amazonia. Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría Pro-Tempore (Lima). 216p.
42. TOBÓN, C. 2009. Los bosques andinos y el agua. Serie investigación y sistematización #4. Ed. ECOBONA (Quito). 64p.
43. UICN. 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. Disponible desde Internet en: <http://www.iucnredlist.org> (con acceso 16/03/2011).
44. VÉLEZ-SOSA, M. 2004. Diagnóstico del uso de fauna silvestre en las veredas Mundo Nuevo, el Manzano y la Jangada en la reserva forestal protectora de los ríos Blanco y Negro en el municipio de La Calera, Cundinamarca, Colombia. Memorias Congreso de Manejo de Fauna Silvestre en Amazonia y Latinoamérica. p.330-335.
45. WEBB, S.D. 1978. A history of savanna vertebrates in the New World. Part II South America and the great interchange. Ann. Rev. Ecol. Syst. 9:393-426.
46. WILSON, D.E.; REEDER, D.M. 2005. Mammal species of the World. Third Edition. The John Hopkins University Press. 1945p.

Recibido: Junio 19 de 2011

Aceptado: Enero 25 de 2012

Anexo 1. Listado potencial de especies de mamíferos y aves presentes en el Municipio de San Antonio del Tequendama. Los nombres comunes agrupan las especies identificadas por los pobladores.

MAMMALIA						
Taxón	Nombres comunes	Taxón	Nombres comunes	Taxón	Nombres comunes	Taxón
DIDELPHIMORPHIA				PRIMATES		RODENTIA
Didelphidae		<i>Miconycteris microtis</i>		Atelidae		Sciuridae
<i>Caluromys (Mallodiphus) lanatus</i>		<i>Phyllotomus discolor</i>		<i>Alouatta seniculus</i>	Mono cotudo	<i>Sciurus pucheranii</i>
<i>Chironectes minimus</i>		<i>Phyllotomus hastatus</i>		Aotidae		Cuniculidae
<i>Didelphis albiventris</i>	Chucha, Mar-teja, Runcho, Zanigüeya, Fara, Comadreja	<i>Lophostoma silvicolum</i>		<i>Aotus lemurinus</i>	Dormilón	<i>Cuniculus paca</i>
<i>Didelphis marsupialis</i>		<i>Vampyrum spectrum</i>		Cebidae		<i>Cuniculus taczanowskii</i>
<i>Marmosops fuscatus</i>		<i>Anoura caudifer</i>		<i>Cebus albifrons versicolor</i>	Mono, Mico	Dasyproctidae
<i>Metachinus nudicaudatus</i>		<i>Anoura cultrata</i>				<i>Dasyprocta punctata</i>
<i>Micoureus regina</i>		<i>Anoura Geoffroyi</i>		CARNIVORA		
<i>Monodelphis adusta</i>		<i>Anoura Luismanueli</i>		Canidae		Erethizontidae
<i>Philander opossum</i>		<i>Choeronscus godmani</i>		<i>Cercocyon thous</i>	Zorro, Zorro de monte, Zaina	<i>Coendou bicolor</i>
		<i>Glossophaga soricina</i>		<i>Urocyon cinereoargenteus</i>		<i>Coendou prehensilis</i>
		<i>Lonchophylla robusta</i>		Ursidae		<i>Coendou quichua</i>
PILOSA		<i>Carollia brevicauda</i>		<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso de anteojos	<i>Echinoprocta rufescens</i>
Bradyrodidae		<i>Carollia castanea</i>		Procyonidae		<i>Sphiggurus pruinosus</i>
<i>Bradyrodus variegatus</i>		<i>Carollia perspicillata</i>		<i>Potos flavus</i>	Perro de monte	<i>Sphiggurus vestitus</i>
Megalonychidae		<i>Stumira litum</i>	Murciélago	<i>Nasua nasua</i>	Cusumbo, Coati, Guache, Runcho	
<i>Choloepus hoffmanni</i>		<i>Aritebus lituratus</i>		<i>Nasuella olivacea</i>		
<i>Choloepus didactylus</i>		<i>Aritebus hartii</i>		Mustelidae		LAGOMORPHA
Myrmecophagidae		<i>Platyrrhinus dorsalis</i>		<i>Eira barbara</i>	Comadreja, Zorro	Leponidae
<i>Myrmecophaga tridactyla</i>		<i>Platyrrhinus helleri</i>		<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
<i>Tamandua mexicana</i>		<i>Desmodus rotundus</i>	Oso hormiguero	<i>Mustela frenata</i>	Comadreja	<i>Sylvilagus floridanus</i>
Cyclopedidae		Vespertilionidae		Felidae		
<i>Cyclopes didactylus</i>		<i>Eptesicus brasiliensis</i>		<i>Leopardus pardalis</i>		
		<i>Sciurus granatensis</i>	Marteja	<i>Leopardus tigrinus</i>	Tigrillo	
CINGULATA		<i>Histioteus humboldti</i>		<i>Leopardus wiedii</i>		
Dasypodidae		<i>Histioteus montanus</i>		<i>Puma concolor</i>	Puma, León	
<i>Dasydus nouemcinctus</i>		<i>Lasturus blossevillii</i>		<i>Puma yagouaroundi</i>	Gato de monte	
<i>Cabassous centralis</i>		<i>Lasturus ega</i>	Armadillo, Guire			
		<i>Myotis albescens</i>				
		<i>Myotis nigricans</i>				
CHIROPTERA		<i>Myotis riparius</i>		CETARTIODACTYLA		
Emballonuridae		Molossidae		Tayassuidae		
<i>Peropteryx kappleri</i>		<i>Eumops auripendulus</i>		<i>Pecari tajacu</i>	Zaino, Pecari, Puerco de monte	
Noctilionidae		<i>Eumops glaucinus</i>		<i>Tajassu pecari</i>		
<i>Noctilio albiventris</i>		<i>Molossus rufus</i>		Cervidae		
Phyllostomidae		<i>Nyctinomops aurispinosus</i>	Murciélago	<i>Mazama americana</i>	Venado	
<i>Lonchorhina aurita</i>		<i>Nyctinomops macrotis</i>		<i>Odocoileus virginianus</i>		

Las especies marcadas con (*) indican aves migratorias con presencia esporádica en la zona.

CLASE AVES						
Taxón	Nombre común	Taxón	Nombre común	Taxón	Nombre común	Taxón
TINAMIFORMES		GALLIFORMES		APODIFORMES		
Thamidae		Cracidae		Trochilidae		
<i>Nothocercus julius</i>	Gallineta	<i>Aburria aburri</i>	Guacharaca, Pava silvestre	<i>Adelomyia melanogenys</i>		
CICONIIFORMES		<i>Chamaepetes goudotii</i>		<i>Aglaiocercus kingi</i>		
Ardeidae		<i>Penelope montagnii</i>		<i>Amazilia cyanifrons</i>		
<i>Butorides striata</i>		GRUIFORMES		<i>Amazilia franciae</i>		
<i>Bubulcus ibis</i>		Rallidae		<i>Amazilia tzacatl</i>		
<i>Ardea herodias</i>	Garzas	<i>Aramides cajaneus</i>	Tingua	<i>Anthracothorax nigricollis</i>		
<i>Egretta caerulea</i>		COLOMBIFORMES		<i>Boissonneaua flavescens</i>		
<i>Egretta thula</i>		Columbidae		<i>Chaetocercus heliodor</i>		
<i>Nycticorax nycticorax</i>		<i>Columbina passerina</i>		<i>Chlorostilbon poortmani</i>		
ANSERIFORMES		<i>Geotrygon linearis</i>		<i>Coeligena coeligena</i>		
Anatidae		<i>Patagioenas cayennensis</i>	Paloma, Torcaza, Tócola, Abuelita	<i>Coeligena torquata</i>		
<i>Anas acuta</i>	Pato silvestre	<i>Patagioenas fasciata</i>		<i>Colibri coruscans</i>		
FALCONIFORMES		<i>Zenaidura macroura</i>		<i>Colibri delphinae</i>		
Cathartidae		PSITTACIFORMES		<i>Colibri thalassinus</i>		
<i>Cathartes aura</i>	Chulo	Psittacidae		<i>Doryfera ludovicae</i>		Toche, Turplal
<i>Coragyps atratus</i>		<i>Pionus chalcopterus</i>		<i>Metallura tyrianthina</i>		
ACCIPITRIFORMES		<i>Pionus menstruus</i>		<i>Phaethornis guy</i>		
<i>Buteo magnirostris</i>		<i>Pionus tumultuosus</i>	Pericos, Loros	<i>Schistes geoffroyi</i>		
<i>Accipiter bicolor</i>		<i>Pyrhura calliptera</i>		<i>Thaluranta colombica</i>		
<i>Accipiter striatus</i> *		CUCULIFORMES		PICIFORMES		
<i>Buteo platypterus</i> *		Cuculidae		Thraupidae		
<i>Elanus leucurus</i>		<i>Tapera naevia</i>	Tres-pies	<i>Thraupis episcopus</i>		Azulejo
<i>Pandion haliaetus</i>		STRIGIFORMES		<i>Ramphocelus dimidiatus</i>		Cardenal
FALCONIDAE	Águilas	<i>Strigidae</i>		<i>Emberizidae</i>		
<i>Caracara cheriway</i>		<i>Tyto alba</i>	Lechuza	<i>Zonotrichia capensis</i>		Copetón
<i>Falco peregrinus</i> *		<i>Ciccaba albitarsis</i>		<i>Sicalis flaveola</i>		Canario
<i>Falco rufifigularis</i>		<i>Megascops choliba</i>	Curnuco, Buho	FINGILLIDAE		
<i>Falco sparverius</i>		<i>Pseudoscops clamator</i>		<i>Carduelis psaltria</i>		Chisga
<i>Herpethores cachinans</i>		PASSERIFORMES				
<i>Mitrago chimachima</i>		Hirundinidae				
		<i>Hirundo rustica</i> *				
		<i>Petrochelidon pyrrhonola</i> *				
		<i>Progne tapera</i>				

Las especies marcadas con (*) indican aves migratorias con presencia esporádica en la zona.

INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO POR HARINA DE QUINOA Y PAPA EN LAS PROPIEDADES TERMOMECAÑICAS Y DE PANIFICACIÓN DE MASAS

INFLUENCE OF THE PARTIAL SUBSTITUTION OF WHEAT FLOUR FOR QUINOA AND POTATO FLOUR ON THE THERMOMECHANICAL AND BREADMAKING PROPERTIES OF DOUGH

Eduardo Rodríguez-Sandoval¹, Alexandra Lascano², Galo Sandoval³

¹Ingeniero Químico, Doctor en Ingeniería. Docente Asociado. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Núcleo el Volador. Medellín, Antioquia - Colombia. Email: edrodriguez@unal.edu.co ²Ingeniera de Alimentos. Unidad Operativa de Investigación en Tecnología de Alimentos (UOITA). Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Tungurahua - Ecuador. Email: alexlasca4@hotmail.com ³Ingeniero de Alimentos. Investigador de la Unidad Operativa de Investigación en Tecnología de Alimentos (UOITA). Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Tungurahua - Ecuador. Email: sandovalgalo@yahoo.es

Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient. 15(1): 199 - 207, 2012

RESUMEN

Las importaciones de trigo para panificación se podrían disminuir utilizando harinas de otros recursos amiláceos, como la papa y la quinoa. En este trabajo, se evaluaron las propiedades termomecánicas de la masa y las características físicas del pan elaborado con harina compuesta de quinoa-trigo y papa-trigo. Los porcentajes de sustitución aplicados fueron de 10 y 20%, tanto para la harina de papa como para la de quinoa. Las propiedades funcionales de las harinas, se midieron mediante el índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH). Las propiedades termomecánicas de las harinas compuestas, se estimaron empleando un Mixolab y las características físicas evaluadas en el producto final fueron peso, altura, ancho y volumen. Los resultados arrojaron que los mayores valores de IAA (4,48), ISA (7,45%) y PH (4,84) fueron para la harina de papa. La harina compuesta con quinoa presentó los menores valores de asentamiento y estabilidad de la cocción, lo cual, es un buen indicador de conservación del pan. Por el contrario, la harina compuesta de papa-trigo mostró los menores valores de estabilidad, torque mínimo y torque de pico y el mayor porcentaje de absorción de agua. La harina compuesta de papa-trigo, con un grado de sustitución de 10%, presentó los resultados de peso (133,86 g), ancho (6,01 cm) y volumen (491,67 g/cm³), más parecidos a la muestra control de harina de trigo.

Palabras clave: Mixolab, reología, harina compuesta, almidón.

SUMMARY

The imports of wheat for breadmaking could be reduced by using flour from other starch sources such as potato and quinoa. The thermomechanical properties of dough and the physical characteristics of bread, made from quinoa-wheat and potato-wheat composite flours were evaluated in this study. The percentages of substitution used were 10 and 20% for both potato and quinoa flour. The functional properties of flours were measured by the water absorption index (IAA), water solubility index (ISA) and swelling power (PH). The thermomechanical properties of composite flours were assessed using a Mixolab and the baking quality characteristics evaluated of the final product were weight, height, width and volume. The results showed that the higher values of IAA (4.48), ISA (7.45%) and PH (4.84) were for potato flour. Quinoa-wheat composite flour presented the lower setback and cooking stability data, which is a good indicative of shelf life of bread. On the other hand, potato-wheat composite flour showed the lower stability, minimum torque and peak torque, and the higher water absorption. Potato-wheat composite flour substituted for 10%, presented the weight (133.86g), width (6.01cm) and volume (491.67g/cm³) results more similar to wheat bread.

Key words: Mixolab, rheology, composite flour, starch.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de países Andinos existe un amplio desbalance entre la producción y la demanda del grano para abastecer las necesidades internas de harina de trigo, utilizada en panificación. Las principales causas son la falta de tierras adecuadas para el cultivo del cereal, los bajos rendimientos, los precios internacionales fluctuantes, los subsidios y la tecnología de los países desarrollados (Henao-Osorio & Aristizábal-Galvis, 2009). Una alternativa para reemplazar parte de estas importaciones sería sustituir la harina de trigo, utilizada en productos de panificación, por harinas provenientes de otros recursos amiláceos, como cereales diferentes, raíces, tubérculos y leguminosas; sin embargo, las propiedades específicas de la harina de trigo la hacen indispensable en la preparación de productos aireados, tales como el pan, por la habilidad de sus proteínas (gluten) para formar una red continua, que se puede extender y retener burbujas de gas, producidas durante la fermentación (Scanlon & Zghal, 2001).

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un pseudocereal originario de Suramérica y se cultiva, principalmente, en Perú, en Bolivia, en Ecuador y en el sur de Colombia. Existe un especial interés en este pseudocereal, debido a su alto contenido en proteína y minerales (Park & Morita, 2005). Su composición proximal varía con el cultivar, pero, en general, presenta de 10 a 18% de proteína, de 4 a 8%, de grasa, de 54 a 64% de carbohidratos, de 2 a 4% de cenizas y de 2 a 5% de fibra cruda. Su balance de aminoácidos es mejor que en el trigo y el maíz, porque la lisina, principal aminoácido limitante, se muestra en cantidades considerables (Lorenz & Coulter, 1991). Prevalecen diferentes investigaciones, en las cuales, se ha empleado la harina de quinoa para la producción de pan, teniendo muy buenos resultados, con sustituciones menores al 10% (Lorenz & Coulter, 1991; Chauhan *et al.* 1992; Morita *et al.* 2001; Park *et al.* 2005; Rosell *et al.* 2009).

Por otro lado, la papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los productos básicos más cultivados y consumidos del planeta, después del trigo, el arroz y el maíz (Navarre *et al.* 2011). La papa contiene una buena calidad de proteína, de fibra dietaria, de minerales y de poca o despreciable cantidad de grasa (Misra & Kulshrestha, 2003). La harina de papa, se ha convertido en el producto con valor agregado más difundido, debido a su versatilidad, ya que funciona como mejorador de sabor, del color y como espesante; además, se ha manipulado en salsas, en productos de panadería, en extruidos, en pasabocas y en sopas instantáneas, entre otros (Yadav *et al.* 2006). En el proceso de elaboración de pan, la papa se puede adicionar a la harina de trigo como almidón y/o harina nativa o precocida. Los resultados más adecuados en la sustitución

con papa, se han encontrado por debajo de 20%, puesto que en niveles superiores producen panes con características inaceptables, en términos de volumen, de textura y de sabor (Cerón *et al.* 2011; Greene & Bovell-Benjamin, 2004). Kaack *et al.* (2006) concluyeron que una fibra de papa solubilizada y secada por aspersión, se puede utilizar para sustituir un 12% de harina de trigo en la elaboración de pan, con buenas características organolépticas.

Las propiedades reológicas de la masa pueden predecir el comportamiento del producto en panificación si el esfuerzo aplicado y la deformación están en el mismo rango de las utilizadas en el procesamiento real. Además, las características de empastamiento, se correlacionan con el envejecimiento del pan (Collar, 2003). Uno de los equipos que se ha empleado, últimamente, para evaluar las materias primas utilizadas en panificación es el Mixolab, el cual, permite caracterizar el comportamiento fisicoquímico y reológico de las masas cuando se someten simultáneamente a mezclado y a temperaturas programadas. Por consiguiente, es posible registrar los cambios mecánicos, debido al mezclado y al calentamiento, así como el trabajo mecánico y las condiciones de calor que se podrían esperar durante el proceso de horneado (Rosell *et al.* 2007). Teniendo en cuenta lo expuesto, se propone en este trabajo evaluar el perfil termomecánico de las harinas compuestas y las características del pan elaborado con una sustitución del 10 y 20% de harina de quinoa y de papa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima: Se utilizó harina de trigo fortificada con calcio, con tiamina, con riboflavina, con niacina, con hierro y con ácido fólico, proveniente de Molinos del Ecuador C.A. (Guayaquil, Ecuador) y papa de la variedad Gabriela, cultivada en Quero, provincia de Tungurahua, Ecuador (altura > a 3000msnm). La papa fue seleccionada y lavada con agua potable; posteriormente, se le retiró la cáscara con un pelador de papa abrasivo (Proingal, Quito - Ecuador), se dejó en una solución de NaCl (4%p/p), por 5 min y se cortó en bastones de 3 a 5cm de largo y 1cm de ancho, que se agregaron a una solución de eritorbato de sodio (0,4% p/p), por 15 min. La precocción de los trozos de papa, se realizó en una autoclave a 105°C, durante 6 min. Luego, las muestras se secaron a 45°C, hasta un contenido de humedad de 10 a 13%. Los bastones secos se molieron en un molino de discos (Proingal, Quito, Ecuador). La harina obtenida, se clasificó en un tamizador (Proingal, Quito, Ecuador) hasta obtener un tamaño de partícula menor a 180µm. La harina de papa, se almacenó en bolsas de polietileno de alta densidad (Sandoval, 2007).

La quinoa, variedad Tuncahuán, fue adquirida en Colta, provincia de Chimborazo, Ecuador, cultivada a 2800msnm. Los granos se seleccionaron, se limpiaron y se acondicionaron para mejorar la separación del endospermo

del pericarpio. El acondicionamiento consistió en remojar los granos hasta que alcanzaran una humedad del 16%. El grano, se molió al pasar por cilindros de rotura, con un ángulo de inclinación específico, para mantener un nivel equilibrado entre extracción y cenizas. En la molienda, se controló el sobrecalentamiento, para prevenir daños en la proteína y evitar un exceso de deshidratación. La harina integral, se clasificó en un tamizador (Proingal, Quito, Ecuador), hasta obtener un tamaño de partícula menor a 180mm. Las dos harinas, se mezclaron con la harina de trigo, en proporciones de 10 y 20% (p/p), tomando como criterio ensayos preliminares de panificación y de estudios realizados previamente (Cerón *et al.* 2011; Park & Morita, 2005).

Propiedades fisicoquímicas: El contenido de humedad de la harina de trigo, de la papa y de la quinoa, se determinó en un analizador de humedad (MLS50-3, Kern & Son GmbH, Balingen, Alemania). El resultado fue el promedio de tres repeticiones. Las pruebas de índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. El método que se siguió para la determinación de IAA, ISA y PH fue tomado de Anderson *et al.* (1969), con algunas modificaciones. La harina, se pasó por una malla de 180mm, para normalizar el tamaño de la muestra. 0,5g (b.s.) de muestra, se pesaron en tubos de centrifuga, utilizando una balanza analítica (BBL31 Boeco, Beockel+Co, Alemania). Se adicionó 6ml de agua destilada a 30°C y se incubó en el baño con agitación (WiseBath, Wisd Laboratory Instruments, USA), durante 30 min. Posteriormente, se centrifugó a 5000 rpm, por 20 min, en una centrifuga (EBA 12, Hettich Zentrifugen, Tuttlingen, Alemania). El sobrenadante se decantó, se midió su volumen, se filtró y se tomó 2ml de filtrado para secarlo a 90°C, por 4 h. El gel retenido en los tubos se pesó. El IAA, ISA y PH, se determinaron de acuerdo a las ecuaciones No.1, 2 y 3. Los ensayos se realizaron por triplicado.

$$IAA = \frac{\text{Peso.gel}(g)}{\text{Peso.muestra}(g)} \quad (1)$$

$$ISA(\%) = \frac{\text{Peso.sec.o.sobrenadante}(g)}{\text{Peso.muestra}(g)} * 100 \quad (2)$$

$$PH = \frac{\text{Peso.gel}(g)}{\text{Peso.muestra}(g) - \text{Peso.sec.o.sobrenadante}(g)} \quad (3)$$

Determinación de las propiedades termomecánicas utilizando el Mixolab: El comportamiento del mezclado y el empastamiento de las mezclas de harinas y la harina de trigo, se evaluaron en un Mixolab (Chopin Technologies, Villeneuve la Garenne, Francia), el cual, mide en tiempo real el torque (N.m) producido por el paso de la masa entre dos cuchillas. El protocolo utilizado permite mezclar la masa bajo

temperatura controlada y realizar un barrido de temperatura hasta 90°C, seguido por un enfriamiento. Para los ensayos, se pesó una muestra de acuerdo a su contenido de humedad y el equipo hidrató dicha muestra, hasta alcanzar un torque de 1,1 N.m (Rosell *et al.* 2007).

Los parámetros obtenidos de la curva registrada fueron: Porcentaje de absorción de agua (%) o porcentaje de agua requerida, para que la masa produzca un torque de 1,1 N.m; tiempo de desarrollo de la masa (min) o tiempo, para alcanzar el máximo torque a 30°C; consistencia máxima inicial (N.m) (C1) o máximo torque que se alcanza durante el mezclado, a 30°C; estabilidad (min) o tiempo en que el torque se mantiene en 1,1 N.m; debilitamiento mecánico (N.m) o diferencia de torque entre el máximo torque a 30°C y el torque después de mantenerse a 30°C; el torque mínimo (N.m) (C2) o el valor mínimo de torque producido por la masa, cuando se somete a un esfuerzo mecánico y a un tratamiento térmico; debilitamiento térmico (N.m) o la diferencia entre el torque al final del sostenimiento a 30 °C y el torque mínimo; torque de pico (N.m) (C3) o el torque máximo producido durante la etapa de calentamiento; estabilidad en la cocción, calculada como la razón del torque después del sostenimiento a 90°C y el máximo toque durante el periodo de calentamiento (C3) y, finalmente, el asentamiento (N.m) o la diferencia entre el torque producido después del enfriamiento a 50°C (C5) y el torque del final del periodo de calentamiento.

Pruebas de panificación: Las pruebas de panificación, se realizaron de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 530 (1980), que consistió en mezclar 500g de harina con 100mL de una solución de levadura fresca (15g) y azúcar (15g) a 28 ± 5°C. Además, se adicionó 100mL de una solución de NaCl (10% p/p) y una cantidad de agua necesaria para alcanzar una masa de consistencia adecuada, según los porcentajes de absorción obtenidos en el Mixolab. El proceso de mezclado y de amasado, se realizaron durante 8,5 min, en una amasadora horizontal (Proingal, Quito, Ecuador), teniendo en cuenta en agregar 10g de grasa, 2 min antes de terminar la operación. La masa obtenida, se redondeó manualmente y se situó en una cámara de fermentación (Proingal, Quito, Ecuador), a 30°C, con una humedad de 85%, durante 100 min. Después, la muestra se amasó nuevamente a mano por 2 min, se redondeó y se colocó en la misma cámara de fermentación, por 25 min. Posteriormente, la masa se desgasificó y se dividió en cinco porciones del mismo peso. Cada una de las porciones se aplanaron con un rodillo hasta formar una lámina gruesa (0,5 a 1cm de espesor), la cual, se enrolló y se situó en moldes, con las siguientes dimensiones: base 90 mm* 51mm, alto 83mm, superior 110 mm*70mm. Las muestras, se llevaron a la cámara de fermentación durante 60 min y, luego, se hornearon en un horno rotatorio (Equipan, Quito, Ecuador), a 210± 5°C, por 25 min. El pan, se retiró del molde a los 5 min y se esperó 1 h para proceder a medir peso, ancho, alto y volumen aparente por desplazamiento de semillas de quinoa, en cada una de las muestras.

Análisis estadístico: Se aplicó un diseño factorial completamente aleatorizado con dos factores: Tipo de harina (trigo, trigo-papa, trigo-quinoa) y porcentaje de sustitución (10 y 20%). Los datos experimentales, se sometieron a ANOVA, con un nivel de significancia del 5% y se utilizó diferencia mínima significativa (LSD) para comparar los tratamientos, con diferencias significativas. El análisis estadístico, se realizó mediante Statgraphics plus 5,1. Los resultados se presentan como el promedio \pm desviación estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de harinas: En la tabla 1, se reportan los valores promedios del contenido de humedad, de índice de absorción de agua (IAA) y de solubilidad en agua (ISA) y el poder de hinchamiento (PH) de las harinas de trigo, de papa y de quinoa. Los parámetros evaluados, se afectaron significativamente por el tipo de harina ($P < 0,05$). La harina de trigo presenta los menores valores de IAA, ISA y PH, mientras que la de papa muestra los valores más altos. El contenido de humedad es similar para las muestras de trigo y quinoa, mientras que es un poco menor para la harina de papa. Los valores de IAA para la harina de quinoa son menores a los reportados por Abugoch *et al.* (2009), que se encuentran entre 2,3 y 4,5; sin embargo, ellos evaluaron la capacidad de retención de agua, con un método diferente.

La gelatinización causa un incremento en el poder de hinchamiento; la solubilidad y la absorción de agua son parámetros que muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas. Estas interacciones se afectan por la relación amilosa/amilopectina y por las características de la amilosa y la amilopectina, en términos del peso/distribución, grado y longitud de ramificación y conformación. El mayor poder de hinchamiento, de solubilidad y de absorción del almidón de papa, se debe, probablemente, al alto contenido de grupos fosfato en la amilopectina, los cuales, generan

una repulsión en las cadenas adyacentes, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del gránulo (Hoover, 2001). La morfología, el procesamiento y la composición de las harinas afectan sus propiedades funcionales, por consiguiente, aunque los niveles de lípidos presentes en la harina de trigo son bajos, afectan el poder de hinchamiento y la absorción de agua de este almidón (Singh *et al.* 2003).

Propiedades termomecánicas: Durante el mezclado inicial, la distribución del material, el rompimiento de las partículas proteicas esféricas y la hidratación de los componentes de la harina, se llevan a cabo en asocio con el reforzamiento y la alineación de las proteínas, conduciendo la formación de una estructura viscoelástica tridimensional, capaz de retener gas (Rosell *et al.* 2007; Collar *et al.* 2007; Angioloni & Collar, 2009). La tabla 2 muestra los parámetros reológicos en la etapa de mezcla del Mixolab de la harina de trigo patrón y las harinas compuestas de trigo-papa y trigo-quinoa. No se encontró diferencias significativas en la consistencia máxima inicial (C1) y el debilitamiento mecánico ($P < 0,05$). El mayor porcentaje de absorción (%) fue para la harina compuesta trigo-papa, con 20% de sustitución, mientras que el menor fue para trigo-quinoa, con 10%. Este resultado está de acuerdo con los datos de IAA y PH, demostrando que la harina de papa afecta significativamente la absorción de la harina compuesta, debido a la relación de amilosa/amilopectina, contenido de fosforo, características moleculares de la amilosa y la amilopectina en términos de peso/distribución, grado de ramificación y conformación del almidón (Kaur *et al.* 2007). Los resultados del porcentaje de absorción para la harina de trigo fueron similares a los reportados en la literatura (Codina, 2008; Sun *et al.* 2010).

El tiempo de desarrollo fue significativamente menor para la harina compuesta trigo-papa y mayor para trigo-quinoa, con 20% de sustitución. La harina de quinoa incrementa el tiempo necesario para una completa hidratación del material, que puede estar relacionado con la composición

Tabla 1. Contenido de humedad, índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) de materias primas farináceas*.

Harina	Humedad (%)	IAA	ISA (%)	PH
Trigo	12,57 \pm 0,28 ^b	1,92 \pm 0,06 ^a	2,09 \pm 0,26 ^a	1,96 \pm 0,07 ^a
Papa	12,03 \pm 0,19 ^a	4,48 \pm 0,11 ^c	7,45 \pm 0,72 ^c	4,84 \pm 0,12 ^c
Quinoa	12,47 \pm 0,12 ^b	2,31 \pm 0,08 ^b	5,10 \pm 0,12 ^b	2,43 \pm 0,08 ^b

*Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la LSD de Fisher al 95%.

Tabla 2. Parámetros reológicos del área de mezcla del Mixolab en la harina de trigo y las harinas compuestas de trigo-papa y trigo-quinoa*.

Harina	Sustitución (%)	Absorción de agua (%)	Tiempo de desarrollo (min)	Consistencia máxima inicial (C1) (N.m)	Estabilidad (min)	Debilitamiento mecánico (N.m)
Trigo	0	61,93±0,1 ^b	6,21±0,09 ^b	1,12±0,03 ^a	8,58±0,41 ^b	0,08±0,01 ^a
Papa	10	64,5±0,02 ^c	1,24±0,13 ^a	1,09±0,03 ^a	8,95±0,04 ^b	0,05±0,06 ^a
	20	68,7±0,01 ^d	0,98±0,01 ^a	1,08±0,01 ^a	7,3±0,21 ^a	0,03±0,01 ^a
Quinoa	10	60,4±0,42 ^a	6,65±0,14 ^{bc}	1,11±0,02 ^a	10,26±0,25 ^c	0,02±0,02 ^a
	20	61,0±0,01 ^{ab}	7,1±0,71 ^c	1,11±0,01 ^a	10,22±0,02 ^c	0,05±0,01 ^a

*Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la LSD de Fisher al 95%.

y las características del almidón de este pseudocereal. El almidón de quinoa tiene una baja solubilidad y bajo poder de hinchamiento, debido a las fuertes fuerzas de unión o los entrecruzamientos dentro del gránulo de almidón (Ruales & Nair, 1994; Ahamed *et al.* 1996).

La menor estabilidad fue para trigo-papa, con 20% y la mayor fue para trigo-quinoa. El bajo tiempo de estabilidad durante el periodo de mezcla es un indicativo de la debilidad estructural de la red de gluten en la masa (Park & Morita, 2005). La adición de harina de quinoa incrementa significativamente la estabilidad; sin embargo, Morita *et al.* (2001) reportaron que la estabilidad de la masa en el farinógrafo decrece a medida que se aumenta la sustitución de la harina de quinoa, de 7,5 a 20%. La estabilidad del trigo patrón fue similar a los resultados reportados en investigaciones previas con otras clases de trigo (Angioloni & Collar, 2009; Sun *et al.* 2010). Por otro lado, cuando el mezclado es excesivo, la fuerza de la masa decrece, principalmente, por el debilitamiento de la proteína, debido al esfuerzo de corte mecánico. Los valores del debilitamiento mecánico de la harina de trigo patrón, como de las harinas compuestas, son muy bajos en comparación a los reportados por Rosell *et al.* (2007), que están entre 0,28 a 0,33 N.m.

La tabla 3 presenta los parámetros reológicas del área de empastamiento del Mixolab en la harina de trigo patrón y las harinas compuestas de trigo-papa y trigo-quinoa. Los parámetros de torque mínimo (C2) y debilitamiento térmico están muy relacionados, afectándose significativamente por el tipo de harina sustituida (quinoa y papa), pero no por el porcentaje de sustitución. El torque mínimo (C2) es menor para harina compuesta de trigo-papa, mientras que es similar para la harina de trigo y harina compuesta de trigo-quinoa. Estos valores son similares a resultados obtenidos

en la literatura, encontrándose entre 0,26 a 0,47 N.m (Rosell *et al.* 2007; Angioloni & Collar, 2009; Sun *et al.* 2010). Por otro lado, el debilitamiento térmico es menor para trigo seguido de la harina compuesta trigo-quinoa, mientras que el mayor valor lo registró la mezcla trigo-papa. Estos valores son mayores a los reportados por Rosell *et al.* (2007) para harinas de trigo con diferentes hidrocoloides, los cuales, se ubican entre 0,24 a 0,4 N.m. El efecto combinado del esfuerzo de corte mecánico y la temperatura impuesta en el equipo producen una reducción en el torque, que se podría relacionar con el comienzo de la desestabilización y el desdoblamiento de la proteína (Rosell *et al.* 2007; Angioloni & Collar, 2009).

El tipo de harina adicionada y el porcentaje sustituido afectaron significativamente los resultados de torque de pico (C3). La harina compuesta con quinoa tuvo mayores valores con respecto a la adicionada con papa; además, un porcentaje de 10% de sustitución presentó los mayores resultados de C3. Los valores obtenidos en este trabajo son similares a los encontrados en otros estudios, que se encuentran entre 1,4-1,9 N.m (Rosell *et al.* 2007; Rosell *et al.* 2009; Angioloni & Collar, 2009). La harina compuesta con quinoa al 10% también presentó los valores más cercanos a la de trigo, siendo similar a los resultados reportados en la literatura (Park & Morita, 2005; Rosell *et al.* 2009). A medida que el porcentaje de sustitución aumentó, el valor de C3 disminuyó, contrario al comportamiento mostrado por Rosell *et al.* (2009). Esta diferencia puede ser debida a la diferencia en el cultivar utilizado o al proceso de obtención de la harina de quinoa, en la cual, se aplicó un acondicionamiento con agua a 50°C, durante 4 h. Por otro lado, a medida que se aumentó la sustitución de harina de papa, el valor de C3 disminuyó, contrario a lo reportado por Zaidul *et al.* (2007),

Tabla 3. Parámetros reológicos del área de empastamiento del Mixolab en la harina de trigo, y las harinas compuestas de trigo-papa y trigo-quinoa*.

Harina	Sustitución (%)	T o r q u e mínimo (C2) (N.m)	Debilitamiento térmico (N.m)	Torque de pico (C3) (N.m)	Estabilidad en la cocción	Asentamiento (N.m)
Trigo	0	0,45±0,02 ^b	0,59±0,01 ^a	1,84±0,04 ^d	0,98±0,01 ^c	0,76±0,05 ^d
Papa	10	0,37±0,01 ^a	0,67±0,03 ^c	1,51±0,01 ^b	0,98±0,01 ^c	0,43±0,02 ^b
	20	0,34±0,01 ^a	0,71±0,02 ^c	1,18±0,01 ^a	0,99±0,02 ^c	0,40±0,02 ^b
Quinoa	10	0,45±0,02 ^b	0,64±0,02 ^b	1,80±0,04 ^d	0,93±0,01 ^b	0,47±0,01 ^c
	20	0,45±0,01 ^b	0,62±0,01 ^b	1,69±0,01 ^c	0,89±0,01 ^{ab}	0,30±0,01 ^a

*Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la LSD de Fisher al 95%.

quienes analizaron el perfil de empastamiento de una mezcla de harina de trigo y almidón de papa. Esta diferencia, se debe a que la harina de papa utilizada en este estudio tuvo un proceso de precocción, afectando las características funcionales del almidón.

A medida que la temperatura se incrementa, el papel de las proteínas queda en un segundo plano, siendo la gelatinización del almidón el principal responsable, por las variaciones del torque. Durante esta etapa, los gránulos de almidón absorben el agua disponible en el medio y se hinchan, mientras que las cadenas de amilosa se lixivian en la fase acuosa intergranular, promoviendo el incremento en la viscosidad y, por consiguiente, el aumento en el torque. Esto sucede hasta que el esfuerzo de corte mecánico y la temperatura programada en el equipo producen el rompimiento físico de los gránulos, los cuales, se asocian con una reducción en la viscosidad (Rosell *et al.* 2007).

En una curva de empastamiento de almidón, la estabilidad en la cocción se relaciona con la estabilidad de los gránulos de almidón quebrados en las temperaturas de calentamiento programadas (Rojas *et al.* 1999). La estabilidad en la cocción fue similar para la harina de trigo y la harina compuesta de trigo-papa y fue menor para la harina compuesta de quinoa. Altas viscosidades durante el empastamiento y las bajas viscosidades después del periodo de sostenimiento a 90°C de las suspensiones de trigo, se consideran como los parámetros que predicen el comportamiento de firmeza del pan durante el almacenamiento (Collar, 2003). Bajas estabildades de cocción se relacionan con un aumento en el tiempo de vida útil de un pan, por lo tanto, se podría afirmar que los panes sustituidos con quinoa conservarían, por mayor tiempo, las características de firmeza del producto, durante el almacenamiento.

El asentamiento fue menor para la mezcla de trigo-quinoa y mayor para la harina de trigo. La harina de quinoa tuvo una baja consistencia durante el enfriamiento, sobre todo, con 20% de sustitución, que indica una baja recristalización o retrogradación. Estos resultados fueron similares a los encontrados por Rosell *et al.* (2009). Por otro lado, la harina compuesta con papa presentó menores valores de asentamiento que la de trigo, siendo contrario a los resultados reportados por Zaidul *et al.* (2007), quienes hallaron un asentamiento mayor para la mezcla de harina de trigo-almidón de papa, además, aumentaba a medida que se incrementaba la sustitución de papa de 10 a 30%. Esta diferencia puede ser debido a que la harina de papa utilizada en este estudio es precocida, afectando sus características de empastamiento y generando menores efectos en el enfriamiento, por la falta de liberación de amilosa. Los parámetros aconsejables para retardar el envejecimiento del pan y obtener alta puntuación sensorial relacionada con la miga y la corteza, constan de alta temperatura de empastamiento, alta viscosidad durante el empastamiento y gelación y baja viscosidad después del periodo de calentamiento (Collar, 2003).

Parámetros de panificación: Las pruebas de panificación evaluadas, se presentan en la tabla 4. No hay diferencia significativa en el ancho de los panes elaborados con las diferentes harinas. Por otro lado, los productos a partir de harina compuesta de trigo-quinoa, con un 10% de sustitución, tuvieron la mayor altura, seguida de la harina compuesta de trigo-papa, al 10%. Los panes de trigo y trigo-quinoa, con 20% de sustitución, tienen una altura similar. Al aumentar el porcentaje de sustitución, aumenta significativamente el peso de las muestras, sobre todo cuando se adiciona harina de papa, al 20%. El menor peso obtenido fue para los panes a partir de trigo-quinoa, con 10%, mientras que el mayor fue para las muestras de harina compuesta trigo-papa, con 20%

Tabla 4. Parámetros de panificación de panes elaborados a partir de harina de trigo y harinas compuestas de trigo-papa y trigo-quinoa*.

Harina	% Sustitución	Peso (g)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen (cm ³)
Trigo	0	132,86±0,88 ^b	6,02±0,28 ^a	8,97±0,63 ^b	485,0±26,4 ^d
Papa	10	133,86±1,13 ^b	6,01±0,17 ^a	9,57±0,49 ^c	491,67±14,3 ^d
	20	140,61±1,97 ^c	5,95±0,18 ^a	7,84±0,37 ^a	461,25±19,8 ^c
Quinoa	10	130,80±1,26 ^a	6,20±0,32 ^a	9,94±0,68 ^d	434,44±19,3 ^b
	20	133,65±1,73 ^b	6,03±0,18 ^a	8,89±0,4 ^b	362,5±15,1 ^a

*Las letras no comunes indican diferencia significativa, según la LSD de Fisher al 95%.

y los demás presentaron pesos similares. El menor peso y la mayor altura para las muestras sustituidas con harina de quinoa al 10% son evidencia de espacios de aire visibles en la miga, lo cual, puede ser generado por el aumento de la cantidad de azúcares fermentables a partir del almidón, debido a la alta actividad de alfa amilasas en la harina de quinoa (Lorenz & Coulter, 1991).

El volumen de la miga es una de las características más importantes de un pan, porque ofrece una medida cuantitativa del proceso de panificación. Además, este parámetro es muy importante para los consumidores, debido a que se relaciona con la percepción de un producto ligero, pero no denso, es decir, características de densidad y de volumen de la miga se asocian con un producto de panadería específico (Hathorn *et al.* 2008). Al comparar el volumen de las muestras, el producto a partir de harina compuesta de trigo-quinoa tuvo los menores valores, mientras que los mayores volúmenes fueron para los panes de harina de trigo y harina compuesta de trigo-papa, a 10%. Se debe resaltar que la desviación estándar de este parámetro es alta si se compara con las demás características evaluadas en el pan, mostrando amplias diferencias que existen aun en un mismo tratamiento.

Los resultados del pan con harina de quinoa están de acuerdo a las investigaciones realizadas previamente (Lorenz & Coulter, 1991; Chauhan *et al.* 1992; Morita *et al.* 2001; Park *et al.* 2005; Rosell *et al.* 2009), donde al aumentar el porcentaje de sustitución por encima del 10% disminuye el volumen de la miga, debido a que la harina de quinoa no tiene proteína formadora de gluten, como la harina de trigo; además, se presenta un aumento en la proteína insoluble alcalina, que se correlaciona estrechamente con una pobre calidad de mezclado de la masa (Park *et al.* 2005). Morita *et al.* (2001) demostró que una masa de trigo, con 20% de harina de quinoa, presenta una estructura irregular, con

capas de gluten, sin una distribución continua y rodeadas, con amplios gránulos de almidón.

El mayor volumen obtenido fue para la muestra con un 10% de harina de papa. Este resultado, se podría deber a que las enzimas amilolíticas presentes en la papa rompen la estructura del gránulo de almidón, produciendo azúcares simples y sustratos fermentables para la levadura y, así, incrementa la velocidad de fermentación (Greene & Bovell-Benjamin, 2004); sin embargo, al aumentar la concentración de harina de papa por encima de 10% disminuye el volumen de la muestra, debido al bajo contenido de gluten.

El porcentaje de sustitución de harina de trigo (10 y 20%) con harinas de quinoa y papa producen masas con diferentes perfiles termomecánicos y panes con diferentes características físicas, dependiendo de la cantidad y la fuente de almidón empleada. Las harinas compuestas con un grado de sustitución de 10% presentan características físicas parecidas a la muestra de harina de trigo, siendo la sustitución con harina de papa la más cercana. La harina compuesta con quinoa muestra los menores valores de asentamiento y de estabilidad de la cocción, lo cual, indica una disminución en el envejecimiento del producto. Se recomienda estudiar más porcentajes de sustitución y realizar pruebas sensoriales y texturales al producto final. Además, se sugiere medir los cambios físicos y sensoriales del pan durante el almacenamiento y correlacionarlos con los resultados del Mixolab.

Agradecimientos: Se reconoce la financiación del proyecto PHPPF-PIC-08-0000162 de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. El autor Rodríguez-Sandoval agradece la beca de investigación del Instituto Italo Latino Americano (IILA). **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. ABUGOCH, L.; CASTRO, E.; TAPIA, C.; AÑON, M.C.; GAJARDO, P.; VILLAROEL, A. 2009. Stability of quinoa flour proteins (*Chenopodium quinoa* Willd.) during storage. *Int. J. Food Sci. Techn.* 44:2013-2020.
2. AHAMED, N.T.; SINGHAL, R.S.; KULKAMI, P.R.; PALB, M. 1996. Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydr. Polym.* 31:99-103.
3. ANDERSON, R.A.; CONWAY, V.F.; PFEIFER, V.F.; GRIFFIN, E.L. 1969. Gelatinization of corn grits by roll – and extrusion – cooking. *Cereal Sci. Today.* 14:4-12.
4. ANGIOLONI, A.; COLLAR, C. 2009. Significance of structuring/prebiotic blends on bread dough thermo-mechanical profile. *Eur. Food Res. Techn.* 229:603-610.
5. CERÓN, A.; HURTADO, A.; OSORIO, O.; BUCHELI, M. 2011. Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. *Rev. Biotech. Sect. Agrop. Agroind.* 9(1):115-121.
6. CHAUHAN, G.S.; ZILLMAN, R.R.; ESKIN, N.A.M. 1992. Dough mixing and breadmaking properties of quinoa-wheat flour blends. *Int. J. Food Sci. Techn.* 27:701-705.
7. CODINĂ, G.G. 2008. Influence of flour quality with different extraction ratio on the rheological properties of uniaxial extension induced by the mixolab. *J. Agroalim. Proces. Techn.* 14:119-122.
8. COLLAR, C. 2003. Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling. *Eur. Food Res. Techn.* 216:505-513.
9. COLLAR, C.; BOLLAÍN, C.; ROSELL, C.M. 2007. Rheological behaviour of formulated bread doughs during mixing and heating. *Food Sci. Techn. Int.* 13(2):99-107.
10. GREENE, J.L.; BOVELL-BENJAMIN, A.C. 2004. Macroscopic and sensory evaluation of bread supplemented with sweet-potato flour. *J. Food Sci.* 69(4):SNQ167-SNQ17.
11. HATHORN, C.S.; BISWAS, M.A.; GICHUHI, P.N.; BOVELL-BENJAMINA, A.C. 2008. Comparison of chemical, physical, micro-structural, and microbial properties of breads supplemented with sweetpotato flour and high-gluten dough enhancers. *LWT Food Sci. Techn.* 41:803-815.
12. HENAO-OSORIO, S.; ARISTIZÁBAL-GALVIS, J. 2009. Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Rev. Ing. & Invest.* 29(1):39-46.
13. HOOVER, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.* 45:253-267.
14. KAACK, K.; PEDERSEN, L.; LAERKE, H.N.; MEYER, A. 2006. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread. *Eur. Food Res. Technol.* 224:199-207.
15. KAUR, L.; SINGH, J.; MCCARTHY, O.J.; SINGH, H. 2007. Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches. *J. Food Engin.* 82:383-394.
16. LORENZ, K.; COULTER, L. 1991. Quinoa flour in baked products. *Plant Foods for Human Nutr.* 41:213-223.
17. MISRA, A.; KULSHRESTHA, K. 2003. Potato flour incorporation in biscuit manufacture. *Plant Foods for Human Nutr.* 58:1-9.
18. MORITA, N.; HIRATA, C.; PARK, S.H.; MITSUNAGA, T. 2001. Quinoa flour as a new foodstuff for improving dough and bread. *J. Appl. Glycosci.* 48(3):263-270.
19. NAVARRE, D.A.; PILLAI, S.C.; SHAKYA, R.; HOLDEN, M.J. 2011. HPLC profiling of phenolics in diverse potato genotypes. *Food Chem.* 127(1):34-41.
20. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA (NTE) INEN 530. 1980. Harina de trigo. Ensayo de panificación. 2da. Revisión. 1ra ed. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito. Ecuador. 10p.
21. PARK, S.H.; MORITA, N. 2005. Dough and breadmaking properties of wheat flour substituted by 10% with germinated quinoa flour. *Food Sci. Techn. Int.* 11(6):471-476.
22. PARK, S.H.; MAEDA, T.; MORITA, N. 2005. Effect of whole quinoa flours and lipase on the chemical, rheological and breadmaking characteristics of wheat flour. *J. Appl. Glycosci.* 52(4):337-343.

23. ROJAS, J.A.; ROSELL, C.M.; BENEDITO DE BARDER, C. 1999. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocoll.* 13:27-33.
24. ROSELL, C.M.; COLLAR, C.; HAROS, M. 2007. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab. *Food Hydrocoll.* 21:452-462.
25. ROSELL, C.M.; CORTEZ, G.; REPO-CARRASCO, R. 2009. Breadmaking use of andean crops quinoa, kañiwa, kiwicha, and tarwi. *Cereal Chem.* 84(4):386-392.
26. RUALES, J.; NAIR, B.M. 1994. Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutr.* 45:223-246.
27. SANDOVAL, G. 2007. Elaboración de harina precocida de papa (*Solanum tuberosum*) en autoclave, con las variedades Superchola y Gabriela, para consumo humano. Proyecto CENI. Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos. U. Técnica de Ambato. Disponible desde internet en: <http://fcial.uta.edu.ec/proyectos.htm> (con acceso 08/03/10).
28. SCANLON, M.G.; ZGHAL, M.C. 2001. Bread properties and crumb structure. *Food Res. Int.* 34:841-864.
29. SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N.S.; GILL, B.S. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.* 81:219-231.
30. SUN, H.; YAN, S.; JIANG, W.; LI, G.; MACRITCHIE, F. 2010. Contribution of lipid to physicochemical properties and Mantou-making quality of wheat flour. *Food Chem.* 121:332-337.
31. YADAV, A.R.; GUHA, M.; THARANATHAN, R.N.; RAMTEKE, R.S. 2006. Influence of drying conditions on functional properties of potato flour. *Eur. Food Res. Techn.* 223:553-560.
32. ZAIDUL, I.S.M.; NORULAINI, N.A.N.; OMAR, A.K.M.; YAMAUCHI, H.; NODA, T. 2007. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. *Carbohydr. Polym.* 69:784-791.

Recibido: Agosto 15 de 2011

Aceptado: Marzo 4 de 2012

VALIDATION OF A CFD MODEL FOR PREDICTION OF THE EFFICIENCY OF EVAPORATIVE COOLING IN POROUS PANELS

VALIDACIÓN DE UN MODELO EN CFD PARA PREDECIR LA EFICIENCIA DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO EN PLACAS POROSAS

Jairo Alexander Osorio Saraz¹, Ilda de Fátima Ferreira Tinoco², Keller Sullivan Oliveira Rocha³, Marcio Arêdes Martins⁴, Flávio Alves Damasceno⁵

¹Profesor - Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, aosorio@unal.edu.co; ²Profesora - Universidad Federal de Vicosa - Brazil, tinoco@ufv.br; ³Ingeniero Agrícola, Ph.D. student - Universidad Federal de Viçosa – Brazil, kellersullivan@yahoo.com.br; ⁴Profesor - Universidad Federal de Vicosa - Brazil, aredes@ufv.br; ⁵Ingeniero Agrícola, Ph.D. student - Universidad Federal de Viçosa – Brazil, flavio.damasceno@ufv.br

Rev. U.D.CA Act. & Div. Cient. 15(1): 209 - 217, 2012

SUMMARY

In regions with warm tropical and subtropical climates elevated air temperatures, especially during the dry seasons, can negatively affect thermal comfort inside installations used for animal and vegetative production, causing a significant decrease in production. An evaporative cooling system using non-saturated air to be introduced in the environment was employed, forcing air passage through different moist porous materials with the intention of thermal cooling, to improve the internal environment of these installations. However, difficulties in field experimentation have drastically limited the amount of information available regarding new porous materials that could possibly be used to substitute conventional material which is patented, expensive and with low durability. Therefore, the objective of the present study was to validate a computational model in Computational Fluid Dynamics (CFD) to predict cooling efficiency (η) in moist porous pads construed of expanded clay. The numerical results obtained by the proposed model showed good correlation (81%) with the experimental data, indicating its suitability to predict the behavior of these types of systems and for other porous material.

Key words: Computational Fluid Dynamics, porous media, expanded clay, animal production, green house

RESUMEN

En las regiones de climas tropicales y subtropicales cálidos,

los altos valores de temperatura del aire, especialmente en épocas secas, pueden afectar negativamente el confort térmico dentro de los locales utilizados para la producción pecuaria y agrícola, dando lugar a una reducción significativa en su producción. Con el fin de promover la disminución de la temperatura en de las instalaciones y mejorar el ambiente interno de estas, se han utilizado los sistemas de resfriamiento evaporativo del aire que se introduce en el ambiente, abriéndose paso a través de diferentes placas porosas humedecidas. Sin embargo, dificultades en la experimentación práctica a limitado drásticamente informaciones relativas a nuevos materiales porosos posibles de ser empleados en sustitución al material convencional (Material celulósico) patentado, de elevado costo y de baja durabilidad. Debido a lo anterior, este estudio tuvo como objetivo validar un modelo computacional en dinámica de fluidos computacionales (CFD) para predecir la eficiencia del resfriamiento (η) en placas porosas de arcilla expandidas humedecidas. Los resultados numéricos obtenidos por el modelo propuesto mostraron una buena correlación con los datos experimentales (81%), lo que indica su aptitud para predecir el comportamiento de este tipo de sistemas, y de otros materiales porosos.

Palabras clave: Dinámica de Fluidos Computacional, medios porosos, arcilla expandida, producción animal, invernaderos.

INTRODUCTION

Brazilian aviculture has presented one of the greatest rates

of technological and productivity development within the diverse segments of national animal protein production. This sector is one of the world's three largest (United States, China, and India) and stands out as the greatest exporter of chicken meat and is ranked fourth in world egg production (Boaretto, 2009).

In regions of warm tropical and subtropical climates, as in the case of Brazil, elevated air temperatures are detected among the main factors which negatively affect the activities of intensive animal and vegetable production (Tinôco *et al.* 2004; Vale *et al.*, 2008; Silva *et al.* 2009).

Therefore, several forms of air cooling have been proposed for animal production installations, ranging from the optimized use of natural resources to artificial methods, such as forced ventilation associated with evaporative cooling systems (ECS). ECS in poultry installations can be obtained by means of misting (low and high pressure), or forced air ventilation over a moist porous material (pad system). According to Tinôco *et al.* (2004) and Carvalho *et al.* (2009), depending on the climatic conditions of the region where the evaporative cooling system is to be implemented, the dry bulb temperature can be reduced by up to 11°C, being that in Brazil the average reduction is 6°C.

In order to evaluate and compare moist porous pad evaporative cooling systems constructed of different materials, various studies have been performed (Moura & Nääs, 1999; Tinôco *et al.* 2002, Tinôco *et al.* 2004; Gunhan *et al.* 2007). However, the difficulty of encountering a sufficient high number of similar installations in a single location along with the high costs of experimental implementation do not allow these studies to include a large number of variables and factors to be tested in the field.

Therefore, a possible solution to obtain better designs for efficiency optimization of a porous expanded clay pad may be obtained by means of computational simulations so that subsequent field testing only includes the treatments of interest.

Heat, mass and momentum transfer models, based on Computational Fluid Dynamics (CFD), allow for a reduction in the number of experiments and costs, as well as subsequent improvements in a given process after validation using experimental data. The application of CFD in the agricultural industry is quite recent, therefore, this technique is a highly viable alternative for evaluating the behavior of climatic variables inside both vegetation and animal structures (Norton *et al.* 2007; Osorio *et al.* 2009; Norton *et al.* 2009).

The objective of the presented study was, therefore, to use a

Computational Fluid Dynamics (CFD) model for predicting cooling efficiency with moist pads, constructed of expanded clay for use in animal production facilities or in greenhouses.

MATERIAL AND METHODS

For validation of the computational model, experimental data were collected at laboratories of the Universidade Federal de Lavras (UFLA), in the municipality of Lavras, Minas Gerais, Brazil, whose geographical coordinates are 21°14' S latitude and 45°00' W longitude, with an elevation of 918m. The climate of the municipality, according to the Köppen classification, is type cwa, humid temperate with dry winters. The evaporative cooling system made use of a moist porous material (expanded clay) in pads with dimensions of 1.45 × 1.56 × 0.12m (Figure 1 a and b).

Pre-programmed every minute, portable HOBO® (United States, INC) loggers with accuracy of ± 0.7 at 21°C were installed to measure air temperature (t_{bs}) and relative humidity (UR) near the internal and external sides of the moist porous pad at intervals of two minutes. The loggers were housed inside a perforated PVC (diameter of 4 in) protective recipient to avoid damage to the equipment and readings were compared to those taken by an external sensor for verification of any interference of the recipient on the equipment readings. To quantify air flow through the moist porous pad, the sampling region was divided in nine equidistant points as shown in figure 1. Air velocity was measured using a digital hot wire sensor (Testo 425), with measurement ranging between 0-20 m s⁻¹ precision (°C) ± 0,5, accuracy to 1% (pressure) and 2,5%(m s⁻¹) and 0,1°C. Determination of air velocity adopted in the simulations was calculated as the product between the measured velocity of the air and the area of the pad.

Average temperature of the water applied to the pad was measured with a digital thermometer (± 0.2 °C) located within the reservoir and collecting data at every 30 minute intervals.

The cooling efficiency (η) quantification for this type of system was calculated through according to equation 1 (ASHRAE, 1992), being dependent on the dry bulb and wet bulb temperature of the air before passing through the moist porous pad ($T_{bs,i}$; $T_{bu,i}$; respectively) and the dry bulb temperature after exiting the pad ($T_{bs,o}$).

$$\eta = 100 \frac{(T_{bs,i} - T_{bs,o})}{(T_{bs,i} - T_{bu,i})} \quad (1)$$

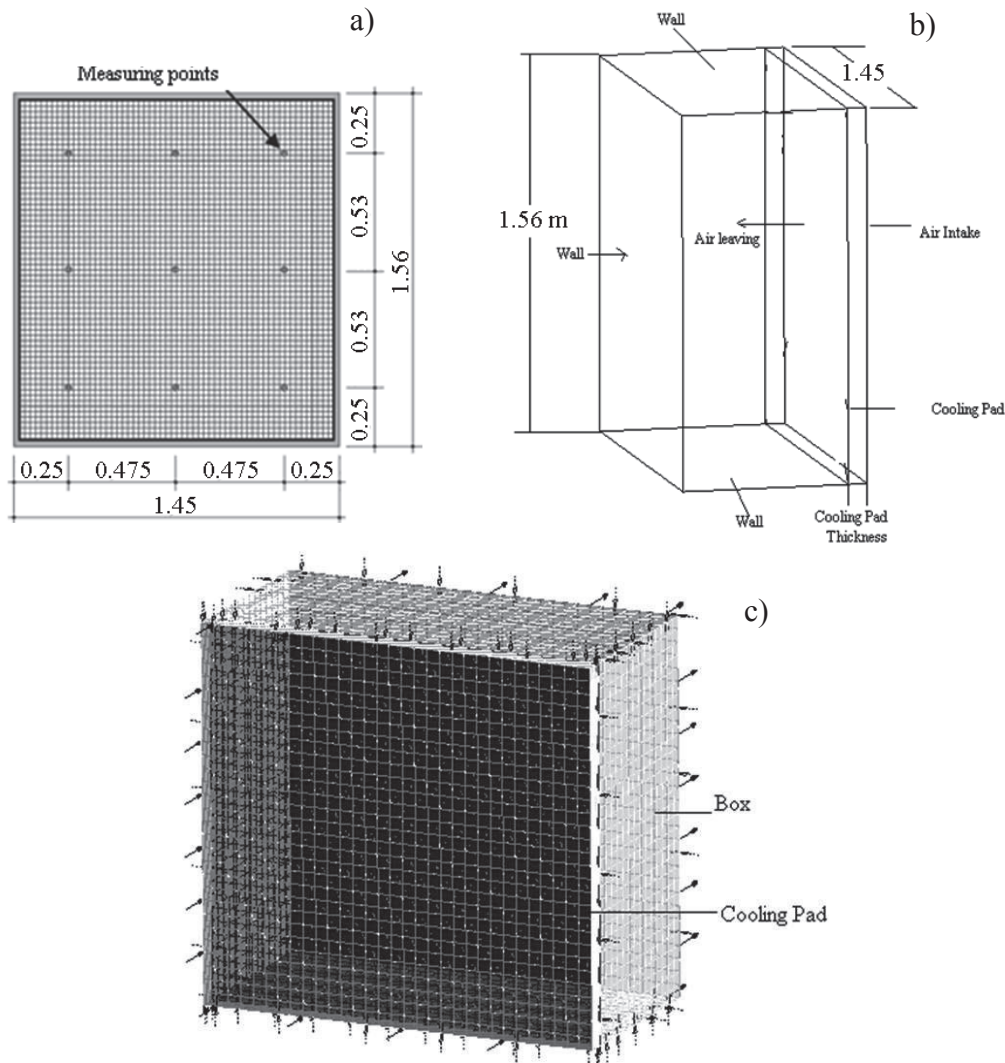


Figure 1. Porous pad: a) measuring points; b) schematic of pad inlets and outlets; c) Computational mesh

Physical characterization of the porous material: The porous material (expanded clay) with diameters between 22 and 32 mm was physically characterized in terms of specific mass, porosity, average diameter, average volume and surface area. Porosity of the utilized expanded clay was determined indirectly (equation 2) by filling the pores of a completely dry expanded clay sample with a fluid until completely saturating the sample. From the measured volumes of liquid and sample, total porosity was determined.

$$\varepsilon_p = 100 \frac{V}{V_t} \quad (2)$$

Permeability of the porous material was obtained by equation

(3) where the constant referring to particle sphericity (K_1) has a value of 150 as obtained by Nield & Bejan, (2006). The particle diameter (D_p) was measurement directly in the materials:

$$K = \frac{D_p^2}{2 K_1} \frac{\varepsilon_p^3}{(1-\varepsilon_p)^2} \quad (3)$$

Mathematical Modeling: The ANSYS CFX[®] software belongs to the Department of Agricultural and Environmental Engineering of the Federal University of Viçosa, and was employed to program and simulate the proposed method. The initial step of all CFD works consists of defining the calculation domain, i.e., defining the geometry for which

the numerical resolution of the equations describing the phenomena to be investigated is applied.

In this study, the CFD technique consisted of determining the average Reynolds number from the Navier – Stokes equations, discretizing the flow field, based on the finite volumes technique. The model which designates non-isothermal fluid flow is described by the continuity, momentum and energy equations, simplified as follows (Fluent, 2004; Ahmadi & Hashemabadi, 2008).

In the air, the water mass diffusion coefficient (D) was obtained in tables from Incropera & DeWitt (1999). This coefficient represents the speed at which water molecules are transported to the air and it is the main parameter that relates the diffusion mass flux of water to the air with the concentration gradient.

The term $(-\frac{dm}{dt} h_{fg})$ in the equation of energy conservation (6) refers to a negative energy that is defined as the latent heat of vaporization, multiplied by the water flow generated by the misting at a constant temperature. Thus, this term is coupled to the equation of energy and species conservation (7):

$$\nabla \cdot (\rho U) = 0 \tag{4}$$

$$\nabla \cdot (\rho U U) = \nabla p + [\mu_t (\nabla U + \nabla U^T)] \tag{5}$$

$$\nabla \cdot (-k \nabla T + \rho C_p T U) = -\frac{dm}{dt} h_{fg} \tag{6}$$

$$U \cdot \nabla C_i = \nabla \cdot (D \nabla C_i) + \frac{dm}{dt} \tag{7}$$

Turbulent flow was modeled from the standard k-ε model which evaluates viscosity (μ_t) from a relationship between

turbulent kinetic energy (k) and the dissipation of turbulent kinetic energy (ε) (Launder & Spalding, 1974).

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \tag{8}$$

Where the values of k-ε are obtained by means of the equations:

$$-\nabla \cdot \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu \kappa^2}{\sigma_\kappa \varepsilon} \right) \nabla \kappa \right] + \rho U \cdot \nabla \kappa = \rho \frac{C_\mu \kappa^2}{\sigma_\kappa \varepsilon} + (\nabla U + \nabla U^T)^2 - \rho \varepsilon \tag{9}$$

$$-\nabla \cdot \left[\left(\eta + \rho \frac{C_\mu \kappa^2}{\sigma_\varepsilon \varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \rho U \cdot \nabla \varepsilon = \rho C_{s1} C_\mu \kappa + (\nabla U + \nabla U^T)^2 - \rho C_{s2} \frac{\varepsilon^2}{\kappa} \tag{10}$$

Dimensions and operating conditions of the porous pad model were used to generate the model in CFD. Therefore, the values measured in the experimental phase were managed as the boundary conditions of the computational model, which can be observed in Table 1.

Results from the CFD model were verified and compared to those corresponding to the experimental measurements. Concordance between the measured values and those described by the CFD model were also evaluated by calculating the normal mean square error (NMSE) recommended by ASTM (2002). For this, a sample of 20 of the complete experimental datasets was used. Values with a NMSE less than 0.25 are accepted as good indicators of concordance and as this value approaches zero, the concordance between measured and predicted values is greater.

$$NMSE = \frac{(Cp - Co)^2}{(Cpm Com)} \tag{11}$$

Table 1. Boundary conditions and other media physical properties.

Inlet air velocity	2.0 m s ⁻¹
External air temperature	26°C
Water temperature	16°C
Permeability of the expanded clay	5.3 10 ⁻⁶ m ⁻²
Porosity of the expanded clay	0.68
Water flow rate	0.008 L s ⁻¹

$$(\overline{Cp - Co})^2 = \frac{1}{n} \sum_n (Cpi - Coi)^2 \tag{12}$$

Once validated, the model was used to analyze variation of pad efficiency for the porosities of 0.68 and 0.50, thicknesses of 0.08 and 0.12cm and velocities of 1.0, 1.5 and 2.0 m s⁻¹, where these values are the most commonly encountered in practice for evaporative cooling systems using expanded clay, according to Vigoderis *et al.* (2007).

RESULTS AND DISCUSSION

A coarse mesh was used with 28725 nodes and 26970 quadratic elements, and after application of different refinement levels, a fine mesh with 30720 nodes and 35437 elements was employed. When considering the coarse and fine meshes, there is no significant difference in temperature values of the system, therefore greater refinement of this mesh was not necessary (Figure 1 C).

The encountered Reynolds number was 8.23 x 10⁵, indicating that, as was expected, according to Vigoderis *et al.* (2007), the system presents turbulent flow within the porous plate.

The overall intention of this study was to determine average efficiency. This average was calculated for both the experimental data and proposed model for the entire cooling pad (Table 2), using the efficiency calculated for each point (nine points, Figure 1 a). This methodology was employed as recommended by Vigoderis *et al.* (2007).

Table 2. Comparison between experimental and modeled data for temperature and efficiency.

	Temperature of air exiting the cooling pad (°C)	
	Experimental	Proposed model
Average	20.58	22.03
NMSE	0.0009	

A comparison between the data generated from the developed model and experimental data showed that the average Tdb temperatures of air exiting the cooling pad did not significantly differ (P < 0.05) between the experimental values and those of the model. The comparison presented a normalized mean square error (NMSE) of 0.0009 for Tdb, indicating a good agreement between the results (Table 2). It was therefore concluded that the proposed model can be used to accurately predict the behavior of temperature at the outlet of the evaporative cooling pad constructed of expanded clay.

Figure 2 presents the efficiency of the porous pad when using porosities of 0.68 and 0.50 and thicknesses of 8 and 12cm, as a function of air intake velocity in the cooling pad. Such porosity range is commonly reported in literature for expanded clay particles. It was found that porosities between 0.5 and 0.68 did not significantly affect the efficiency of the pad. However, the pad thickness and air intake velocity do have an influence on efficiency.

Efficiencies for pad thicknesses of 8 and 12 cm and velocities between 1.0 and 2.0 m s⁻¹ were in the range of 50 – 83% and 42 – 76%, respectively. For velocities near 1.5 m s⁻¹, Vigoderis *et al.* (2007) verified efficiency for a pad measuring nearly 8 cm thick was 77%, while in this study an average efficiency of 70% was found. Differences may be due to the different climatic conditions in the surroundings where the

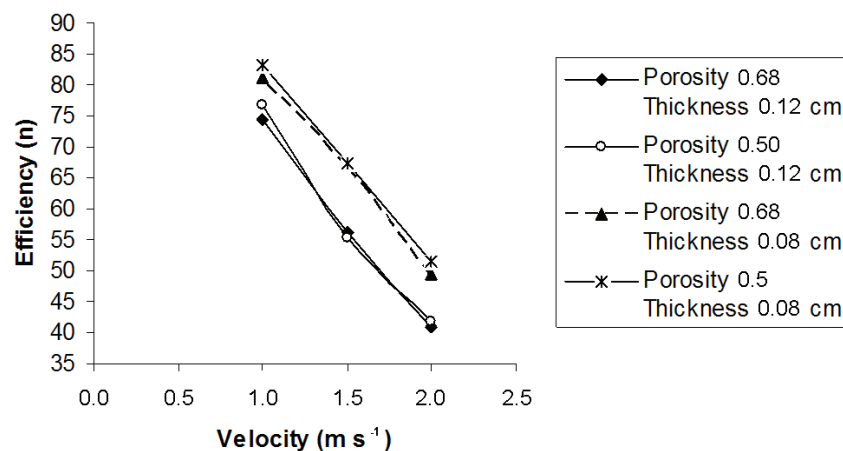


Figure 2. Efficiency of the pad (η) as a function of media porosity and thickness at different air intake velocities.

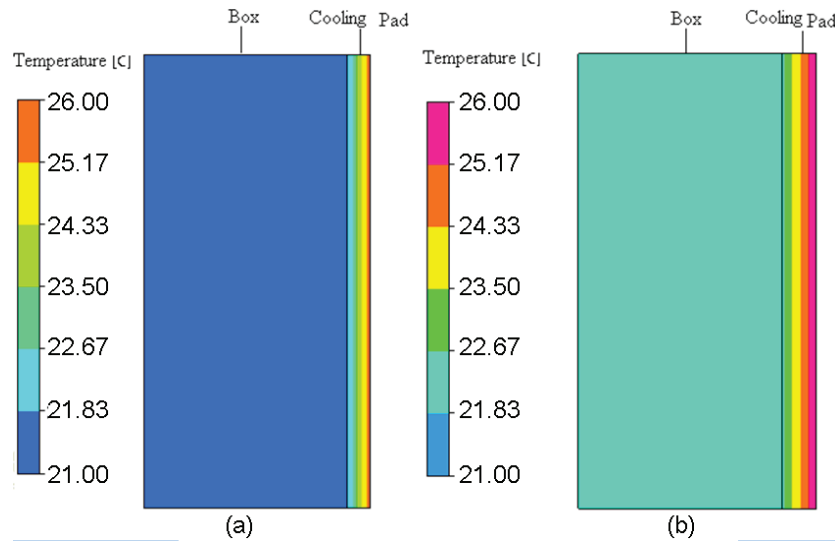


Figure 3. Spatial distribution of air temperature (°C): a) 0.08m thick pad, (b) 0.12m thick pad.

Nomenclature	
C_p	Specific heat, $W\ kg^{-1}\ K^{-1}$
C_{pi}	Predicted value
C_{oi}	Measured value
C_{pm}	Average predicted value
C_{om}	Average measured value
C_i	Concentration of species i
D	Mass diffusion coefficient
D_p	Particle diameter, m
h	Convection heat transfer coefficient, $W\ m^{-2}\cdot K^{-1}$
h_{fg}	Latent heat of vaporization, $W\ kg^{-1}$
k	Thermal Conductivity, $W\ m^{-1}\cdot K^{-1}$
K	Permeability, m^2
k_1	Constant referring to particle sphericity with a value of 150
m_p	Mass of the droplet, kg^{-1}
n	Number of measurements
p	Pressure, $N\ m^{-2}$
T	Temperature, K
U	Mean velocity component, $m\ s^{-1}$
V	Pore volume, cm^3

V_t	Total volume of the recipient, cm^3
Greek symbols	
ρ	Density, $kg\ m^{-3}$
μ	Dynamic fluid viscosity, $kg\ m^{-1}\cdot s^{-1}$
κ	Turbulent kinetic energy, $m^2\ s^{-2}$
ε	Dissipation of turbulent kinetic energy, $m^2\ s^{-3}$
ε_p	Porosity of the material, %
η	Ratio between average flow and temporal scale
Subscripts	
t	Turbulence
Superscripts	
T	Transposition of the tensor
Constants	
a,b	Constants equal to 2.9 and 0.75
C_μ	0.09
C_{s1}	1.44
C_{s2}	1.92
σ_ε	1.0
σ_κ	1.3

experiments were performed since results were found in a range between 70 and 80%.

As it can be seen in figure 2, the pad with a thickness of 8cm was more efficient than the 12cm pad and the best operating conditions for inlet air velocity were 1.0 and 2.0 m s⁻¹; however, the velocity of the air entering the pad depends on variables such as pad efficiency, the amount of heat that is supposed to be removed from the structure (either a poultry or greenhouse), maximum allowed air temperature within the installation, among others. In order to obtain optimum inlet air velocities, several ventilation rates may be tested through properly validated heat and mass transfer models such as those reported by Jain and Tiwari (2002), Kittas *et al.* (2003) and Ganguly & Ghosh (2007) using the CFD tool.

The model indicated that system efficiency tended to be greater for thinner pads (Figure 2), since in our case the 8cm (50 – 83%) thick pad exhibited higher efficiency than the 12cm pad (42 – 76%). This type of behavior was reported by Tinoco *et al.* (2004) and Vigoderis *et al.* (2007), who found that pads with thicknesses varying from 7.5 to 8.5cm presented better results than those with thicknesses superior

to 10cm (range from 50 – 82%). However, as the thickness of the porous material increases, resistance to air passage normally rises and, consequently, an increase in time in which air is in contact with the moist porous material occurs.

Figure 3 and 4 presents the temperature and velocity distribution across the porous pad and in the box for thicknesses of 8 and 12cm. When velocities are low the difference between the T_{db,i} and T_{bs} tended to be higher, resulting in a larger temperature gradient (ΔT) and thus greater efficiency (η). This happens when inlet air velocities are low and consequently greater heat transfer occurs between air and the bulk volume of the porous media, which is driven by the latent heat of vaporization, acquiring therefore a greater thermal equilibriums in the system, as also reported by Koca *et al.* (1991); Liao & Chiu (2002) and Sapounas *et al.* (2008). It was found that velocity loss when using 8cm thick pads with different inlet velocities (1.0, 1.5 and 2.0 m s⁻¹) was approximately 30% throughout the pad. When utilizing the 12cm thick pads, the velocity loss was 51%, which resulted in a lower efficiency as compared to the use of the cooling pad of 8cm to reach greater distances in livestock buildings.

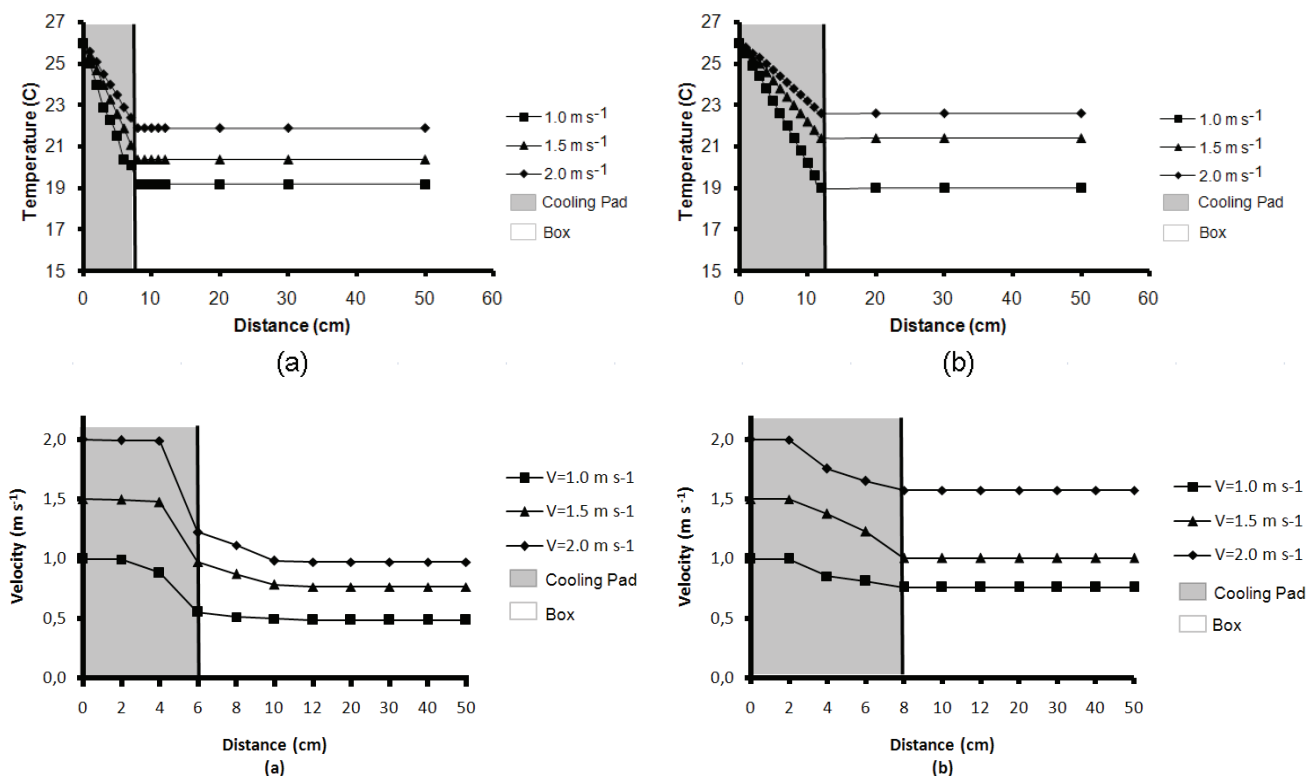


Figure 4. Temperature and velocity distribution of the air in function of distance for three velocities. a) 8cm thick pads, b) 12cm thick pads

The following conclusions can be drawn of the results of this research:

The computational model implemented in CFD for the evaluation of evaporative cooling efficiency in systems with moist porous pads allows for simulation of different configurations such as variation in porosity, pad thickness and inlet air velocity, among others. The results from the developed model and the simulations may help in design of the system and subsequent selection of a porous material with purposed of improving the efficiency of evaporative cooling systems using cooling pads.

It was also found that pads with thicknesses of approximately 8cm and velocities in the range of 1.0 to 1.5m s⁻¹ presented the best efficiencies for system cooling.

Acknowledgements: The authors would like to thank the Brazilian Government agencies FAPEMIG, the National Council of Technological and Scientific Development (CNPq - Brazil) and CAPES for their financial support, as well as the Federal University of Viçosa, Minas Gerais state, Brazil and the National University of Colombia at Medellin, Colombia.
Conflicts of interests: The manuscript was presented and reviewed with the participation of all the authors who declare that there is no conflict of interest that threatens the validity of the results presented.

BIBLIOGRAPHY

- AHMADI, A.H.; HASHEMABADI, S.H. 2008. 3D CFD simulation and experimental validation of particle-to-fluid heat transfer in a randomly packed bed of cylindrical particles. *Internal Com. Heat and Mass Transfer*. 35(9):1183-1189
- ASHRAE. EVAPORATIVE AIR COOLING, CH. 1992. In *HVAC. Systems and Equipment Handdbook.*: Am. Soc. of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, Ga. 980p.
- BOARETTO, N.T. 2009. Genetic improvement in broiler chicken. *Rev. Formação e Informação em Zootecnia*. 1(1):11-18.
- ASTM. 2002. Guide for statistical evaluation of indoor air quality models (D5157-97). In: *American Society for Testing Materials. ASTM Standards on Indoor Air quality*, 2nd edition. West Conshohocken, Pa. p.68-71.
- CARVALHO, V.F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, L.; DAMASCENO, F.A.; SILVA, E.M.P. 2009. Mapping of potential use of evaporative cooling systems in Southeastern Brazil. *Rev. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*. 13(3):358-366.
- FLUENT. 2004 The manual of computational fluid dynamics (CFD), version 5.5. New Hampshire, USA. 625p.
- GANGÜLY, A.; GHOSH, S. 2007. Modeling and analysis of a fan-pad ventilated floricultural greenhouse. *Energy and Buildings*. 39(10):1092-1097.
- GÜNHAN, T.; DEMIR, V.; YAGCIOĞLU, A.K. 2007. Evaluation of the suitability of some local materials as cooling pads. *Biosystems Eng*. 96(3):369-377.
- JAIN, D.E.G.; TIWARI, N. 2002. Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse. *Energy Conversion and Management*. 43(16):2235-2250.
- KITTAS, C.; BARTZANAS, T.; JAFFRIN, A. 2003. Temperature gradients in a partially shaded large greenhouse equipped with evaporative cooling pads. *Biosystems Eng*. 85(1):87-94.
- KOCA, R.W.; HUGHES, W.C.; CHRISTIANSON, L.L. 1991. Evaporative cooling pads: test, procedure and evaluation. *Appl. Eng. Agric*. 7(4):485-90.
- LAUNDER, B.E.; SPALDING, D.B. 1974. The numerical computation of turbulent flows. *Comput. Methods in Appl. Mech. & Eng*. 3(2):269-289.
- LIAO, C.M., CHIU K.H. 2002 Wind tunnel modelling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan Region. *Building and Environ*. 37(2):177-187.
- MOURA, D.J.; NÄÄS, I.A. 1999. Evaluation of thermal efficiency in poultry houses shaded and ventilated artificially, in different orientations during the summer. *Ver. Bras. Ciência Avícola*. 1(1):167-174.
- NIELD, D.A.; BEJAN, A. 2006. *Convection in Porous Media*. 3ed. New York: Springer. 640p.
- NORTON, T.; GRANT, J.; FALLON, E.V.; SUN, D.W. 2009. Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics. *Biosystems Eng*. 103(1):78-99.

17. NORTON, T.; SUN, D.W.; GRANT, J.; FALLON, E.V. 2007. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. *Biores. Techn.* 98(12):2386-2414.
18. OSORIO, S.J.A.; MARTINS, A.M.; TINÔCO, F.F.; DE PAULA, O.M.; SILVA, M.N.; ZAPATA, O.L. 2009. Uso de modelos com CFD para simular a distribuição da temperatura em aviários. In: X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR, 2009, Rosario. *Anales del X Congreso Argentino de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR*.
19. SAPOUNAS, A.A.; NIKITA-MARTZOPOULOU, C.H.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. 2008. Fan and pad evaporative cooling system for greenhouses: evaluation of a numerical and analytical model. *Acta Hort. (ISHS)* 797(1):131-137.
20. SILVA, R.B.T.; NAAS, I.A.; MOÛRA, D.J.M. 2009. Broiler and swine production: animal welfare legislation scenario. *Sci. Agr.* 66(6):713-720.
21. TINÔCO, I.F.F.; FIGUEIREDO, J.L.A.; SANTOS, R.C.; SILVA, J.N.; PUGLIESI, N.L. 2004. Porous pad used in evaporative cooling system. *Rev. Eng. Agr.* 12(1):17-23.
22. TINÔCO, I.F.F.; FIGUEIREDO, J.L.A.; SANTOS, R.C.; PAULA, M.O.; VIGODERIS, R.B.; PUGLISI, N.L. 2002. Evaluation of alternative materials used for pad making in the evaporative cooling system. *Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.* 6(1):147-150.
23. VALE, M.M.; MOÛRA, D.J.M.; NAAS, I.A.; MEDEIROS, O.R.S.; RODRIGUES, A.L.H. 2008. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Sci. Agr.* 65(3):223-229.
24. VIGODERIS, R.B.; TINÔCO, I.F.F.; LACERDA FILHO, A.F.; SILVA, J.N.; PAULI, D. G.; SILVA, C.E.; GÚIMARÃES, M.C.C. 2007. Construction of a reduced-scale wind tunnel to evaluate expanded clay as pad material on evaporative air systems for thermal cooling of animal sheds. *Eng. Agr.* 15(3):191-199.

Received: 3 October 2011

Accepted: 30 March 2012

DETERMINACIONES OSCILATORIAS DE BAJA AMPLITUD DEL SUERO COSTEÑO

LOW AMPLITUDE OSCILLATORY DETERMINATIONS FOR SUERO COSTEÑO

Diofanor Acevedo ¹, Aida Rodríguez ², Alejandro Fernández³

¹Docente Universidad de Cartagena, Programa Ingeniería de Alimentos, Ingeniero de Alimentos, Doctor en Ingeniería de Alimentos, Cartagena Colombia. e-mail: diofanor3000@gmail.com ²Docente Universidad del Valle, Ingeniera Química, Doctor en Ingeniería de Alimentos e-mail: aidarodriguezs@gmail.com ³Docente Universidad del Valle, Ingeniero Agrícola, Doctor en Ciencia de los Alimentos e-mail: alejandro.fernandez@correounivalle.edu.co

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 219 - 225, 2012

RESUMEN

El Suero Costeño es un producto lácteo tradicional fermentado, de la Costa Atlántica colombiana. Se estudiaron los efectos simultáneos del nivel de sólidos totales, la concentración del inóculo y la temperatura de fermentación sobre el módulo de almacenamiento (G') y la tangente de pérdida mínima, por medio de la metodología de superficie respuesta, con tres variables y cinco niveles. El tratamiento estadístico dio lugar a la generación de modelos matemáticos, con los cuales, se determinó que la sinéresis del Suero Costeño está relacionada con un valor bajo del módulo de almacenamiento G' y altos valores de la tangente de pérdida; de acuerdo a esto es posible disminuir la sinéresis aumentando el nivel de sólidos totales y controlando la temperatura de fermentación. Esta información es útil para mejorar el proceso de fabricación industrial del Suero Costeño.

Palabras clave: Suero Costeño, oscilación dinámica, módulo de pérdida, módulo de almacenamiento, tangente de pérdida mínima.

SUMMARY

The Suero Costeño is a traditional fermented milk product of the Colombian Atlantic Coast. The simultaneous effect of fermentation temperature, milk total solid level and total inoculum concentration on the value of storage module (G'), and tangent loss were studied by means of the response surface methodology with three variables and five levels. Statistical treatments resulted in developments of mathematical models. The models explain that the total

solids diminish significantly the minimum tangent loss and syneresis of the Suero Costeño. These models can be used to improve the quality of Suero Costeño.

Key words: Suero Costeño, dynamic oscillation, loss modulus, storage modulus, loss of minimum tangent.

INTRODUCCIÓN

El Suero Costeño es un producto típico de la Costa Norte colombiana, obtenido por la fermentación natural de la leche cruda, que conserva sus ingredientes nutritivos, haciéndolos disponibles a las personas, incluyendo a las intolerantes a la lactosa. Su fermentación produce un sistema de dos fases: una líquida y la otra sólida. La fase líquida es llamada lactosuero y la sólida, como Suero, con propiedades organolépticas deseables, similar a la crema agria, un poco ácida (Cueto & Garcés, 2007; Remeuf, 2003; Samona & Robinson, 1991; Acevedo *et al.* 2010).

El Suero Costeño que se produce industrialmente presenta menor consumo que el artesanal, debido a la diferencia detectada por los consumidores en el sabor y también a la presencia de sinéresis. Estos problemas de calidad se han tratado de resolver, mediante el aumento del tiempo de fermentación y la adición de espesantes, lo cual, aumenta los costos y hace más precioso el producto. Adicional a esto, la pasteurización hace posible una producción de calidad uniforme; no obstante, ocasiona modificaciones en el sabor, porque se eliminan las bacterias autóctonas responsables de las características organolépticas del producto; sin embargo, cuando se emplean inóculos aislados de productos artesa-

nales para fermentar leche pasteurizada, el sabor y la textura no son significativamente diferentes al obtenido con el proceso artesanal (Granados *et al.* 2010; Acevedo *et al.* 2010).

La sinéresis es el mayor defecto que afecta la calidad de los productos lácteos fermentados, ya que se observa líquido sobrenadante en la superficie, causando el rechazo por el consumidor. La susceptibilidad a la sinéresis está asociada al re-arreglo de la red del gel, después de la formación. La sinéresis de los geles es causada por: rápida acidificación, alta temperatura de incubación, excesivo tratamiento térmico, bajo contenido de sólidos y muy baja producción de ácidos (Lucey *et al.* 1998).

La fortificación con proteínas de lactosuero y la homogenización, se utilizan para reducir la sinéresis. Las proteínas del lactosuero, se asocian con las micelas de caseínas después del tratamiento térmico y actúan como material de unión (Aichinger & Servais, 2003; Castilla & Lobato, 2004; Kristo & Biladeris, 2003; Lucey, 1998; Torres, 2006; Caridi *et al.* 2003).

Como los geles son materiales visco-elásticos, las pruebas para evaluar las características de estos sistemas utilizan las propiedades reológicas dinámicas. Los fluidos visco-elásticos son aquellos que presentan, conjuntamente, propiedades de flujo viscoso y sólido elástico (Tarrega *et al.* 2004; Lucey, 2001).

En los ensayos reológicos dinámicos, se aplica, de forma oscilatoria, una pequeña deformación sobre un fluido y se mide la amplitud de la respuesta del esfuerzo cortante y del ángulo de fase entre el esfuerzo cortante y la deformación (Sodini *et al.* 2005; Lucey *et al.* 1998; Castillo *et al.* 2006).

En los geles obtenidos por coagulación enzimática, la susceptibilidad a la sinéresis está asociada con altos valores de la tangente de pérdida, lo cual, indica la tendencia de la red de proteína a re-arreglarse después de la formación del gel. Un bajo esfuerzo de fractura y alta tangente de pérdida a baja frecuencia indica una alta tendencia a presentar sinéresis (Britten & Giroux, 2001).

El objetivo fue determinar los efectos de las variables de procesos en el módulo elástico máximo y la tangente de pérdida mínima y la relación con la sinéresis en el suero costeño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las condiciones de proceso estudiadas en esta investigación fueron: Nivel o concentración de sólidos totales, temperatura de fermentación del Suero Costeño y concentración del inóculo y las bacterias utilizadas fueron: *Lactococcus lactis* (ATCC29146) y *Lactobacillus paracasei* (ATCC 334).

La leche en polvo entera se disolvió en agua destilada junto con el suero parcialmente desmineralizado (SPD); se agitó para disolver bien la mezcla; luego, se calentó a 80°C por 20 minutos; después del tratamiento térmico, se inoculó la leche con los cultivos bacterianos establecidos; se incubó a la temperatura de fermentación seleccionada por 12 horas hasta alcanzar el pH de 4,6; luego de obtenido el coágulo, se realizó su ruptura y la separación del 20% del lactosuero en relación al volumen inicial de leche, haciendo pasar por un filtro; se adicionó 1,2% de sal del volumen inicial de leche y se realizó la homogenización, para conseguir una consistencia adecuada (Amatayakul & Sherkat, 2006). Cabe destacar que los frascos donde se preparó y se fermentó la leche, se esterilizaron a 121°C por 10 minutos.

Se realizaron los experimentos de acuerdo a un diseño central compuesto rotatable de segundo orden, con tres variables y cinco niveles para cada variable. Las variables independientes fueron: Nivel de sólidos totales, que depende de la adición del lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado, temperatura de fermentación y concentración del inóculo, que es función del volumen de inóculo por unidad de volumen de leche a fermentar. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR), para establecer los efectos simultáneos de las variables independientes sobre el módulo de almacenamiento máximo y la tangente de pérdida mínima y la relación con la sinéresis del Suero Costeño. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Respecto al análisis estadístico de los datos, se realizó con el programa MINITAB 14, mediante pruebas de varianza (ANOVA), manteniendo un intervalo de confianza del 95%, para evaluar el efecto principal de cada factor, sólidos totales (ST), temperatura de fermentación (TF), concentración inóculos (CI) y el efecto de interacción entre los mismos sobre la respuesta. Todos los términos del modelo de superficie respuesta de segundo orden polinomial fueron ajustados para cada respuesta, basada en la Ecuación 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad \text{Ec. 1}$$

En la ecuación 1, β_0 es el intercepto; β_1, β_2 y β_3 son los efectos lineales para cada variable (ST, TF, CI); β_{11}, β_{22} y β_{33} son los efectos cuadráticos para esas mismas variables; β_{12}, β_{13} y β_{23} son las interacciones entre las tres variables; ε es el error aleatorio y, finalmente, X_1, X_2 y X_3 , se refieren a las variables independientes (ST, TF y CI), respectivamente. Para simplificar el modelo, solamente se incluyeron los coeficientes que tienen significancia estadística, es decir, $P \leq 0,05$.

Con respecto a los ensayos oscilatorios de baja amplitud, todas las determinaciones de flujo se realizaron en un reó-

metro CVO Bohlin de esfuerzo o deformación controlada, empleando geometría de cono 4/40 de 4°, 40mm de diámetro y una brecha o distancia entre la muestra y la punta medidora (Gap) de 150µm. Con estos parámetros, se tiene la ventaja que la deformación de la muestra sea constante, monitoreado por el software Bohlin Rheometer. Durante las determinaciones de flujo, se mantuvo una temperatura de 25°C. Las muestras, se colocaron en el plato inferior, llamado plato Peltier, posicionando el cono al Gap de 150µm; las mediciones se realizaron por duplicado para cada una de las condiciones de proceso de elaboración del Suero Costeño (Castillo *et al.* 2006).

Medida de la sinéresis: Después de dos días de almacenamiento refrigerado a 4°C, se agitó el suero costeño por 2 minutos, a 400 rpm, con un agitador magnético y, posteriormente, se centrifugaron a 5000g, a 20°C. La sinéresis, se calculó como la cantidad de líquido que se separa del gel, debido a la centrifugación con relación a la masa total del gel que fue centrifugada (Aichinger & Servais, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el diseño de experimentos y, en la tabla 2, se muestran los valores de los niveles más optimizados para los diferentes ensayos a realizar con las tres variables, de acuerdo a Acevedo *et al.* 2010 y al MINITAB 14. Con estos parámetros seleccionados, se ejecutaron combinaciones de las cepas de bacterias *Lactococcus lactis* subs. *lactis* (ATCC29146) y *Lactobacillus paracasei* subs. *paracasei* (ATCC 334), en las proporciones de 3:2 volumen/volumen (v/v), para cada una de las concentraciones estudiadas (Acevedo *et al.* 2010; Walstra, 1996).

La tabla 3 muestra la composición aproximada del lactosuero empleado en este estudio, que es proporcionado por los fabricantes del suero, parcialmente desmineralizado; de acuerdo a estos datos, el bajo contenido de minerales permite el crecimiento de las bacterias lácticas (Aichinger & Servais, 2003).

Tabla 1. Diseño experimental propuesto (metodología de superficie de respuesta).

Ensayos	Temperatura	Sólidos Totales (ST)	Concentración Inóculos (CI)
1	33,50	14,00	3,50
2	37,00	12,00	5,00
3	30,00	16,00	5,00
4	39,38	14,00	3,50
5	33,50	14,00	3,50
6	33,50	10,63	3,50
7	30,00	16,00	2,00
8	37,00	16,00	5,00
9	33,50	14,00	3,50
10	37,00	16,00	2,00
11	37,00	12,00	2,00
12	33,50	14,00	6,02
13	27,60	14,00	3,50
14	30,00	12,00	2,00
15	33,50	14,00	0,97
16	30,00	12,00	5,00

Tabla 2. Factores y niveles.

Factores	Niveles					
Sólidos totales (ST) (X_1)	ST	10,6	12,0	14,0	16,0	17,3
Temperatura de fermentación (TF) ($^{\circ}C$) (X_2)	TF	27,6	30,0	33,5	37,0	39,4
Concentración de inóculo (CI) (% v/v) (X_3)	CI	0,97	2,0	3,5	5,0	6,0

Tabla 3. Composición del Lactosuero en polvo parcialmente desmineralizado (SPD)-

Componentes	Porcentaje (%p/p)
Ceniza	6,11
Grasa	0,10
Lactosa	86,78
Humedad	4,20
Proteína	2,86
Sal	1,56
Acidez titulable	0,08

Con respecto a las mediciones reológicas, el límite crítico de la zona lineal visco-elástica, para la amplitud del esfuerzo y la deformación fueron, respectivamente, 32 Pa y 0,051 a una frecuencia de 1Hz. Al utilizar un barrido de frecuencia entre 0,5 y 5 Hz y un esfuerzo de 20 Pa, se aseguró que todas las pruebas se realizaran en la región lineal visco-elástica.

En la tabla 4, se consignan los resultados obtenidos para cada uno de los factores estudiados en el Suero Costeño, con respecto a las variables G'_{max} y $Tan\delta_{min}$.

Las ecuaciones que describen los efectos simultáneos de ST y TF sobre G'_{max} y $Tan\delta_{min}$ en suero costeño, se presentan a continuación:

Tabla 4. Coeficientes de regresión del modelo polinomial de segundo orden para las variables de respuestas.

Factores	G'_{max} (Pa)	$Tan \delta_{min}$
C	-39665,6	2,03794
TF	754,3	0,08533
ST	3119,7***	-0,43136**
CI	421,0	0,04938
(TF) ²	-11,3	0,00014
(ST) ²	-67,0	0,01811*
(CI) ²	-61,6	-0,00003
T x ST	-0,5	-0,00497**
T x CI	1,8	-0,00528
ST x CI	-3,2	0,00850
R ²	0,920	0,89600

C=Constante, TF= Temp. de fermentación, ST=Sólidos totales; CI= Conc. de Inóculo; R²= Coeficiente de correlación * P ≤ 0,001 ; **P ≤ 0,010; ***P ≤ 0,050, G'_{max} = módulo de almacenamiento, $Tan \delta_{min}$ = tangente de pérdida mínima.

$$G'_{max} = 3119,7X_1 \quad \text{Ec. 2}$$

$$\text{Tan}\delta_{min} = -0,43136X_1 + 0,01811 X_1^2 - 0,00497X_1X_2 \quad \text{Ec. 3}$$

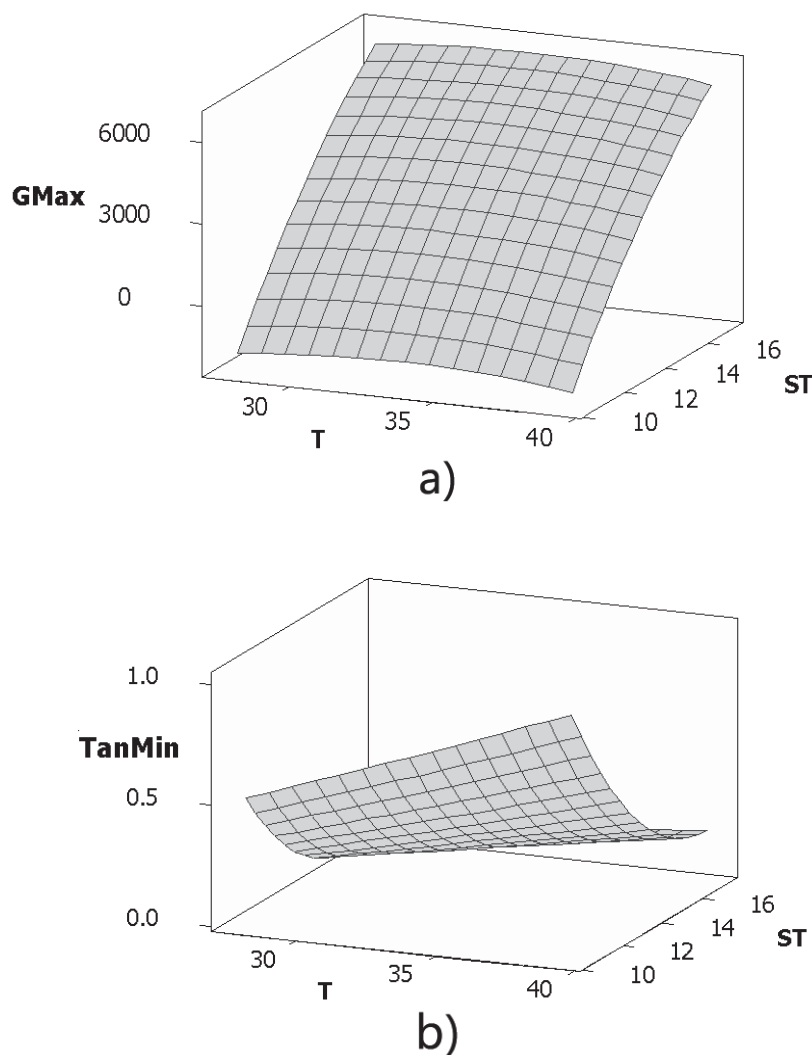
En el caso de las ecuaciones 4 y 5 son obtenidas según el modelo ajustado de la ecuación 2 y con ellas, se construyeron las gráficas de G'_{max} y $\text{Tan}\delta_{min}$ (Gráficas 1 y 2).

Los sólidos totales son el único factor que afectó los valores del G'_{max} , mientras la tangente de pérdida mínima es afectada por el término lineal y el cuadrático de los sólidos totales y la interacción de los sólidos totales con la temperatura (Tabla 4; Gráficas 1 y 2), por lo tanto, la temperatura de fermentación es una variable de proceso crítica. Para reducir la sinéresis en el suero costeño, se debe fermentar a temperaturas menores de 30°C, porque superiores incrementan drásticamente

la tangente mínima y a mayor tangente de pérdida aumenta la sinéresis; estos resultados están de acuerdo a los reportados para yogurt, por Lucey *et al.* 1998.

En la gráfica 1a, la cantidad de sólidos totales (ST) ejerce un efecto lineal positivo sobre G'_{max} , mientras que para la tangente de pérdida mínima tiene un efecto negativo, como se muestra en la gráfica 1b. Se puede evidenciar que G'_{max} aumenta y tangente de pérdida mínima disminuye por el aumento de los ST en el Suero Costeño, produciendo un coágulo más firme.

Se puede decir también que los sólidos totales (ST) tienen un fuerte efecto positivo en la firmeza del Suero Costeño; además, las bajas temperaturas de fermentación y altos sólidos



Gráfica 1. a) Superficie de respuesta de G'_{max} vs ST y vs T. b) Superficie respuesta Tangente Min vs ST y vs Temperatura.

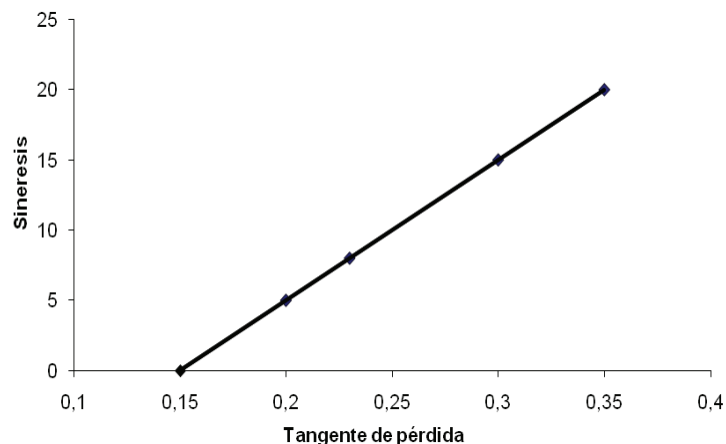
totales aumentan los valores de G' . A bajas temperaturas, el re-arreglo y fusión de las partículas es débil y se obtiene una red más continua y rígida. El aumento de los sólidos totales por la adición de lactosuero, parcialmente desmineralizado, incrementa la región visco-elástica lineal a mayor esfuerzo o deformación, esto puede ser por el entrecruzamiento o puente de las proteínas del lactosuero, lo que ocasiona el aumento del módulo de almacenamiento (Samona & Robinson, 1991).

La tendencia a presentar sinéresis está relacionada con un alto tangente de pérdida mínima, como se puede ver en la gráfica 2. Un incremento en la tangente de pérdida mínima indica que se estarían produciendo re-arreglos en la estructura (Puvanenthiran *et al.* 2001).

Como conclusión, se puede decir que los resultados presentados muestran que el incremento de los sólidos totales con lactosuero, parcialmente desmineralizado, aumenta el

módulo de almacenamiento máximo y disminuye la tangente de pérdida mínima y el incremento de la temperatura de fermentación aumenta la tangente de pérdida mínima y la sinéresis. La susceptibilidad del Suero Costeño, a presentar sinéresis, dependen de: altos valores de la tangente de pérdida y bajos valores del módulo elástico, porque favorecen el re-arreglo de la red de caseínas. Esta información es útil para disminuir la sinéresis en el suero costeño, realizando la fermentación a temperaturas por debajo de 30°C y adicionando lactosuero en polvo hasta 2% en el producto final.

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 Fondo de Comunidades Negras Ictex, la Universidad del Valle, la Universidad de Cartagena, Codegán, otras entidades y personas que hicieron todo esto posible.



$$\text{Sinéresis} = 101,579779 \text{ Tan } \delta_{\min} - 14,3886256$$

$$R^2 = 0,9494$$

Gráfica 2. Relación entre la tangente de pérdida mínima y la sinéresis del Suero Costeño.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, D.; RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ, A. 2010. Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero costeño colombiano. *Información Tecnológica*. (Chile). 21(2):29-36.
2. AICHINGER, P.; SERVAIS, C. 2003. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. *Colloid Surface (Estados Unidos)*. 31:243-255.
3. AMATAYAKUL, T.; SHERKAT, F. 2006. Physical characteristics of set yoghurt made with altered

- with altered casein to whey protein ratios and EPS producing starter cultures at 9 and 14% total solids. *Food Hydrocoll.* (Estados Unidos). 20:314-324.
4. BRITTEN, M.; GIROUX, H. 2001. Acid-induced gelation of whey protein polymers: Effects of pH and calcium concentration during polymerization. *Food Hydrocoll.* 15: 609-617.
 5. CASTILLA, S.; LOBATO, C. 2004. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *Int. Dairy J.* (Estados Unidos). 12:151-159.
 6. CARIDI, P.; MICARI, P.; CAPARRA, P.; CUFARI, A. 2003. Ripening and seasonal changes in groups and in physicochemical properties of the ewes cheese Pecorino del poro. *Int. Dairy J.* (Estados Unidos). 13:191-200.
 7. CASTILLO, M.; LUCEY, J. 2006. Effect of temperature and inoculum concentration on gel microstructure, permeability and syneresis kinetics Cottage cheese-type gels. *Int. Dairy J.* 16:153-163.
 8. CUETO, C.; GARCÉS, F. 2007. Preliminary studies on the microbiological characterization of lactic acid bacteria in Suerocosteño, a Colombian traditional fermented milk product. *Rev. Latam. Microbiol.* (Colombia). 49:11-17.
 9. GRANADOS, C.; GONZALO, G.; ACEVEDO, D. 2010. Tecnificación, caracterización fisicoquímica y microbiológica del queso de capa de Mompox, Colombia. *Rev. Bio. Agro.* (Colombia). 8:440-450.
 10. KRISTO, E.; BILIADERIS, C. 2003. Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yogurt starter culture using response surface methodology. *Food Chem.*(Estados Unidos). 83:437-446.
 11. LUCEY, J. 1998. A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or gluconodelta lactone. *Food Res. Int.* (Estados Unidos). 31:147-155.
 12. LUCEY, J. 2001. The relationship between rheological parameters and whey separation in milk gels. *Food Hydrocoll.* 15:603-608.
 13. LUCEY, J.; MUNRO, P. 1998. Microstructure, permeability and appearance of acid gels made from skim milk. *Food Hydrocoll.* 12(2):159-165.
 14. PUVANENTHIRAN, A.; WILLIAMS, R.; AUGUSTIN, M. 2001. Structure and viscoelastic properties of set yoghurt with altered casein to whey protein ratios. *Int. Dairy J.* 12:383-391.
 15. REMEUF, F. 2003. Preliminary observations on the effects of milk fortification and heating on microstructure and physical properties of stirred yoghurt. *Int. Dairy J.* 13:773-782.
 16. SAMONA, A.; ROBINSON, R. 1991. Enumeration of bifidobacteria in dairy products. *J. Soc. Dairy Tech.* (Estados Unidos). 44:64-69.
 17. SODINI, I.; MONTELLA, J.; TONG, P. 2005. Physical properties of yogurt with various commercial whey protein concentrates. *J. Sci. Food Agriculture* (Estados Unidos). 85: 853-859.
 18. TARREGA, A.; DURAN, L.; COSTELL, E. 2004. Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. *Int. Dairy J.* 18:345-353.
 19. TORRES, M. 2006. Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican fresco cheese. *Food Control. J.* (Estados Unidos). 17:683-690.
 20. WALSTRA, M. 1996. Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties. *J. Biotech.* (Estados Unidos). 84:197-215.

Recibido: Octubre 23 de 2011

Aceptado: Abril 9 de 2012

ANÁLISIS A LOS DISEÑOS DE LOS SOMBREROS DE IRACA ELABORADOS EN COLÓN - GÉNOVA, NARIÑO

ANALYSIS OF THE DESIGNS OF IRACA HATS MADE IN COLÓN - GENOVA, NARIÑO

William Enríquez Ortega¹, Brayan Andrés Millán², Armando Aroca Araújo³

¹ Licenciado en Educación Básica con énfasis en Matemáticas. Profesor del Colegio Liceo Bella Suiza, matematicas20102011@hotmail.com. ² Licenciado Educación Básica con énfasis en Matemáticas, brayanmillan@hotmail.com. ³ Licenciado en Matemáticas y física. Magíster en Educación Matemática. Profesor Asistente de la Universidad del Valle, trabajosdegrado2010@gmail.com, aroca@etnomatematica.org

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 15(1): 227 - 237, 2012

RESUMEN

Este documento presenta un análisis de los entrecruces que se usan en la configuración de los nueve estilos tejidos en sombreros de paja, producidos por la comunidad de Colón, Génova, Nariño, Colombia. Estos sombreros, se conocen bajo los nombres de Común, Pintao, Gallineto-Granizo, Fino, Cuadros, Calado o Huecos, Costeño o Vueltiao, Bandera y Ojo de Perdiz. La interpretación del pensamiento geométrico que se emplea para su diseño tuvo como referencia, entre otros autores, metodologías propuestas por Gerdes (1999) y Aroca (2009), que han sido aplicadas en el continente Africano y en Suramérica. Además, se estableció la existencia de una lógica de construcción, basada en estrategias de conteo y de organización que se evidencian en el entrecruce de las iracas o chullas. Se evidenció una evolución por medio de la aparición de nuevas técnicas, que implican modificaciones en el tejido básico conllevando a cambios en la lógica de construcción y como consecuencia, se generan nuevos diseños, que buscan responder a las necesidades de la sociedad actual. Los artesanos abordan la simetría en sus diseños, aplicando complejos procesos de estimación y de conteo, que se tratarán de mostrar. Las figuras simétricas corresponden a triángulos, cuadriláteros y hexágonos, que se organizan en franjas, que cumplen con propiedades de congruencia, de semejanza y de paralelismo, siendo éste un lenguaje de interpretación de los investigadores, que se valida en el momento de mostrar los resultados a comunidades académicas.

Palabras clave: Etnomatemáticas, educación matemática, esquema de tejido, sombreros de paja.

SUMMARY

This document presents an analysis of the interlaces used in the configuration of nine straw hat styles produced by the Colón - Génova community, Nariño, Colombia. These hats are known under the names of Común, Pintao, Gallineto-Granizo, Fino, Cuadros, Calado or Huecos, Costeño or Vueltiao, Bandera and Bird's-Eye. The interpretation of the geometric thought employed in the design of these hats had like reference, between other authors, the methodologies proposed by Gerdes (1999) and Aroca (2009), that have been applied in the African continent and in South America. Besides, the existence of a logic of the construction became established, based in count strategies and organization that become evident in the crossed of the iracas or chullas. The evolution techniques were evidenced, which imply modifications in the basic fabric bearing to changes in the logic of the construction, resulting in the generation of new designs that search to fulfill to the needs of the present-day society. Craftsmen discuss the symmetry in their designs applying complex processes of estimate and count, which are tried to show. The symmetric figures correspond to triangles, quadrilateral and hexagons organized in stripes that fulfill properties of congruence, similarity and parallelism, being this a language of the researchers interpretation validated upon showing the results to academic communities.

Key words: Etno-mathematics, mathematics education, web scheme, straw hats.

INTRODUCCIÓN

En este artículo, se presentan las estrategias de conteo, de

medición y de diseño que emplean los artesanos del municipio de Colon-Génova, Nariño, en la elaboración de los sombreros de iraca. Dicho conocimiento cultural, se comunica de forma oral y experimental y por años ha sido el sustento económico de la población menos favorecida del municipio. En el tejido de estas artesanías, se evidencia la producción de pensamiento matemático de forma intencionada, o sea, que los artesanos reconocen que están haciendo matemáticas, lo cual, a veces, no se evidencia en otros grupos culturales o sociales. Se manifiesta en estrategias de conteo, de medición, de organización, en la aplicación de secuencias lógicas y la simetría.

Para la interpretación de los diseños y, en particular, su lógica de construcción fue necesario emplear el lenguaje matemático y geométrico que implica el uso de algoritmos. Se entiende por lógica de construcción como el conjunto de procesos de pensamiento, de normas, de medidas, de entrecruces y de regularidades en los diseños, que permiten ejecutar el tejido de los sombreros de iraca, siguiendo los parámetros establecidos por el grupo artesanal. En ningún momento se busca validar las matemáticas de los artesanos, a través de las matemáticas escolares, solo que, por medio de ellas, también se pueden interpretar otras formas de pensamiento matemático o geométrico, tal como lo propuso Aroca (2009), en el análisis de los diseños hechos por las indígenas arhuacas, en 16 figuras tradicionales, que tejen en sus mochilas.

Según varios de los artesanos, sobrevivir de la elaboración de sombreros implica un gran sacrificio y un sinnúmero de dificultades económicas. Según estadísticas del DANE, citadas en el Sitio Oficial del municipio de Colón-Génova, el 65,7% de la población presenta un índice de necesidades básicas y el 31,7% vive en miseria absoluta, la mayoría en el sector rural. Solo en palabras de una artesana, se puede entender la magnitud de la situación: “heredarle a mis hijas el arte de tejer sombreros sería pedirles que vivieran en la miseria y pobreza como nos tocó a nosotros...”.

En este marco deplorable, se producen dos fenómenos en la práctica del tejido de sombreros. Primero, una subvaloración económica externa por parte de los individuos que los comercializan; tal vez en la conformación de políticas cooperativas se enfrentarían a esta explotación y, segunda, una subvaloración interna que muestra la actividad como la última alternativa a la que nadie desea llegar. Es por ello, que uno de los impactos que se buscan con el análisis, que no puede ser meramente matemático, es darle un valor agregado de reconocimiento y de respeto a esta actividad etnomatemática. Otro de los propósitos que se tiene es llevar la discusión y la exploración de estas prácticas y saberes artesanales a las aulas de clases del municipio, tal como lo propone Gerdes

(1999), quien presenta algunas situaciones que involucran diseños en sombreros, crea actividades que involucran el tejido, estudia los diseños, genera nuevos diseños y aplica técnicas en situaciones matemáticas. Relacionado a esto, Knijnik (2010) propone que es necesario relacionar la educación matemática y la etnomatemática con la formación cultural, que los estudiantes traen consigo. Con esta intención, se presenta un beneficio añadido a los profesores, en cuanto a la construcción de situaciones a-didácticas, como lo plantea Brousseau, (2007) (D'Ambrosio, 2011).

En un barrido por algunas concepciones sobre la etnomatemática, encontramos a D'Ambrosio (1985a), en el sentido que las matemáticas se producen en los grupos culturales diferenciados y modelan sus propios patrones de comportamiento, códigos, símbolos, modos de razonamiento, maneras de medir, de clasificar y, en general, de matematizar. Blanco (2006) establece las limitaciones que tienen las matemáticas y la antropología para que cada una de ellas, por separado y pueda explicar las prácticas de grupos sociales bien diferenciados. Barton (1996) indica que la etnomatemática determina cómo los grupos culturales entienden, articulan y usan los conceptos y las prácticas en sus relaciones con sus entornos y que se describen como matemáticos. Estas apreciaciones implican cuál podría ser el tratamiento de las formas de pensar, formas de hacer y formas de decir, cuando se pretendan incorporar al currículo. En la actualidad, la naturaleza genérica de la educación se ha convertido en un problema, como lo plantea D'Ambrosio (1985b), pues crea una barrera para acceder a la sociedad. La investigación en etnomatemáticas brinda una luz al emplear el estudio de la diversidad de prácticas y de saberes, puesto que enseñar matemáticas, desde esta perspectiva, implica tener en cuenta la cultura de los estudiantes. En palabras de D'Ambrosio (1988; 1993), la Etnomatemática proporciona al educador saber quiénes son sus alumnos, lo que hacen y cuál es su mundo social. Para que esto ocurra, él debe ser un investigador, alterando su rutina del salón de clases.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó en dos fases. En la primera, se describieron las técnicas del tejido de cada estilo. Para la recolección de información, se realizaron entrevistas semi estructuradas o abiertas, a diez artesanos del municipio; se usaron dispositivos de audio, fotos y videos, para el posterior análisis (Deslauriers, 2005); además, se hicieron necesarios la implementación de protocolos de observación paralelos a las narraciones y explicaciones de los artesanos. Las primeras entrevistas se realizaron en Colón Génova, en uno de los centros de acopio, donde concurren los artesanos; de la población encuestada, se eligieron aquellos que contaban con mayor experiencia y que conocían la mayoría de los

estilos. Adicional al tejido, también se estudió la incidencia de los cultivadores de la planta de iraca o “paja toquilla”, *Carludovica palmata*; para esto, las entrevistas se realizaron en el municipio de Florencia – Cauca, siguiendo las mismas estrategias con los artesanos; de la misma forma, se indagó a los encargados del proceso de acabado. Esta primera fase de la investigación tomó como soporte a Morse *et al.* (2007), quien en los métodos de investigación cualitativos, describe el análisis etnográfico, como la búsqueda de patrones en los datos y en las ideas, que ayuden a explicar la existencia de éstos.

En la segunda fase, se analizó la simetría en cada uno de los nueve estilos de sombreros, que se muestran en la figura 1. En el análisis, se mencionan las principales características, tomando como referencia las narraciones de los artesanos y las observaciones registradas de su práctica; luego, se efectúa la deconstrucción geométrica de cada diseño. Al determinar la unidad mínima que lo genera o patrón figural, se reconstruyó la figura usando las indicaciones y las propiedades que los artesanos ejecutan; en esta fase, se empleó el programa de geometría dinámica GeoGebra. Se usó la herramienta “intercalar imagen” para insertar una imagen de cada estilo de sombrero, de esta forma, al utilizar rectas paralelas, perpendiculares y también polígonos, encima de la figura, se determinaron las franjas y los patrones que los artesanos usan, lo que conllevó a obtener una representación bidimensional del diseño.

Además de la deconstrucción geométrica basada en Aroca (2009), el análisis también tuvo en cuenta a Gerdes (1988, 1989, 1991, 1994, 1999), donde se analizan algunos diseños relacionados con nuestro objeto de estudio. Por ejemplo, se tomó como ejemplo, los análisis realizados por él a algunos cestos elaborados por indígenas de Brasil y los Bora, del Perú. En el texto, se especifican conjeturas de orden geométrico y aritmético, que se pueden notar en las figuras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para decorar los sombreros, los artesanos utilizan iracas de colores, ya que el color juega un papel destacado a la hora de configurar el patrón figural. No se podría tejer un diseño tradicional si no se incluyen, al menos, dos colores diferentes. No hay desarrollo de pensamiento geométrico significativo si no hay un juego de colores. Las iracas se pintan por separado antes de tejer, utilizando hojas de nogal medicinal, *Juglans regia* o anilinas de colores. Para los artesanos, la implementación del color brinda la posibilidad de configurar sus diseños. Según ellos, en un principio, los sombreros solo eran blancos; a partir de éstos, se aprendieron o se desarrollaron técnicas que les permitían hacer más vistosos sus sombreros y, de la misma forma, obtener un mejor precio en

el mercado. El empleo de color en el tejido creó la diversidad de diseños, estimulando en los artesanos la creatividad y la imaginación.

Tejido básico del sombrero de iraca: Las partes fundamentales del sombrero de iraca, las cuales, se tejen en un orden específico, son la plancha, la copa y la falda, y se describen de forma general a continuación. La plancha es un círculo que oscila entre 10cm y 15cm de diámetro, dependiendo de la talla y del género: Se identifican dos partes adicionales, que son fundamentales en el tejido de un sombrero: el empiezo y el crecío; el primero es la parte inicial del sombrero, en donde se teje en cuatro pasos o cadejos, que forman un óvalo y alrededor de éste se tejerá todo el sombrero y en el crecío, se adicionan o se pegan las iracas necesarias para darle forma al sombrero. Un sombrero debe tener como mínimo tres crecidos, siendo necesario uno en cada parte del sombrero. La copa es un cilindro que tiene como base la plancha, su longitud es de aproximadamente 10cm y su diámetro corresponde a las dimensiones de la plancha. La falda o ala, se teje de acuerdo al modelo, esta puede variar entre 15cm a 20cm. Para diferenciar los modelos de hombres y de mujeres, se dobla la falda hacia arriba para ellos y hacia abajo para ellas.

La construcción de un sombrero de iraca implica los siguientes pasos: Paso 1: Conteo. En esta etapa, se establece el número de iracas, con las cuales, se iniciará la construcción del sombrero; las fibras se cuentan en pares, cinco es el menor número con las que se puede construir un sombrero y el máximo es 15 pares (Figura 2). Paso 2: Amarrado. Se utiliza un trozo del tallo de la iraca partido por la mitad para amarrar los pares de fibras deseados. Las iracas se pueden atar en la mitad o en uno de sus extremos, dependiendo del tipo de sombrero que se quiera tejer. Para los de tamaño medio, se atan a la mitad y para obtener un sombrero para adulto, en uno de sus extremos; este paso tiene como objetivo brindar estabilidad y soporte al empieza (Figura 2). Paso 3: Tejido de los cadejos. Se teje el empieza del sombrero, el cual, se compone de cuatro cadejos. Para iniciar, se pega la primera iraca, levantando un par por medio, por ejemplo, para un sombrero de cinco pares, se levantarán el primer, tercer y quinto par, luego, se baja una iraca de cada par; para pegar la iraca siguiente, se deja la última iraca del lado izquierdo atrás, no se sube y, nuevamente, se levanta un par por medio. El proceso se repite sucesivamente hasta que se hayan dejado atrás las diez iracas, con las que se inicia; en este punto se habrán pegado cinco pares más. A esta primera parte, se le denomina cadejo; luego, se ata y se procede a tejer dos cadejos más, para los cuales, se emplea el mismo proceso; en estos, se agregan cinco pares más en cada uno. En el cuarto cadejo, el que cierra el empieza, se teje usando las iracas del primero, de esta forma se obtiene una










		
Sombrero Común	Sombrero Pintao	Gallineto-Granizo
		
Sombrero Fino	Cuadros	Calado o Huecos
		
Costeño O Vueltaio	Estilo Bandera	Ojo de Perdiz

Figura 1. Los nueve diseños hechos en los sombreros de iraca.

forma esférica, que es la parte inicial, sobre el cual, se tejerá el resto del sombrero. Un mejor ilustración se puede ver la Figura 3-a.

La vuelta o chulla, se teje alrededor del sombrero y puede iniciar con cualquier iraca y en cualquier parte del sombrero; después de establecer el punto de partida, se elige una iraca de trama, se deja abajo el par contiguo a ésta y se sube el siguiente, quedando un par arriba y uno abajo; luego, se pasa la trama y se baja el par que se encontraba arriba, se deja la

iraca de atrás y la de adelante se sube con la iraca siguiente, se forman nuevamente dos pares en cada posición; esto se repite para cada iraca de trama, hasta terminar una vuelta de 360°.

Análisis a los nueve diseños hechos en los sombreros: Se debe precisar que cada uno de los nueve diseños se tejen usando la misma técnica para el sombrero común y, solo en aquellos que presentan huecos o triángulos, Calado o Huecos, Costeño o Vueltaio y Ojo de Perdiz, existen variaciones

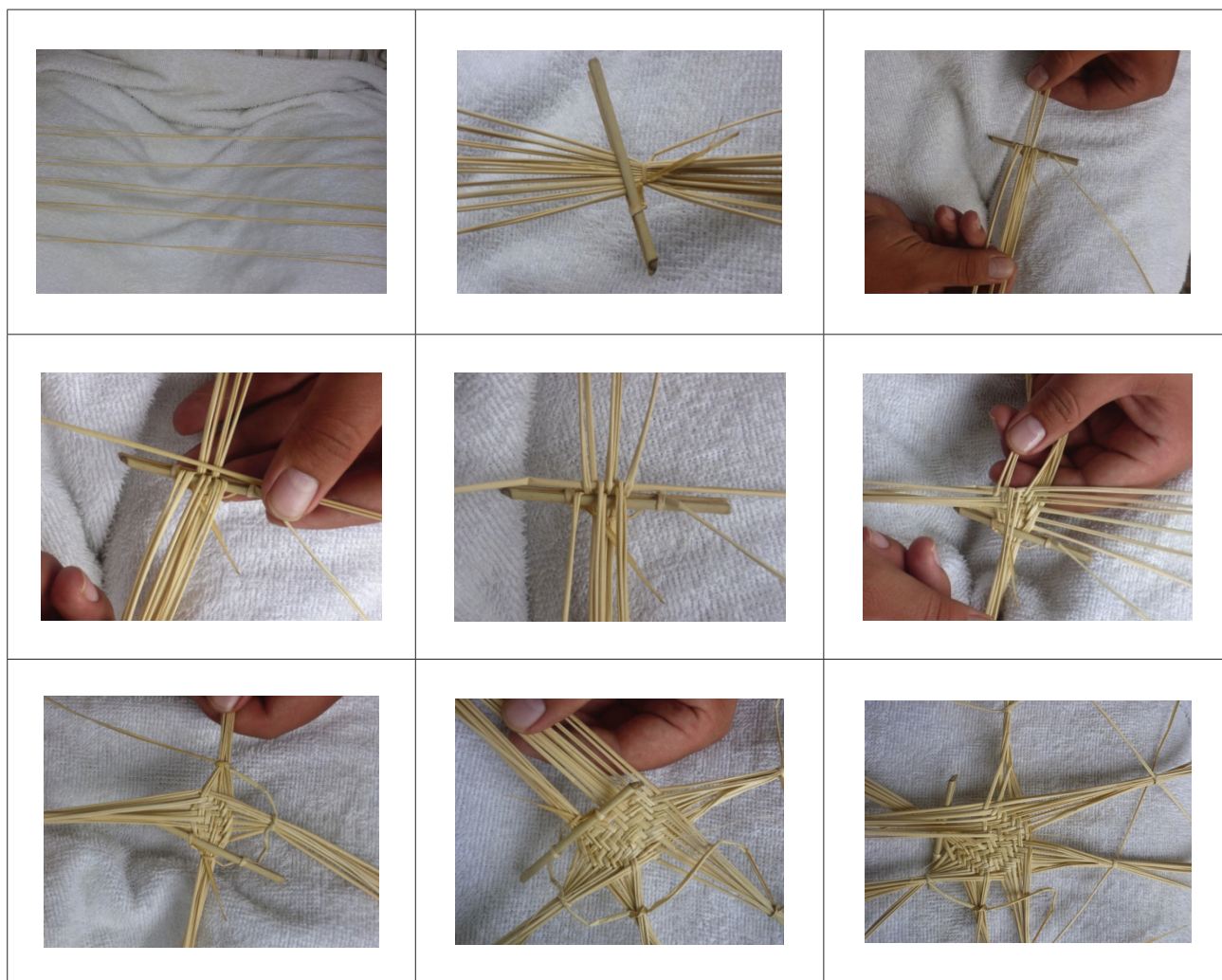


Figura 2. Construcción del empiezo en el sombrero de iraca.

en el tejido; la tabla 1 muestra este proceso de construcción. Los sombreros que solo presentan diseños realizados con iracas de color, Común, Pintao, Gallineto-Granizo, Cuadros y Bandera, se tejen usando técnicas de conteo al momento de intercalar las iracas de trama y de parao en cualquiera de los tres crecíos y, el sombrero fino puede presentar cualquiera de los ocho estilos anteriores, pero su construcción implica condiciones especiales.

Sombrero Común: Es el sombrero de un solo color y no presenta diseños; este tipo se produce en mayor cantidad, puesto que todos lo saben tejer y los principiantes aprenden primero este estilo. El sombrero se teje de izquierda a derecha, el tamaño de la vuelta depende de la habilidad del artesano y determina también la cantidad de vueltas que se

deberá dar para terminar un sombrero, es decir, que entre mayor sea el número de chullas en cada vuelta será menor la cantidad de vueltas para terminar el sombrero.

Descripción de una vuelta o chulla: Los artesanos solo deben organizar las iracas de trama y de parao, para no cometer errores o fallos, los cuales, se producen cuando se intercambia de posición una iraca de trama con una de parao, produciendo un hueco en el sombrero. Otro error típico es crear una vueltaciega y esto ocurre cuando se genera una vuelta que no cierra y continúan un nivel por arriba, sin encontrar un final. Por lo general, cuando una de las dos situaciones anteriores sucede, los artesanos desbaratan o desarman el tejido hasta encontrar el fallo.

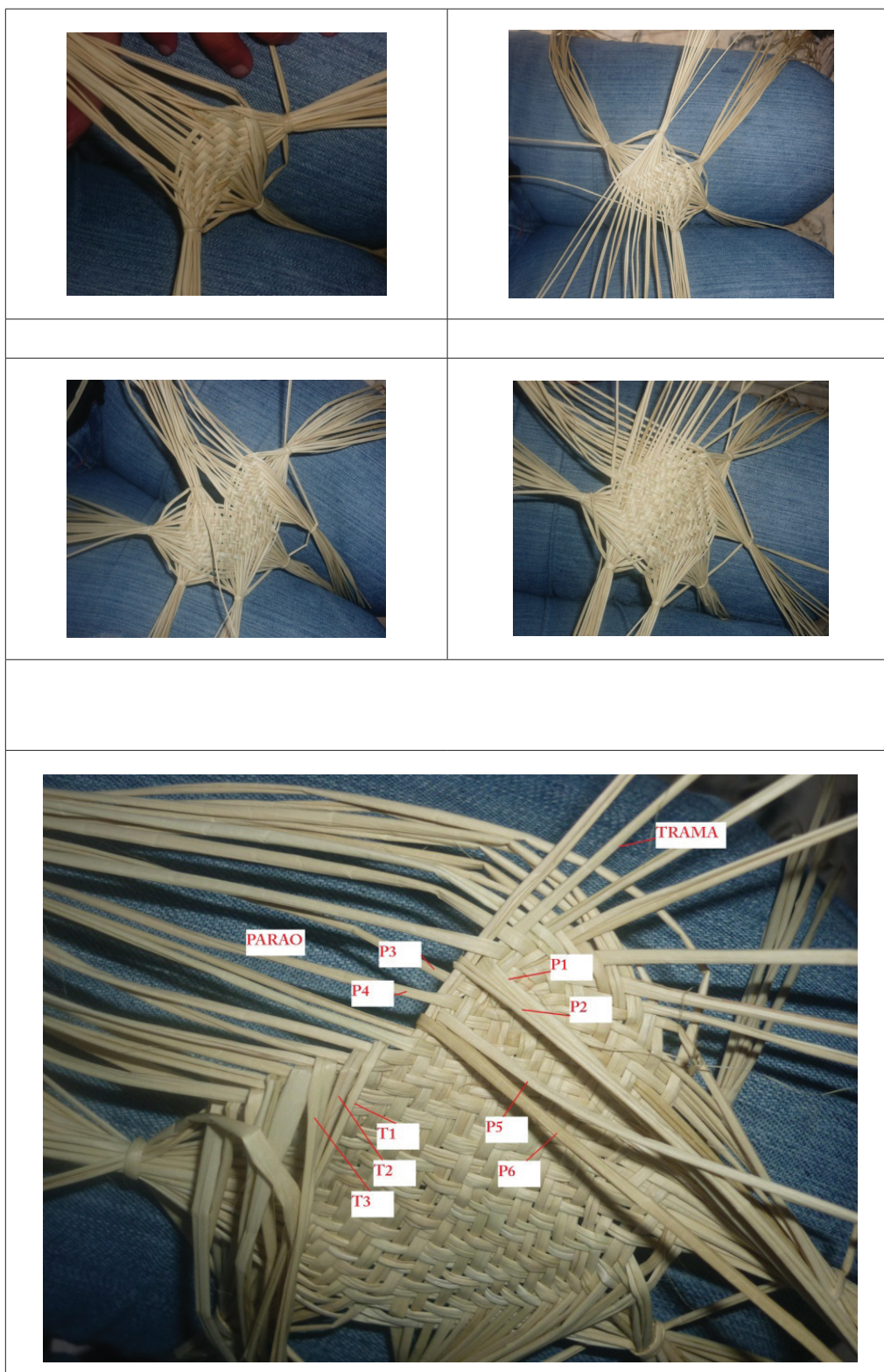


Figura 3. a). Tejido de cadejos en el empiezo del sombrero de iraca. b). Clasificaciones de las iracas de trama y parao.

Tabla 1. Posición de las Iracas de trama y de parao en el tejido del sombrero de iraca.

POSICIÓN DE LAS IRACAS DE PARAO AL PASAR T_n , EN UNA VUELTA DE UNA UNIDAD			
IT	ARRIBA	ABAJO	IDA
T1	(P1, P2)	(P3, P4)	P1
T2	(P2, P3)	(P4, P5)	P2
T3	(P3, P4)	(P5, P6)	P3
T4	(P4, P5)	(P6, P7)	P4
T5	(P5, P6)	(P7, P8)	P5
T_n	$[P_n, (P_n + 1)]$	$[(P_n + 2), (P_n + 3)]$	P_n
POSICIÓN DE LAS IRACAS DE PARAO AL PASAR T_n , EN UNA VUELTA DE DOS UNIDADES			
IT	ARRIBA	ABAJO	IDA
T1	(P1, P2) Y (P5, P6)	(P3, P4) (P7, P8)	P1
T2	(P2, P3)(P6, P7)	(P4, P5)(P8, P9)	P2
T3	(P3, P4)(P7, P8)	(P5, P6)(P9, P10)	P3
T4	(P4, P5)(P8, P9)	(P6, P7)(P10, P11)	P4
T5	(P5, P6)(P9, P10)	(P7, P8)(P11, P12)	P5
T_n	$[P_n, (P_n + 1)][(P_n + 4), (P_n + 5)]$	$[(P_n + 2), (P_n + 3)][(P_n + 6), (P_n + 7)]$	P_n
POSICIÓN DE LAS IRACAS DE PARAO AL PASAR LAS IRACAS DE TRAMA (T) EN UNA VUELTA DE UNA UNIDAD, EN EL ESTILO CORDÓN			
IT	ARRIBA	ABAJO	IDA
T1	P1	(P2, P3, P4, P5, P6, P7)	P1
T2			
T3			
T4			
T5			
T6			
T7	(P3, P4, P5, P6, p7)	P2	P2
T8	(P4, P5, P6, p7)	P3	P3
T9	(P5, P6, p7)	P4	P4
T10	(P6, p7)	P5	P5
T11	(p7)	P6	P6
T12	p7	p7	P7
IT = Iracas de Trama, ID = Iraca Descartada, IDA = Iraca Dejada Atrás			

En la Figura 3-b, se muestra la organización de las iracas de trama y de parao empleadas en el tejido de una vuelta de dos unidades; en ésta, las iracas representadas con las P_i , P1, P2, P3, P4, P5 y P6, corresponden a las iracas de parao, que se deben intercalar para tejer dicha vuelta, y las iracas T_i , siendo ellas las T1, T2, y T3, corresponden a las iracas de trama, que se entrecruzan. La cantidad de iracas de parao que se emplean depende del número de unidades que se deseen tejer de forma simultánea, mientras que las iracas de trama, se emplean una cada vez. El número de unidades que se tejen, se puede evidenciar en la cantidad de pares de iracas que se levantan; por ejemplo, en la Figura

3-b, se encuentran en la parte de arriba los pares de iracas conformadas por P1, P2 y P5, P6, respectivamente, por lo tanto, se tejerán dos unidades. Si la vuelta fuese de una chulla, se encontraría levantado el par P1 y P2, mientras que para cualquiera de los dos casos anteriores, solo se pasaría únicamente la iraca de trama T1. Al pasar T1 se baja el par P1 y P2, dejando atrás a P1 y subiendo nuevamente a P2 con P3, quedando arriba el par conformado por P2 y P3; luego, se baja el par P5 y P6, se deja atrás a P5 y se sube P6 con P7; después de esto, se toma la iraca siguiente P9, quedando entonces los pares P2, P3 y P6, P7, arriba y los pares P4, P5 y P8, P9, abajo. Tomando como referencia el proceso descri-

to anteriormente, al pasar a T2 se descarta a P2 y los pares quedarán ordenados de la siguiente manera: P3, P4 y P7, P8, arriba; P5, P6 y P9, P10, abajo. La tabla 1 ilustra el proceso para Pn en el tejido de una vuelta de una y dos unidades. En el entrecruce de la iraca de parao que se deja atrás, P1 y la de trama que se pasa T1, se genera una parte expuesta, correspondiente a las dimensiones de la fibra de iraca; esta parte se presenta en dos posiciones en el tejido y así generan la superficie del sombrero.

Formas: La superficie del sombrero, se compone de pequeños cuadriláteros de diferentes dimensiones, que se originan por el entrecruce, a los cuales, los artesanos los denominan cuadros o cuadrillos. El largo y ancho de cada uno de estos depende del diámetro de la iraca, por esta razón, sus dimensiones pueden variar, aunque ellas tienden a ser similares. Cada cuadrilátero comparte sus lados con los siguientes, recubriendo totalmente el plano del sombrero. Los artesanos conciben la superficie ideal del sombrero, totalmente recubierta, sin errores o fallos y, para esto, efectúan el entrecruce de iracas, procurando que quede el menor espacio posible entre las fibras y, bajo este estricto cuidado, el patrón figural corresponde a la unidad mínima, que compone la superficie del sombrero, un cuadrilátero.

Sombreros que emplean únicamente el tejido básico: Sombrero Común, Pintao, Gallineto-Granizo, Cuadros y Bandera: El patrón figural de estos cinco estilos corresponde a un cuadrilátero formado por la parte expuesta de una iraca; aquellos que presentan diseños producidos por iracas de color, se tejen intercalando franjas de distintos números de iracas, entre éstos, tenemos desde las más delgadas compuestas por una fibra en el sombrero Gallineto o Granizo y Pintao, hasta las más pronunciadas, pertinentes al estilo Bandera, cuya superficie se compone de tres franjas únicamente. Los diseños presentes en los estilos anteriores, se producen en el lenguaje de las matemáticas escolares, por las transformaciones de isometría correspondientes a traslación, rotación y reflexión puntual.

Sombreros que presentan variaciones en el tejido: Costeño o Vueltiao, Ojo de Perdiz, Calado o Huecos: Los estilos Costeño o Vueltiao y Ojo de Perdiz, se tejen por medio de una técnica denominada cordón; en ésta, se entrecruzan grupos de iracas de trama y de parao de forma simultánea. El patrón figural, además de presentar los cuadriláteros habituales formados en el tejido básico, está compuesto por triángulos escalenos y cuadriláteros de diferentes tamaños, que se presentan en dos o más posiciones. El estilo Calado o Huecos muestra características únicas; se teje a través de la técnica denominada huecos, la cual, intercambia dos o más iracas de posición; el patrón figural corresponde a un hexágono.

La excepción a los anteriores sombreros es el Sombrero Fino, que puede presentar cualquier estilo y es el más escaso de todos, debido a que pocos artesanos se dedican a su construcción por las exigencias en cuanto a la estética y a la precisión del diseño; se teje con iracas especiales, cuyo diámetro asemeja a un hilo de cocer; puede presentar cualquiera de los ocho estilos o combinar varios, por lo cual, puede presentar las características geométricas descritas.

Para identificar algunos campos de aplicación, en los que se puedan vincular los conceptos y las prácticas culturales de los artesanos, dentro del currículo matemático de los colegios del municipio de Colón Génova, se tomarán como referencia los componentes simbólico y cultural, propuestos por Bishop (1999), en el proceso de enculturación del currículo.

Mosaicos presentes en los nueve modelos tejidos en los sombreros de iraca, posibilidades en la educación matemática: Los docentes y los estudiantes pueden emplear los mosaicos para el tema de teselaciones e implementarlos, en vez del desarrollo de las clases habituales, como sugiere Brousseau (2007), en el desarrollo de situaciones, a manera de proyectos, que involucren este tipo de representaciones. Se usarían, preferiblemente, los sombreros en físico, los estudiantes podrían llevar a sus familiares y los sombreros que hacen. Sería una especie de clase comunitaria. Los estudiantes podrían realizar mediciones, comparaciones, representaciones e, incluso, relacionar los diseños presentes en las franjas, a través de movimientos geométricos. Si se quiere avanzar al campo de las representaciones bidimensionales, se sugiere emplear los programas de geometría dinámica, para establecer relaciones entre los diseños, a partir de las imágenes, descargando software libre, como el Geogebra o Regla y Compás; por ejemplo, se podría proponer a los estudiantes que realicen la representación bidimensional del estilo calado: a partir del recorte de una imagen determinen las relaciones geométricas existentes entre los hexágonos que conforman el diseño, usando el programa de geometría dinámica GeoGebra y, luego, reflexionar sobre los procesos de conteo, de organización y de estimación empleados por los artesanos, para producir las relaciones de igualdad, de congruencia, en las franjas que contienen los diseños, para esto deberán consultar a los artesanos.

Una actividad ideal consistiría en desarrollar un proyecto de aula, como propone Bishop (1999), donde los estudiantes aprendan a construir los diseños y, a partir de éstos, estudien las relaciones geométricas producidas, reflexionando sobre la lógica de construcción de los sombreros; por ejemplo, los artesanos consideran que dos figuras son iguales o congruentes cuando se componen de la misma cantidad de fibras de iraca. Estos criterios, se pueden incorporar como pruebas visuales, que permitan a los estudiantes relacionar

figuras, de acuerdo a las relaciones comunes presentes en cada una de ellas y, posteriormente, generalizarse a demostraciones más estructuradas, soportadas en axiomas y en teoremas, tales como los criterios que emplean las relaciones de lados y de ángulos.

Los artesanos cuentan, también, con criterios de paralelismo, pues dos iracas de trama o dos de parao son paralelas, por describir trayectorias en el sombrero que no se cruzan. Todas las iracas de trama o de parao son paralelas entre sí, exceptuando los estilos de sombrero que las entrecruzan, intencionalmente, para producir algún efecto, como por ejemplo, en el estilo calado. Al igual que los criterios de congruencia, esta noción de paralelismo desarrollada y aplicada de forma cultural, puede ser usada como herramienta de visualización: los estudiantes pueden comprobar el paralelismo entre dos iracas en una imagen o un sombrero, para luego establecer similitudes y diferencias entre las concepciones de los artesanos y las teorías establecidas. Además, la forma de los sombreros, permiten explorar otras nociones, no euclidianas, como las de recta y plano.

Por ejemplo, para lograr la simetría entre los triángulos blanco - blanco, negro - negro y negro - blanco, como lo muestra la figura 4, los artesanos emplean estrategias de conteo, procurando que cada triángulo de cada color tenga la misma cantidad de iracas, es decir, que se pretende una sime-

tría aritmética, en la cantidad de iracas que contiene cada triángulo, lo que produce a su vez una franja de triángulos "iguales"; luego, la igualdad entre los triángulos no solo es importante para la estética, sino que también es fundamental, porque triángulos desiguales deforman el sombrero y no hacen posible su construcción; posteriormente, desde una perspectiva geométrica y empleando las nuevas tecnologías, se puede visualizar que entre un triángulo blanco y el negro se puede establecer una relación de igualdad entre sus áreas. Las franjas que rodean el sombrero (Figura 4) son paralelas entre sí y el segmento mayor de los triángulos es igual, por contener la misma cantidad de iracas. Luego, como la distancia entre dos paralelas es constante, los dos triángulos tienen igual base y altura. Como consecuencia, sus áreas son semejantes e, inclusive, iguales. Con esta estrategia es posible estudiar las relaciones geométricas existentes entre todos los diseños presentes, en los nueve estilos de sombrero.

Las investigaciones que conduzcan a que los estudiantes indaguen las prácticas y los saberes con la comunidad y, potencialmente, con sus familiares, puede implicar el reconocimiento de los saberes que entrañan sus prácticas en los diferentes campos y, a partir de aquí, didácticamente hablando, acceder a los saberes formales o escolarizados. Para lograr dicha articulación, se hace necesario cambiar las actividades cotidianas de clase por ambientes dinámicos,

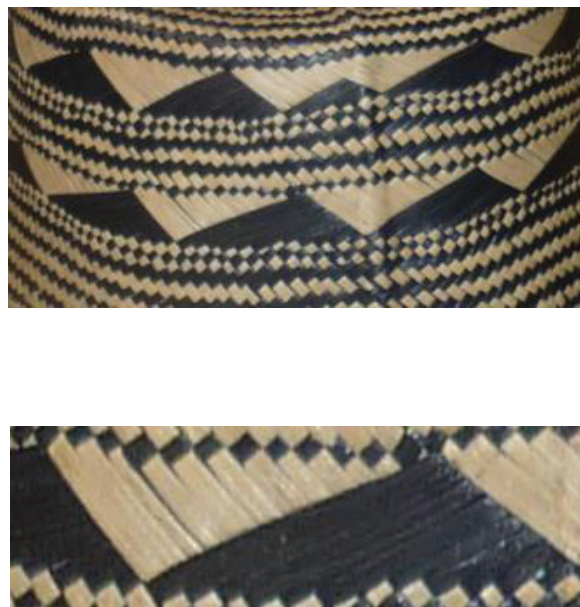


Figura 4. Triángulos generados en el sombrero vueltaio.

que permitan la participación activa de los estudiantes, donde ellos asumen el papel de agentes activos. Es por medio de esta articulación que puede ser posible mediar en el conflicto currículo y cultura. Una mirada al currículo correspondiente al área de educación matemática, en las dos únicas instituciones educativas de Colón-Génova: Leopoldo López Álvarez y Divino Niño, deja vislumbrar la posibilidad de diseñar proyectos de aula en algunos temas, como teselaciones, movimientos geométricos, unidades de medida, entre otros; sin embargo, entre las resistencias u obstáculos que se presentan y, en especial las derivadas por las creencias de los profesores, no es posible pensar que la propuesta encontrará un camino llenos de flores y aplausos. El cambio real está en transformar el currículo en un proyecto curricular, que se base en la investigación, que ayude a los estudiantes a construir su propio conocimiento, a través de la experiencia y que, además, les permita resolver e interactuar con situaciones reales de su comunidad. Corresponde a un estilo similar al que propone el Proyecto Ondas de Colciencias, en todo el territorio nacional.

Por último, el tejido de los sombreros de iraca, en su proceso evolutivo ha desarrollado, aplicado y homogenizado prácticas matemáticas, que se manifiestan en la simetría de los diseños (cuadriláteros, triángulos y hexágonos), presentes en los nueve estilos de sombrero. En este sentido, es prudente articular los saberes escolares con aquellos que son propios de cada grupo cultural. Una alternativa es el desarrollo de proyectos de aula, en los cuales, estudiantes, profesores, padres de familia o artesanos interactúen como investigadores de su propio medio, potencializando el acceso a los saberes "universales" o escolarizados de la educación matemática, en lo posible basado en la educación multicultural, que proponen Orey & Rosa (2004), como un campo de estudio diseñado para aumentar la equidad educativa para todos los estudiantes.

Conflicto de intereses: No se presenta el nombre de ningún artesano o artesana para proteger su identidad. El artículo fue preparado y revisado con la participación de los tres autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** La financiación de esta investigación corrió por cuenta de los investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. AROCA, A. 2009. Geometría en las Mochilas Arhuacas. Por una enseñanza de las matemáticas desde una perspectiva cultural. Ed. Universidad del Valle. (Colombia). 234p.
2. BARTON, B. 1996. Making sense of ethnomathematics: Ethnomathematics is making sense. Rev. Ed. Studies in Math.(Dordrecht).31(1/2):201-233.
3. BISHOP, A. 1999. Enculturación matemática, la educación matemática desde una perspectiva cultural. Ed. Paidós Ibérica S.A. 239p.
4. BLANCO, H. 2006. La etnomatemática en Colombia: un programa en construcción. Rev. Bolema: Bol. Ed. Matemática. 19(26):49-75.
5. BROUSSEAU, G. 2007. Iniciación al estudio de la teoría de las situaciones didácticas. Ed. Editorial Zorzal. (Buenos Aires). 125p.
6. D'AMBROSIO, U. 1985a. Boletines del Grupo de Estudio Internacional de Etnomatemática: ISGEM. Vol. 1, No. 1, Compilación Hilbert Blanco Álvarez. Disponible desde internet en <http://etnomatematica.org/isgem.php> (con acceso el 03/05/2010).
7. D'AMBROSIO, U. 1985b. Socio-Cultural Bases for Mathematics Education. Edi. UNICAMP. (Brasil). 103p.
8. D'AMBROSIO, U. 1988. Etnomatemática se ensina? Rev. Bolema: Bol. Ed. Matemática. 03(4):43-46.
9. D'AMBROSIO, U. 1993. Etnomatemática: Um Programa. [Ethnomathematics: A program]. Rev. Ed. Mat. em Ver.1(1):5-11.
10. D'AMBROSIO, U. 2011. Uma Síntese Sociocultural da História da Matemática. Edi. PROEM. (Brasil). 96p.
11. DESLAURIERS, J. 2005. Investigación cualitativa. Guía práctica. Ed. Papiro. (Colombia). 142p.
12. GERDES, P. 1988. On culture, geometrical thinking and mathematics education. Rev. Ed. Studies Math. 19:137-162.
13. GERDES, P. 1989. Aritmética e Ornamentação Geométrico: Análise de alguns cestos de índios do Brasil. Rev. Bolema: Bol. Ed. Matemática. 4(1):206-247.
14. GERDES, P. 1991. On ethnomathematical research and symmetry. Rev. Symmetry: Culture and Science. 8(1):154-170.
15. GERDES, P. 1994. Fivefold Symmetry and (Basket) Weaving in Various Cultures. En: Hargittai, I.(ed). Fivefold Symmetry. (Singapore). p.245-262.

16. GERDES, P. 1999. Geometry from Africa. Mathematical and educational explorations. Ed. Current Printing. (Estados Unidos). 217p.
17. KNIJNIK, G. 2010. Entrelaçamentos e dispersões de enunciados no discurso da educação matemática escolar: um estudo sobre a importância de trazer a "realidade". Rev. Bolema: Bol. Ed. Matemática. 23(37):863-886.
18. MORSE, H.; BOTTORFF, J.; ZIMMERMAN, E. 2007. Asuntos críticos en los métodos de investigación cualitativa. Ed. Universidad de Antioquia (Colombia). 185p.
19. OREY, D.; ROSA, M. 2004. Ethnomathematics and the teaching and learning mathematics from a multicultural perspective. En: Favilli, F. eds. Ethnomathematics and mathematics education. Tipografia Editrice Pisana. (Copenhagen). 156p.
20. Sitio oficial de Colón Génova Nariño. Disponible desde internet en: <http://www.colongenova-narino.gov.co/sitio.shtml?apc=B-xx1&x=2079202#arriba> (con acceso el 29/11/2011).

Recibido: Enero 5 de 2012
Aceptado: Marzo 30 de 2012