

EDITORIAL

LA ASAMBLEA DE FUNDADORES DE LA U.D.C.A

Germán Anzola Montero
Rector

¿Por qué es significativa la Asamblea de Fundadores de la U.D.C.A? Inicio este Editorial para la Revista Científica con esta pregunta, con el propósito que todos entendamos las funciones y las obligaciones de nuestros Miembros Fundadores. Vale la pena traer a la memoria, que hace más de 25 años, se unieron distinguidos personajes, profesionales de diversas áreas del conocimiento, para instituir un proyecto educativo, al que asignaron el nombre Corporación Universitaria de Ciencias Agropecuarias. Sin duda alguna, sus 13 fundadores, visionaron este proyecto, el cual, actualmente, reúne un substancial número de estudiantes, tanto de pregrado como de postgrado, docentes de alta especialidad y administrativos calificados, en las diferentes áreas y dependencias de la Institución.

Es menester de la Asamblea estar comprometido con este quehacer y de avalar las innumerables propuestas, todas a favor del bienestar y la calidad de la Universidad, tanto en el ámbito académico como en el administrativo. Año tras año, la Rectoría entrega un informe detallado de lo ejecutado en el último periodo y los nuevos proyectos y planes, para el siguiente.

Este año, a sus Fundadores, se les notificó que en el periodo 2008 – 2009, la Universidad continuó empeñada en buscar nuevas maneras y estrategias para alcanzar indicadores de excelencia en nuestro quehacer universitario y para lograrlo, la Rectoría siguió orientando, tanto la nómina de directivos, de personal académico, de funcionarios y de estudiantes, con criterios de innovación y de permanente cambio, con miras a ofrecer una función educativa en lo superior, equivalente a la oferta que brindan a la sociedad, las instituciones de educación superior más desarrolladas del país.

Consecuente con ello, la Rectoría compartió los planes y los proyectos que hemos de trabajar en este nuevo

lapso académico, que inició en el mes de marzo de 2009. Tales acciones representan nuestra respuesta a las necesidades expresas de la Universidad del siglo XXI y que comprenden la incorporación de renovadas propuestas, para cumplir el quehacer docente, investigativo y de extensión.

En cumplimiento con estos planes, que confiamos en hacerlos realidad y, específicamente, en el presente año, son los de obtener los registros calificados, por lo menos, para tres programas de Maestría de Investigación, logro que sólo será posible, en la medida que las iniciativas y las orientaciones de la Rectoría, se complementen con la consolidación de los grupos de investigación, afines al objeto de estudio de las Maestrías, sometidas a consideración del MEN, reto que debe recibir todo el apoyo por parte de las Vicerrektorías Académica y de Investigaciones. La propuesta Maestrías de Investigación es el sendero para conseguir, en tres años, la acreditación institucional y lograr el inicio de programas de Doctorado.

Nuestro objetivo, en materia de cobertura, no solo debe ser a nivel de los programas de pregrado sino también de postgrados, fundamentado en las realidades de la oferta y la demanda, generado por el ingreso a estudios de educación superior.

Otro proyecto en curso y que compromete a todos los cuerpos colegiados de la U.D.C.A, es el de implementación y de manejo de las TIC, soporte esencial de una universidad moderna, en el cumplimiento de sus funciones sustantivas y en su óptima y adecuada administración.

Todos los anteriores son hechos que reafirman mi compromiso, en primera instancia, como Rector y de todos los funcionarios de la Universidad, con la Asamblea de Fundadores.

El presente y el futuro de la U.D.C.A, en nuestras manos, me permiten recordar, cuando hace 23 años, inspirado en mi condición de educador, de docente-investigador universitario, en el conocimiento de la universidad colombiana, pero sobre todas las quimeras, en los requerimientos de jóvenes hombres y mujeres, colombianos ellos, que requieren de una educación superior asequible a sus condiciones sociales y económicas y convencido, sin tipo de impedimento y barrera, de la inmensa felicidad sentida por el servicio que se puede prestar a los demás, imaginé una UNIVERSIDAD y no otro ideal. Es así, como con el apoyo del Consejo Directivo y acompañado de un significativo número de universitarios y universitarias, empezamos a construir un proyecto educativo, hoy llamado UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A.

Afrontando con decisión las dificultades, siempre de orden económico-financiero y las propias del quehacer universitario, nos hemos unido, a hoy, un sinnúmero de personas convencidas que, en ellos, académicos y académicas, tenemos el mejor recurso y talento para perseverar con este proyecto educativo.

Los cinco lustros de labor, en continua mejora y perfeccionamiento de nuestra misión académica, venciendo dificultades, aprendiendo día a día, gestando innovación, con visión firme frente a las exigencias del conocimiento y experiencia académica es lo que nos permiten creer en 25 años más, de nuestra Universidad y, con ello, es que superamos las limitaciones de orden financiero.

Como la Rectoría lo indicó a sus miembros Fundadores, se inició el proyecto UNIVERSIDAD PARA EL SIGLO XXI, que contempla el fortaleciendo de todos aquellos procesos que favorezcan la generación del conocimiento en las diferentes áreas de trabajo, pues este nuevo conocimiento, es el que puede lograr los cambios conducentes a la revolución científica y tecnológica, que requiere y exige el país. En esta ocasión debo

ratificarme, con pleno y total convencimiento, para que la U.D.C.A dirija todos sus esfuerzos investigativos a favor y búsqueda de solución a nuestros problemas y en beneficio del desarrollo oportuno, favorable y efectivo en lo social y económico, específicamente, de la sociedad colombiana.

El informe dirigido a la Asamblea de Fundadores, lo concluí proponiéndoles hacer, como propio de nuestro PEI, lo consignado en el reciente informe del Consejo Nacional de Acreditación, en un documento titulado Lineamientos para la Acreditación de Alta Calidad de Maestrías y Doctorados¹, y que haciendo referencia a la Universidad de hoy al concepto de Universidad Plena, señala: *“En primer lugar, el espectacular avance que se ha logrado en algunos campos del conocimiento (v.gr. biología molecular, nuevos materiales, informática, etc.) ha acortado dramáticamente la distancia entre el laboratorio y la línea de producción. Anteriormente había un “ciclo de gestación de aplicaciones del conocimiento” de 15 a 50 años que separaba la investigación básica que se realizaba en los laboratorios de sus posibles aplicaciones en el sector productivo o en la comunidad, ya sea como un nuevo producto (final o intermedio), proceso de producción o servicio. Actualmente dichos ciclos se han acortado a dos o tres años en algunos casos, debido al hecho que los resultados y productos de la investigación en laboratorios científicos muy rápidamente encuentran aplicaciones de diversa índole en el sector productivo, o en la solución de problemas sociales o ambientales en su entorno. La distinción clásica entre investigación básica, investigación aplicada y desarrollo tecnológico se desdibuja y evoluciona hacia procesos interactivos o espirales virtuosas de generación y uso de conocimiento que enriquece este último.*

En segundo lugar, el impacto del progreso científico se ha visto potenciado por otra característica importante que tiene la Sociedad o Economía del Conocimiento. Se está pasando la era de sistemas de producción basados eminentemente en recursos físicos y energéticos, a sistemas de producción basados en el conocimiento, o cuya eficiencia y productividad dependen de su capacidad de generación y uso del conocimiento. Este último, se ha convertido en un factor de producción

¹ Consejo Nacional de Acreditación. 2009. Disponible desde Internet en: www.cna.gov.co (con acceso 23/02/09).

que desempeña un papel fundamental en la solución de problemas sociales y ambientales.

En tercer lugar, los problemas de desarrollo social y de sostenibilidad de nuestra sociedad y su entorno se han incrementado, a pesar del avance notable de la ciencia y la tecnología y de la creciente capacidad para solucionar problemas que ello genera. Los desafíos

que hoy se confrontan en términos de sostenibilidad económica (generación de empleo), sostenibilidad social (asegurar un desarrollo con inclusión social) y sostenibilidad ambiental (manejo sostenible de la biodiversidad y del medio ambiente) generan la necesidad ineludible de crear conocimiento que sea relevante para la solución de tales problemas, buscando aplicarlo en forma innovadora a su solución...”.

EVALUACIÓN DEL DAÑO EN EL ADN EN DOS POBLACIONES COLOMBIANAS DE AGRICULTORES Y FLORICULTORES

ASSESSMENT OF DNA DAMAGE IN TWO COLOMBIAN POPULATIONS OF AGRICULTURIST AND FLORICULTURIST

Andrés Felipe Muñoz Aristizábal¹

RESUMEN

Algunas investigaciones demuestran el potencial genotóxico de ciertos plaguicidas sobre los seres humanos, lo cual, hace necesario el desarrollo de metodologías que permitan evaluar el impacto de dichas sustancias, para alterar el ADN. El ensayo del cometa alcalino es un método económico, rápido y sensible que detecta, principalmente, rompimientos de cadena sencilla y sitios lábiles al-álcali en células individuales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el daño en el ADN, en una población de floricultores y agricultores ocupacionalmente en contacto con plaguicidas y compararlo con un grupo control. Se obtuvieron muestras de sangre periférica de 101 personas, entre trabajadores expuestos e individuos del grupo control. El ensayo del cometa, se realizó utilizando sangre total y linfocitos aislados, con muestras embebidas en agarosa y puestas sobre una lámina portaobjetos; luego expuestas a una solución de lisis con detergente y, posteriormente, sometidas a una corriente eléctrica, con buffer alcalino. El daño en el ADN fue evaluado por medición del largo de la cola (migración de ADN) y por la morfología que presentaban los cometas. En los agricultores, el ensayo mostró un incremento significativo ($p < 0,001$) del daño

en el ADN, comparado con los floricultores y el grupo control; entre estos últimos, no se hallaron diferencias. Los resultados sugieren que el ensayo de cometa puede ser un buen biomarcador de exposición ocupacional a plaguicidas y que puede ser utilizado para este tipo de estudios.

Palabras clave: Genotoxicidad, ensayo del Cometa, plaguicidas, exposición ocupacional.

SUMMARY

Some research results prove the potential genotoxic activity of pesticides on human beings, which makes the development of methodologies that allow the determination of capacity of these substances to damage the DNA necessary. The comet assay is an economic, rapid and sensitive method that allows to detect, mainly, single strand breaks and alkaly-labil sites in individual cells. The aim of the present study was to evaluate the DNA damage by means of the comet assay in populations engaged in floriculture and agriculture activities, with variable exposure to pesticides, compared with a control group. Peripheral blood samples from a total of 101 individuals were obtained. The comet assay was performed using total peripheral blood as well as isolated lymphocytes. For this procedure the samples were embedded in agarose and set on a microscope slide, exposed to a lyses solution with detergent and finally to electrophoresis with alkaline buffer. Measuring the length of the comet tail (DNA migration) and the morphology of the comets, the DNA damage was estimated. In the exposed farmers, the comet assay revealed a statistically

¹ Biólogo y Químico, Magister en Biología con énfasis en Genética Humana. Dirección para correspondencia: Laboratorio de Biología Molecular. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Bogotá, Colombia. Calle 222 N° 54 – 37. Telefono 6684700 ext 154. Correo electrónico: andremunoz@udca.edu.co

significant increase in DNA damage ($P < 0.001$) versus floriculturists and the control group, but no difference between these later two groups were observed. The results suggest that the comet assay could be a reliable biomarker for occupational exposure to pesticides and that it could also be useful for similar studies.

Key words: Genotoxicity, Comet assay, pesticides, occupational exposure.

INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas han sido un aliado, sobre todo para los países en vías de desarrollo, en sus esfuerzos a erradicar enfermedades endémicas llevadas por insectos, producir alimentos y proteger bosques; sin embargo, algunos son una fuente de riesgo potencial al ambiente y organismos, que no son su objetivo. Son varios los estudios que relacionan la exposición a ciertos plaguicidas solos y en mezclas (organofosforados, clordano, dieldrin, aldrin dicamba, atrazina y lindano, entre otros) con un riesgo aumentado a linfomas No-Hodgkin, leucemia y mieloma múltiple (Orsi *et al.* 2007; Merhi *et al.* 2007; Mester *et al.* 2006; De Roos *et al.* 2003); sin embargo, estudios epidemiológicos sobre el riesgo de cáncer en agricultores generan resultados confusos (Viel *et al.* 1998; Blair *et al.* 1998); de ahí, los efectos indeseables sobre la salud, causados por ciertos plaguicidas en la población son de interés especial. Entre estos son sus efectos como genotóxicos, incluyendo el cáncer y varias otras enfermedades genéticas (IARC, 1991; Lebailly *et al.* 1998). El biomonitoreo de poblaciones expuestas a potenciales cancerígenos es un sistema temprano de advertencia para enfermedades genéticas o cáncer, lo que permite identificar factores de riesgo y, a la vez, adaptar medidas de control (Kassie *et al.* 2000). Muchas técnicas son desarrolladas para vigilar las poblaciones humanas, expuestas a genotóxicos ambientales; por ejemplo el biomonitoreo en humanos puede ser realizado usando diferentes marcadores genéticos; los marcadores citogenéticas, como aberraciones cromosómicas (CA), micronúcleos (MN) y el intercambio de cromátides hermana (ICHs) están entre los más ampliamente usados, para evaluar los efectos genotóxicos de los plaguicidas. Varias investigaciones aplican pruebas citogenéticas para evaluar el potencial genotóxico de la exposición ocupacional a plaguicidas en poblaciones expuestas de varios países (Davies *et al.* 1998; Blasiak *et al.* 1999; Gómez-Arroyo *et al.*

2000; Zeljezic & Garaj-Vrhovac, 2001) y en diferentes reportes de efectos genotóxicos positivos en poblaciones expuestas a plaguicidas (Garaj-Vrhovac & Zeljezic, 1999; Antonucci & Colus, 2000; Álvarez *et al.* 2001; Tisch *et al.* 2002; Rahman *et al.* 2002; Varona *et al.* 2003), así como negativos (Lucero *et al.* 2000; Pastor *et al.* 2001a,b). Este conflicto en los resultados de los biomonitoreos de plaguicidas prueba la heterogeneidad de la exposición (e.g. agricultores, floricultores y trabajadores en la manufactura de plaguicidas), los diferentes usos de los plaguicidas y las medidas de protección.

Durante los últimos años, el ensayo del cometa, también llamado Electroforesis Alcalina en Células Individuales (EACI), incrementó su uso en estudios de biomonitoreo humano. Esta técnica descrita en primera instancia por Ostling & Johanson (1984) y modificado por Singh *et al.* (1988) y Olive *et al.* (1988) es una técnica sensible, eficiente y fácil de hacer, permitiendo observar el daño en el ADN de forma individual. Este daño producido obedece a diferentes tipos de interacción con los ácidos nucleicos, lo cual, puede generar rupturas de cadena sencilla, rupturas de cadena doble, entrecruzamientos y sitios lábiles al álcali. La metodología permite evidenciar el efecto total de una o varias sustancias genotóxicas sobre el ADN, no discrimina en el efecto que puede tener cada una de ellas ante la exposición, pero sí permite evaluar todo tipo de daño estructural en la hebra de ADN, convirtiéndose en un excelente biomarcador de exposición. La técnica, se basa en la fijación de células en un gel de agarosa, exponerlas a detergentes que disuelvan la membrana citoplasmática y limpiar residuos de organelos, de esta manera, se obtienen núcleos desnudos que se sumergen en un buffer alcalino, que permite desenrollar el ADN, posteriormente someter estos núcleos a una corriente eléctrica, así los daños estructurales en la hebra de ADN generan pequeños fragmentos que migran desde el interior del núcleo al exterior; la cantidad de rompimientos en el ADN en las células se ve reflejado en la formación de cola de migración y este daño en el ADN es directamente proporcional a la longitud de la cola o la cantidad de fragmentos que se encuentren fuera del núcleo (Anderson *et al.* 1994, Rojas *et al.* 1999, McKelvey & Valerie, 1998). En el presente trabajo el ensayo del cometa fue usado para evaluar el daño en el ADN de agricultores y floricultores ocupacionalmente expuestos a diferentes clases de plaguicidas en su lugar de trabajo y compararlo con un grupo control.

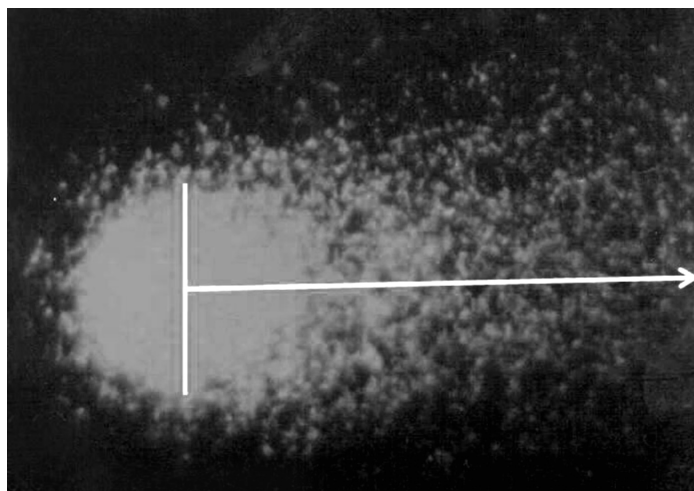
MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos: El ensayo del cometa fue realizado en 101 muestras de sangre periférica pertenecientes a agricultores, floricultores y un grupo control. El grupo de agricultores de papa y de cebolla de bulbo fue constituida por 33 trabajadores que laboraban en ambos cultivos, realizando actividades de siembra, cosecha y aplicación de plaguicidas, entre las más importantes. Esta población estuvo formada por 18 hombres y 15 mujeres, con promedios de edad de 28,1 años y 34,4 años, respectivamente; quienes tienen una media de 15,1 años dedicados a esta actividad; estos son cultivos abiertos y se encuentran ubicadas en las veredas de Páramo Centro, Patagui, Tibaquirá y Valle, en el municipio de Samacá (Boyacá), en el centro de Colombia. La población de floricultores fue constituida por 35 trabajadores, 18 hombres y 17 mujeres, con promedios de edad de 32,4 y 35 años, respectivamente; empleados en diferentes secciones de dos empresas floricultoras, en la que se produce alstroemeria y pompón, y presentan una media de 7,6 años trabajando en estas empresas. Los cultivos se encuentran en el municipio de Madrid (Cundinamarca) y el proceso de cultivo se realiza bajo cubierta; las principales actividades de estos trabajadores son el cuidado de los cultivos, la aplicación de plaguicidas y el empaque de flores. El grupo control estuvo compuesto por 33 personas, 15 mujeres y 18 hombres, residentes en las poblaciones donde se encuentran ubicados los cultivos, quienes no presentaban ninguna exposición ocupacional a plaguicidas, además no tenían antecedentes de exposición a plaguicidas o a agentes químicos o físicos que pudiesen ser tóxicos para los humanos. Las condiciones socioeconómicas de las poblaciones fueron similares. Cada una de las personas participantes del estudio en el momento de la toma de la sangre firmaron un consentimiento informado, en el cual, se les daba a conocer los objetivos del estudio y permitían el uso de su sangre con fines investigativos; así mismo, se tomó un cuadro hemático y se evaluó el nivel de acetil colina esterasa. Se excluyeron del estudio personas que se encontraban ingiriendo alguna clase de medicamentos o habían sido expuestos a algún tipo de radiación (terapéutica o diagnóstica) en los últimos doce meses antes de la toma de sangre. El estado de salud de todas las personas participantes fue evaluado a través de un examen médico; todos, en general, presentaban buena condición física. Los plaguicidas utilizados, los detalles de la historia clínica, los datos personales y la información

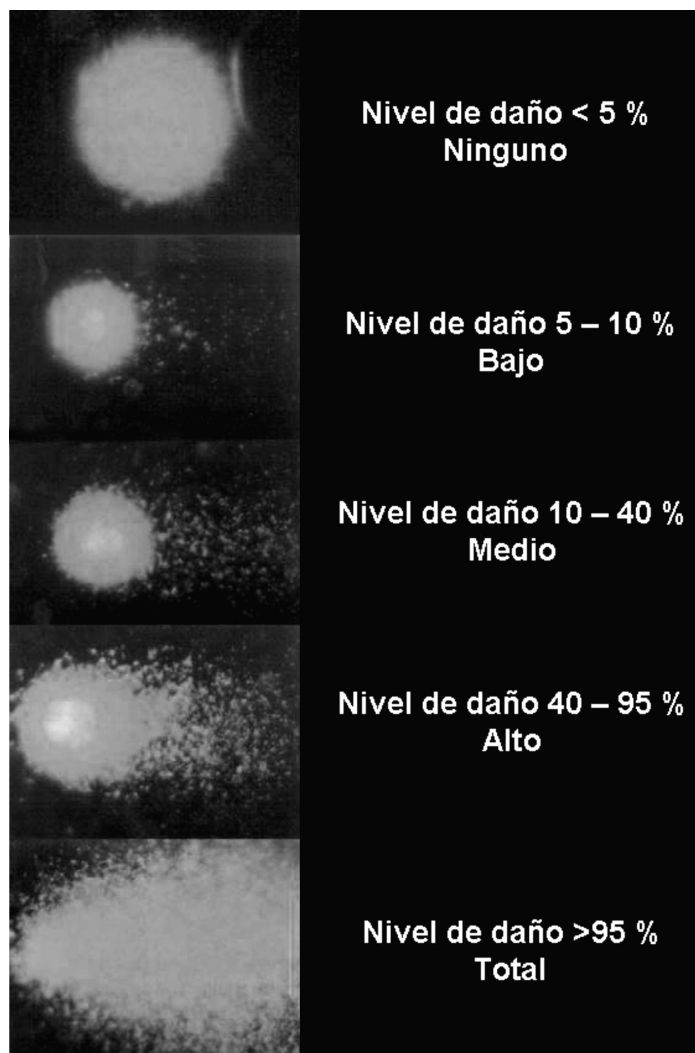
sobre el consumo de alcohol y cigarrillo fueron obtenidos por medio de la aplicación de un cuestionario estándar, por parte de personal entrenado.

Ensayo del cometa: La muestra de sangre fue tomada en Vacutainer® con Heparina y consecutivamente fue almacenada en hielo y llevada al laboratorio. El ensayo del cometa fue realizado en condiciones alcalinas de pH, de acuerdo a Tice (2000); para tal fin, sobre una lámina portaobjeto con una capa delgada de agarosa de punto de fusión normal, 1% se depositó una mezcla de 10 μ L de muestra suspendida en 90 μ L de agarosa de punto de fusión bajo 0,5%, después de polimerizar, se adicionó una nueva capa de 100 μ L agarosa de punto de fusión bajo 0,5%; durante la polimerización del gel, una lámina cubreobjeto, se colocó para obtener una capa delgada y uniforme; de cada individuo, se realizaron tres réplicas. Posteriormente, las láminas fueron inmersas en solución de lisis (NaCl 2,5M, EDTA 100mM, Tris-HCl 10mM, Lauryl sarcosinato de sodio 1%, Tritón 1% y DMSO 10%), a 4°C. Después de dos horas, las láminas fueron puestas en reposo alcalino en buffer de electroforesis (NaOH 10N y EDTA 200mM, pH 13,1), por 30 minutos. Luego del reposo alcalino, la electroforesis es realizada en una cámara de electroforesis horizontal, a baja temperatura, por 30 minutos y 300 mA. Las láminas fueron sacadas y lavadas con solución neutralizante (Tris-HCl pH 7,5), por 15 minutos. Para la lectura de las láminas, se colorearon con bromuro de etidio 10% y se observaron en un microscopio de fluorescencia Zeiss, equipado con un filtro excitador de 515-560nm. Para cada lámina fueron analizadas 50 células, determinando el largo de la cola del cometa (Tice, 2000), midiendo desde el centro del núcleo hasta el punto más alejado de la cola del cometa, este valor se da en micras (Fotografía 1). También, se realizaron mediciones de la morfología del núcleo (Anderson *et al.* 1994), que los clasifica por el nivel de daño que presenta el cometa, así: ninguno (0-5% de daño en el ADN), bajo (5-10%), medio (10-40%), alto (40-95%) y total (95-100%) (Fotografía 2). Los reactivos utilizados fueron obtenidos de los laboratorios Sigma, Analyticlas, Gibco y Merk.

Análisis Estadístico: Para analizar las posibles diferencias entre el largo de la cola del cometa entre las poblaciones estudiadas y la relación con otras variables, como la edad, los implementos de protección, el tiempo de exposición y el género, se utilizaron las pruebas estadísticas de t student, test pareado de Wilcoxon y Kruskal Wallis con el programa estadístico STATISTIX 7.0®.



Fotografía 1. Medición del largo de la cola del cometa, medido en micras.

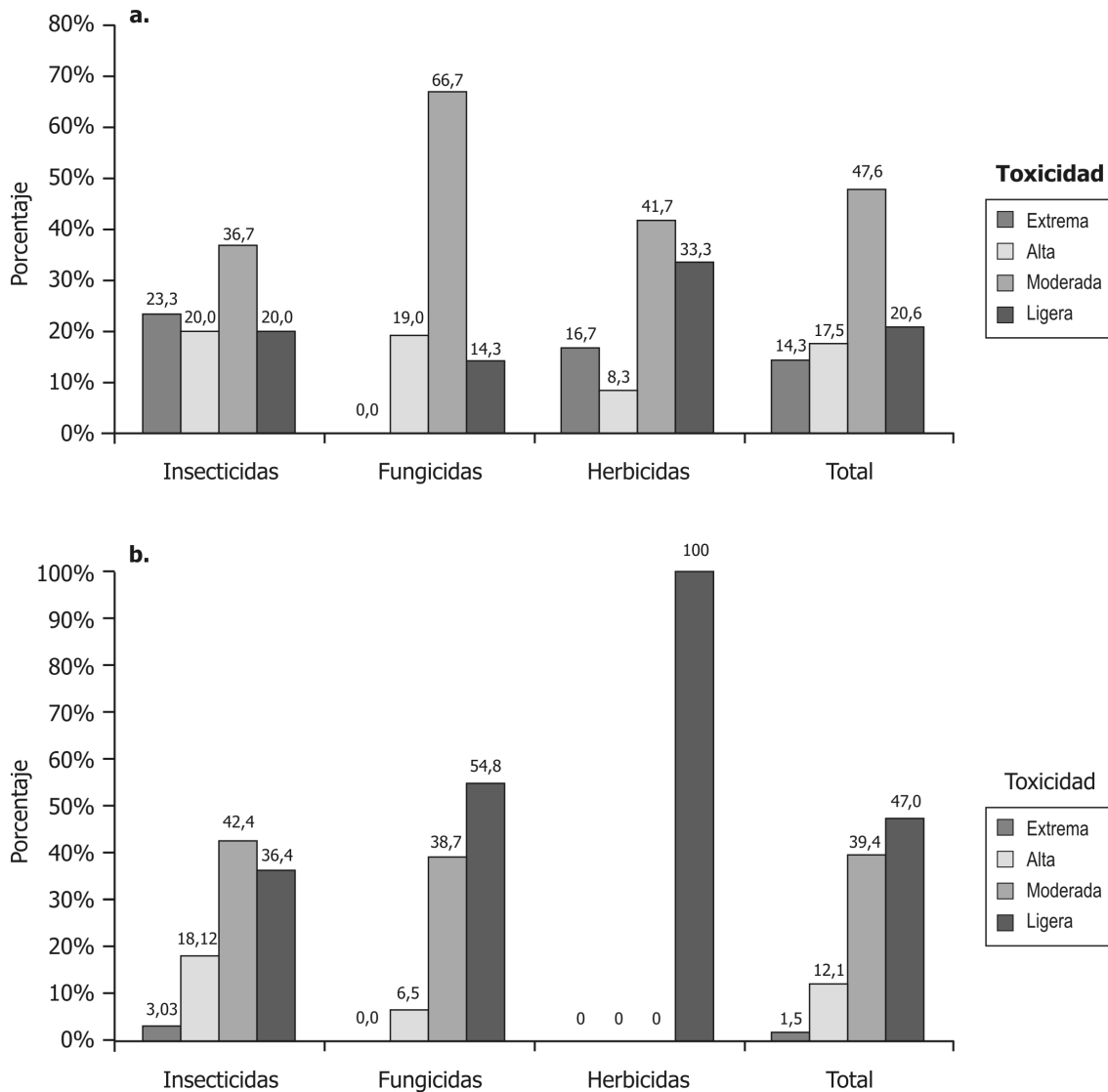


Fotografía 2. Clasificación de la morfología de los núcleos, según el nivel de daño en el ADN.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El examen médico realizado a cada una de las personas participante en el estudio mostró que ninguno padecía de problemas de salud, como desórdenes digestivos y respiratorios; adicionalmente, los resultados de la evaluación del nivel de acetil colina esterasa y el cuadro hemático estuvo dentro de los valores normales. La revisión de las encuestas aplicadas arrojó datos importantes sobre las condiciones de cada grupo de estudio; en la gráfica 1a, se presenta el porcentaje de uso de los plaguicidas por categoría toxicológica en los cultivos de papa y de cebolla. En Colombia,

las cuatro categorías establecidas son: categoría IA: extremadamente tóxico; categoría IB: altamente tóxico; categoría II: medianamente tóxico y categoría III: ligeramente tóxico según Manual Técnico Andino y el Ministerio de Salud; cabe resaltar el uso frecuente y en altas dosis de plaguicidas catalogados altamente y moderadamente tóxicos; entre las clases de sustancias más utilizadas, se destacan los organofosforados (16,22%), carbamatos (6,76%) y de piretroides (6,76%). De la información recolectada sobre los elementos de protección personal que utilizaban en el momento de la aplicación de plaguicidas, como botas, guantes, overol, delantal, gafas y mascarilla entre los más



Gráfica 1. Distribución de los plaguicidas utilizados con respecto a su categoría toxicológica en (a) cultivos de papa y cebolla y (b) cultivos de flores.

importantes, el 85% de los individuos carecían de cuatro o más elementos de protección al momento de las fumigaciones y el conocimiento de normas de seguridad para el uso de plaguicidas era muy bajo. En los cultivos de flores, el uso de plaguicidas, de categoría moderada y ligeramente tóxica, son los más utilizados, 39,4% y 47,0%, respectivamente (Gráfica 1b); el uso de organofosforados, carbamatos y piretroides no supera el 10%, de acuerdo con lo encontrado por Varona *et al.* (2005). Se observó en esta población un correcto y frecuente uso de elementos de seguridad, pues el 100% de los floricultores utilizaban todos sus elementos de seguridad durante la aplicación de plaguicidas, así como un buen conocimiento y acatamiento de las normas de seguridad para el manejo y aplicación de plaguicidas y el respeto por los periodos de reentrada; es importante resaltar que los programas implementados en estos cultivos de flores sobre el manejo y el control de plagas minimiza el riesgo y el uso de plaguicidas altamente tóxicos.

La prueba del ensayo del cometa se pudo realizar en todos los sujetos del estudio; en las fotografías 1 y 2 se presentan algunos cometas obtenidos en las diferentes poblaciones de estudio. Respecto a los resultados, los agricultores mostraron una longitud media de la cola de los cometas de \pm D.E $62,32 \pm 5,86\mu\text{m}$; la población floricultores una media de \pm D.E $25,61 \pm 3,1\mu\text{m}$ y el grupo control presentó una de \pm D.E $23,46 \pm 4,15\mu\text{m}$; estos resultados se presentan resumidos en la tabla 1. Se evidenció un incremento significativo en los valores del largo de la cola de los cometas analizados en la población de agricultores, respecto a las poblaciones de

floricultores y el grupo control ($p < 0.001$), resultados también observados en trabajos anteriores de Garaj-Vrhovac & Zeljezic. (1999, 2000, 2001 y 2002), Moller *et al.* (2000), Elhajouji (2001) y Moretti *et al.* (2002). Estos resultados se deben a que en la población de agricultores, la exposición ocupacional a plaguicidas en el cultivo es alta, ya que fue evidente la falta de implementos adecuados para su protección y el poco acatamiento de las medidas básicas de seguridad para el manejo de plaguicidas. Estos hallazgos, se pueden sustentar con los trabajos de Fairbairn *et al.* (1995) y Shah *et al.* (1997), quienes demostraron que algunos plaguicidas pueden inducir diferentes tipos de daño en el ADN y pueden ser detectados por el ensayo del cometa; así mismo, otros autores demostraron un efecto genotóxico de varios plaguicidas, a través de la misma prueba (Clements *et al.* 1997, Zeljezic & Garaj – Vrhovac, 2001). Entre la población de floricultores y el grupo control no se encontraron diferencias significativas ($p = 0,074$) y los resultados muestran en general un nivel de daño en el ADN bajo, lo cual es atribuible al uso adecuado de implementos de protección, el acatamiento de las normas de seguridad y el uso de plaguicidas moderada y ligeramente tóxicos en los cultivos de flores; cabe resaltar que el pequeño aumento de los resultados en el grupo de floricultores puede estar relacionado con cierta exposición a sustancias tóxicas y que debe ser tomada en cuenta en futuros estudios. Los resultados de la morfología de los núcleos presentan igual tendencia que los obtenidos con la longitud de la cola del cometa; el resumen de estos resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Valor promedio y desviación estándar de la longitud del cometa, medido en micras (μm) y morfología del núcleo en los sujetos de las población en estudio.

Población	Largo de la cola	Porcentaje de núcleos en cada nivel de daño				
		Ninguno ¹	Bajo ²	Medio ³	Alto ⁴	Total ⁵
Agricultores	62,32** \pm 5,9	0,94 \pm 5,4	2,11 \pm 9,4	16,38 \pm 9,6	80,46 \pm 17	0,10 \pm 0,3
Floricultores	25,61NS \pm 3,1	7,17 \pm 2,1	25,37 \pm 1,9	61,37 \pm 1,9	6,09 \pm 1,2	0 \pm 0
Grupo Control	23,46NS \pm 4,2	18,03 \pm 9,9	56,74 \pm 7,8	22,19 \pm 13,9	3,05 \pm 2	0 \pm 0

Grado de daño. ¹ Ninguno <5%, ² Bajo 5-10%, ³ Medio 10-40%, ⁴ Alto 40-95% y ⁵ Total > 95%. **= Diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) con respecto a las demás poblaciones. NS = No presentan diferencias significativas ($p > 0,074$).

Cabe resaltar que el 80,46% de los núcleos de los agricultores presentó un nivel de daño alto, contrastando con los floricultores y grupo control, en quienes se observó niveles de daño medio (61,37%) y bajo (56,74%), respectivamente. Es importante resaltar la diferencia entre los resultados de los floricultores y el grupo control, pues al utilizar este parámetro de medición, se muestra una diferencia más marcada, aunque no es altamente significativa, su aumento es evidencia de exposición constante, que debe ser analizado más cuidadosamente con otras herramientas más específicas. En este estudio no se encontraron diferencias significativas cuando fueron comparados los resultados del ensayo del cometa entre hombres y mujeres en cada población ($p > 0,05$), de acuerdo con lo publicado por Gómez *et al.* (1992). No se tiene evidencia que exista diferencia a nivel metabólico o de dinámica de reparación de ácidos nucleicos entre géneros, además las condiciones en cada población para ambos géneros son similares y las diferentes actividades que se realizan al interior de los cultivos son ejecutadas independientemente del sexo. Sin embargo, respecto a otras técnicas citogenéticas, como micronúcleos y aberraciones cromosómicas, algunos estudios han reportado diferencias significativas, entre hombres y mujeres expuestos y no expuestos a plaguicidas (Carbonell *et al.* 1990). Los resultados en este estudio no detectaron efecto alguno de la edad sobre los niveles de daño en el ADN en las poblaciones estudiadas (rango de edad 18 a 48 años), se puede deber a que el rango de edad no es muy grande, lo cual, no permite ver un efecto importante en los resultados con el ensayo del cometa, de acuerdo con las investigaciones realizadas por Valverde *et al.* (1997) y Villarini *et al.* (2002), quienes no hallaron un efecto significativo de la edad sobre los resultados de la prueba de genotoxicidad. Frente al tiempo de exposición de los agricultores y floricultores, no se observó un cambio en los resultados del cometa, pues se debe tener en cuenta que la mayoría de los linfocitos en sangre periférica tienen una vida media menor a dos semanas; así pues nuevos linfocitos son producidos continuamente (Weisenburger & Harrington, 1990). El hecho que la mayoría de los linfocitos tengan una vida media tan baja, no permite ver un efecto acumulativo (a través del tiempo) del daño en el ADN sobre estas células.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El ensayo del cometa es una técnica muy sensible, que permite evaluar el daño sobre el ADN generado por cualquier factor interno o externo, sin discriminación alguna; los resultados presentados indican una posible relación con la exposición ocupacional en los lugares de trabajo. Desde que los trabajadores son frecuentemente expuestos a una mezcla de plaguicidas es difícil atribuir el daño genotóxico a una clase de químico o compuesto en particular. Los compuestos organoclorados usados en el pasado han sido remplazados por organofosforados y carbamatos y más recientemente por piretrinas, que representan las clases de pesticidas más usados hoy en día. La evidencia experimental muestra que un amplio rango de estos compuestos induce efectos genotóxicos en bacterias, así como en sistemas animales. Aunque la significancia del incremento de los efectos genotóxico es difícil predecir de forma individual, los hallazgos positivos en este estudio de biomonitorio sugiere un riesgo genotóxico a nivel grupal. La evidencia de un riesgo genotóxico relacionado a la exposición, resulta del intensivo uso de plaguicidas y poco uso de elementos de protección; una relación de dosis-efecto puede ser una hipótesis, lo que revela la necesidad de implementar programas para educar a los agricultores en la reducción del uso de plaguicidas e implementar las medidas de protección. Los resultados negativos son asociados con bajos niveles de exposición, por el uso adecuado de elementos de protección y acatamientos de normas de seguridad para el manejo de sustancias tóxicas y el uso de plaguicidas levemente tóxicos. Tanto el género como la edad no reveló ninguna diferencia en el efecto genotóxico de los pesticidas en las poblaciones expuestas, de igual forma, el daño basal en personas no expuestas a sustancias tóxicas parece ser igual en ambos géneros y entre edades. Así mismo en estas poblaciones de trabajadores, no se encontraron efectos acumulativos ante la exposición, puede ser que el efecto agudo que pueda llegar a generar es rápidamente reparado, por los mecanismos de reparación de ADN y así dar un control eficiente de los daños producidos.

Los resultados no pueden ser extrapolados a los demás cultivos de flores o de papa y de cebolla, pues las condiciones, aunque similares, pueden variar, tanto en plaguicidas utilizados, como las normas e implementos

de seguridad empleados, a pesar de estas limitaciones, con los resultados de esta investigación se podrán llevar a cabo estudios subsiguientes en la exposición ocupacional a plaguicidas y evaluar otras variables que no fueron tenidas en cuenta. Los hallazgos presentados en este estudio proporcionan, adicionalmente, evidencia para la validación del ensayo del cometa como una prueba aplicable en estudios de bio monitoreo de poblaciones humanas.

AGRADECIMIENTOS

El autor le agradece a la Doctora Helena Groot y Myriam Gutiérrez por su apoyo y colaboración en la realización del trabajo; a la Universidad de Los Andes, por la ayuda económica otorgada para el desarrollo de este proyecto y al Doctor Meyid Antonio Velos Ruiz y a todo su grupo de investigadores de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por la recolección de las muestras, evaluación médica y aplicación de las encuestas. Así mismo al profesor Orlando Martínez, por la ayuda en el análisis estadístico.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ-MOYA, C.; SANTERRE-LÚCAS, A.; ZÚÑIGA-GONZÁLEZ, G.; TORRES-BUGARÍN, O.; PADILLA-CAMBEROS, E.; FERIA-VELASCO, A. 2001. Evaluation of genotoxic activity of maleic hydrazide, ethyl methane sulfonate, and N-nitroso diethylamine in *Tradescantia*. *Salud Publica Mex.* 43:563-569.
- ANDERSON, D.; YU, T.W.; PHILLIPS, B.J.; SCHMEZER, P. 1994. The effect of various antioxidants and other modifying agents on oxygen-radical-generated DNA damage in human lymphocytes in the COMET assay. *Mutat. Res.* 307(1):261-271.
- ANTONUCCI, G.A.; COLUS, IM. 2000. Chromosomal aberrations analysis in a Brazilian population exposed to pesticides. *Teratog. Carcinog. Mutag.* 20(2):265-272.
- BLAIR, A.; CANTOR, K.P.; ZAHM, S.H. 1998. Non-Hodgkin's lymphoma and agricultural use of the insecticide lindane. *Am. J. Ind. Med.* 33:82-87.
- BLASIAK, J.; JALOSZYNSKI, P.; TRZECIAK, A.; SZYFTER, K. 1999. In vitro studies on the genotoxicity of the organophosphorus insecticide malathion and its two analogues. *Mutat. Res.* 445(2):275-283.
- CARBONELL, E.; PUIG, M.; XAMENA, N.; CREUS, A.; MARCOS, R. 1990. Sister chromatid exchanges in lymphocytes of agricultural workers exposed to pesticides. *Mutagenesis.* 5(3):403-405.
- CLEMENTS, C.; RALPH, S.; PETRAS, M. 1997. Genotoxicity of selected herbicides in *Rana catesbiana* tadpoles using alkaline single-cell electrophoresis (comet) assay. *Environ. Mol. Mutagen.* 29(4):277-288.
- COMUNIDAD ANDINA CAN. Decisión 436. 2002. Manual Técnico Andino para el registro y control de pesticidas químicos de uso agrícola. Lima, Perú: CAN, 296 de Junio de 2002.
- DAVIES, H.W.; KENNEDY, S.M.; TESCHKE, K.; QUINTANA, P.J. 1998. Cytogenetic analysis of South Asian berry pickers in British Columbia using the micronucleus assay in peripheral lymphocytes. *Mutat. Res.* 416(1):101-113.
- DE ROOS, A.J.; ZAHM, S.H.; CANTOR, K.P.; WEISENBÜRGER, D.D.; HOLMES, F.F.; BURMEISTER, L.F.; BLAIR, A. 2003. Integrative assessment of multiple pesticides as risk factors for non-Hodgkin's lymphoma among men. *Occup. Environ. Med.* 60:e11
- ELHAJOUJI, A. 2001. Use of the alkaline comet assay for industrial genotoxicity screening. *Food Chemical Tox.* 39(8):843-858.
- FAIRBAIRN, D.; OLIVE, P.L.; O'NEILL, K.L. 1995. The comet assay: a comprehensive review. *Mutat. Res.* 339(1):37-59.
- GARAJ-VRHOVAC, V.; ZELJEZIC, D. 1999. Chromosomal aberrations and frequency of micronuclei in workers employed in pesticides production. *Biologia.* 54:707-712.
- GARAJ-VRHOVAC, V.; ZELJEZIC, D. 2000. Evaluation of DNA damage in workers occupationally exposed

- to pesticides using single-cell gel electrophoresis (SCGE) assay. Pesticide genotoxicity revealed by comet assay. *Mutat. Res.* 469(2):279-285.
- GARAJ-VRHOVAC, V.; ZELJEZIC, D. 2001. Cytogenetic monitoring of croatian population occupationally exposed to a complex mixture of pesticides. *Toxicology.* 165(2-3):153-162.
- GARAJ-VRHOVAC, V.; ZELJEZIC, D. 2002. Assessment of genome damage in a population of Croatian workers employed in pesticides production by chromosomal aberration analysis, micronucleus assay and comet assay. *J. Appl. Tox.* 22:248-255.
- GÓMEZ, S.; NORIEGA, N.; OSORIO, A.; GALICIA, F.; LING, S.; VILLALOBOS, R. 1992. Sister chromatid exchanges in a rural population of Mexico exposed to pesticides. *Mutat. Res.* 281:173-179.
- GÓMEZ-ARROYO, S.; DÍAZ-SANCHEZ, Y.; MENÉSES-PÉREZ, M.A.; VILLALOBOS-PIETRINI, R.; DELEÓN-RODRÍGUEZ, J.D. 2000. Cytogenetic biomonitoring in a Mexican floriculture worker group exposed to pesticides. *Mutat. Res.* 466:117-124.
- GROVER, P.; DANADEVI, K.; MAHBOOB, M.; ROZATI, R.; BANU, S.; RAHMAN, M. 2003. Evaluation of genetic damage in workers employed in pesticide production utilizing the Comet assay. *Mutagenesis.* 18(2):201-205.
- IARC International Agency for Research on Cancer Monographs. 1991. Occupational Exposures in Insecticide Application and Some Pesticides. 53:45-93.
- KASSIE, F.; PARZEFALL, W.; KNASMULLER, S. 2000. Single cell gel electrophoresis assay: a new technique for human biomonitoring studies. *Mutat. Res.* 463:13-31.
- LEBAILLY, P.; VIGREUX, C.; LECHEVREL, C.; LEDEMENEY, D.; GODARD, T.; SICHEL, F.; LETALAER, JY.; HENRY-AMAR, M.; GAUDUCHON, P. 1998. DNA damage in mononuclear leukocytes of farmers measured using the alkaline comet assay: modifications of DNA damage levels after a one-day field spraying period with selected pesticides. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 7(10):929-940.
- LUCERO, L.; PASTOR, S.; SUÁREZ, S.; DURBAN, R.; GÓMEZ, C.; PARRON, T.; CREUS, A.; MARCOS, R. 2000. Cytogenetic biomonitoring of Spanish greenhouse workers exposed to pesticides: micronuclei analysis in peripheral blood lymphocytes and buccal epithelial cells. *Mutat. Res.* 464:255-262.
- MCKELVEY, M.; VALERIE, J. 1998. Emerging applications of the single cell gel electrophoresis (Comet) assay. *Mutagenesis.* 13(1):1-8.
- MERHI, M.; RAYNAL, H.; CAHUZAC, E.; VINSON, F.; CRAVEDI, J.P.; GAMET-PAYRASTRE, L. 2007. Occupational exposure to pesticides and risk of hematopoietic cancers: meta-analysis of case-control studies. *Cancer Causes Control.* 18(10):1209-1226.
- MESTER, B.; NIETERS, A.; DEEG, E.; ELSNER, G.; BECKER, N.; SEIDLER, A. 2006. Occupation and malignant lymphoma: a population based case control study in Germany. *Occup. Environ. Med.* 63:17-26.
- MINISTERIO DE SALUD. Decreto 1843 del 22 de julio de 1991. Disposiciones sanitarias sobre uso y manejo de plaguicidas. Bogotá: Ministerio de Salud; 1991. p.1-69.
- MOLLER, P.; KNUDSEN, L.E.; LOFT, S.; WALLIN, H. 2000. The comet assay as a rapid test in biomonitoring occupational exposure to DNA-agents and effect of confounding factors. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 9(10):1005-1015.
- MORETTI, M.; MARCARELLI, M.; VILLARINI, M.; FATIGONI, C.; SCASSELLATI-SFORZOLINI, G.; PASQUINI, R. 2002. In vitro testing for genotoxicity of the herbicide terbutryn: cytogenetic and primary DNA damage. *Toxicol In Vitro.* 16:81-88.
- OLIVE, P.L.; CHAN, A.P.; CU, C.S. 1988. Comparison between the DNA precipitation and alkali unwinding assays for detecting DNA strand breaks and cross-links. *Cancer Res.* 48:6444-6449.

- ORSI, L.; TROUSSARD, X.; MONNEREAU, A.; BERTHOU, C.; FENAUX, P.; MARIT, G.; SOUBEYRAN, P.; HUGUET, F.; MILPIED, N.; LEPORRIER, M.; HEMON, D.; CLAVEL, J. 2007. Occupation and lymphoid malignancies: results from a French case-control study. *J. Occup. Environ. Med.* 49(12):1339-50.
- OSTLING, O.; JOHANSON, K.L. 1984. Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 123:291-298.
- PASTOR, S.; GUTIÉRREZ, S.; CREUS, A.; CEBŪLSKA-WASILEWSKA, A.; MARCOS, R. 2001a. Micronuclei in peripheral blood lymphocytes and buccal epithelial cells of Polish farmers exposed to pesticides. *Mutat. Res.* 495:147-156.
- PASTOR, S.; GUTIÉRREZ, S.; CREUS, A.; XAMENA, N.; PIPERAKIS, S.; MARCOS, R. 2001b. Cytogenetic analysis of Greek farmers using the micronucleus assay in peripheral lymphocytes and buccal cells. *Mutagenesis.* 16:539-545.
- RAHMAN, M.F.; MAHBOOB, M.; DANADEVI, K.; BANU, B.S.; GROVER, P. 2002. Assessment of genotoxic effects of chloropyrifos and acephate by the comet assay in mice leucocytes. *Mutat. Res.* 516(1):139-147.
- ROJAS, E.; LÓPEZ, M.C.; VALVERDE, M. 1999. Single cell gel electrophoresis assay: methodology and applications. *J. Chromatography.* 722:225-254.
- SHAH, R.G.; LAGŪEUX, J.; KAPUR, S.; LEVALLOIS, P.; AYOTTE, P.; TREMBLAY, M. 1997. Determination of genotoxicity of the metabolites of pesticides guthion, sencor, lorox, reglone, daconil and admire by P32-postlabeling. *Mol. Cell. Biochem.* 169:177-184.
- SINGH, N.P.; COY, M.I.; TICE, R.; SCHNEIDER, E.L. 1988. A simple technique for quantification of low levels of DNA damage in individual cells. *Exp. Cell Res.* 175:184-191.
- TICE, R.R. 2000. Single Cell Gel/Comet Assay: Guidelines for In Vitro and In Vivo aspects of Genetic Toxicology. *Environ. Mol. Mutagen.* 35:206-221.
- TISCH, M.; SCHMEZER, P.; FAULDE, M.; GROH, A.; MAIER, H. 2002. Genotoxicity studies on permethrin, DEET and diazinon in primary human nasal mucosal cells. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 259(3):150-153.
- VALVERDE, M.; LÓPEZ, A.D.L.; LÓPEZ, I.; SÁNCHEZ, I.; FORTOUL, T.I.; OSTROSKY-REPETTO, R.; BALIGA, S.S. 1997. DNA damage in leukocytes and buccal and nasal epithelial cells of individuals exposed to air pollution in Mexico City. *Environ. Mol. Mutagen.* 30(2):147-152.
- VARONA, M.; CÁRDENAS, O.; CRANE, C.; ROCHA, S.; CUERVO, G.; VARGAS, J. 2003. Cytogenetic alterations in field workers routinely exposed to pesticides in Bogotá flowers farms. *Biomédica.* 23(2):141-152.
- VARONA, M.; TOLOSA, J.; CÁRDENAS, O.; TORRES, C.; PARDI, D.; CARRASQUILLA, G.; FRUMKIN, H. 2005. Descripción del uso y manejo de plaguicidas en las empresas de flores afiliadas a Asocolflores. *Biomédica.* 25:377-389.
- VIEL, J.F.; CHALLIER, B.; PITARD, A.; POBEL, D. 1998. Brain cancer mortality among French farmers: the vineyard pesticide hypothesis. *Arch. Environ. Health.* 53:65-70.
- VILLARINI, M.; SCASSELLATI-SFORZOLINI, G.; MORETTI, M.; PASQUINI, R. 2002. In vitro genotoxicity of terbutryn evaluated by the alkaline single-cell microgel-electrophoresis "comet" assay. *Cell Biol. Toxicol.* 16(5):285-292.
- WEISENBURGER, D.S.; HARRINGTON, J.O. 1990. Armitage, B-cell neoplasia: a conceptual understanding based on the normal humoral immune response. *Pathol. Annu.* 25:99-115.
- ZELJEZIC, D.; GARAJ-VRHOVAC, V. 2001. Chromosomal aberration and single cell gel electrophoresis (Comet) assay in the longitudinal risk assessment of occupational exposure to pesticides. *Mutagenesis.* 16(4):359-363.

Recibido: Junio 10 de 2008

Aceptado: Febrero 18 de 2009

IMPLICACIONES ÉTICAS QUE ENFRENTA EL DOCENTE AL SUPERVISAR LA PRÁCTICA CLÍNICA DE ESTUDIANTES DE ENFERMERÍA

ETHICAL IMPLICATIONS FACED BY TEACHERS SUPERVISING THE CLINICAL PRACTICE OF STUDENTS OF INFIRMARY

Lorena Martínez Delgado¹
Vilma Cenit Fandiño Osorio²

RESUMEN

Durante la práctica clínica, la Enfermera Docente se ve abocada a actuar en situaciones que implican la toma de decisiones éticas frente al paciente y de responder por las consecuencias de la decisión. El objetivo de la investigación, fue determinar las implicaciones deontológicas más frecuentes en las que se ve involucrado el profesional de Enfermería, en el ejercicio de la docencia, al supervisar la práctica clínica de estudiantes, en la ciudad de Bogotá. Son escasas las investigaciones que se encuentran al respecto, si se tiene en cuenta que es un tema que cada vez cobra mayor importancia en la práctica profesional. Como instrumento de recolección, se diseñó una entrevista semiestructurada y grabaciones de experiencias relatadas por los profesionales participantes. Los resultados determinaron que las implicaciones, a las que con mayor frecuencia se enfrentan los docentes, son de tipo ético, no se presentó ninguna denuncia penal ante el tribunal de Ética de Enfermería, en la que se hubiese

impuesto como sanción la destitución, el retiro de la tarjeta profesional o la indemnización de perjuicios. Las situaciones que vive el estudiante con el Sujeto de Cuidado, le generan experiencia en el razonamiento moral y en la importancia de los valores, para la toma de decisiones éticas. Se evidencia la necesidad de establecer una comunicación continua con las Instituciones en los escenarios de práctica, que permita coordinar la atención del Sujeto de Cuidado y un consenso en la toma de decisiones, cuando la situación lo requiera.

Palabras clave: Ética, enfermería, docencia-asistencia, responsabilidad, dilema ético.

SUMMARY

During clinical practice the teaching nurse is doomed to act in situations that involve making ethical decisions in front of the patient and be responsible for the consequences of this decision. The objective of the research was to determine the more frequent implications in which the infirmary professional is involved in hospitals, while supervising the student practice in the city of Bogotá. Research on this topic is scars, taking into account that this subject becomes, every time, more and more important in the professional exercise. As a tool for data collecting, a semi-structured interview was designed and recordings of experiences by the participant professionals were made. The results determined that the implications most frequently faces by the teacher in the places of practice are of ethical type; no penal denunciation, before the court of Ethics

¹ Enfermera. Especialista en Docencia Universitaria y en Educación para la Salud. Facultad de Enfermería. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. e-mail: lorenamartinez53@hotmail.com.

² Enfermera. Especialista en Gerencia Educativa. Magister con énfasis en Cuidado Materno. Facultad de Enfermería. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. e-mail: vfandino@udca.edu.co.

of Infirmery, followed by a sanction or the dismissal, withdrawal of the professional card or indemnification of prejudices was presented. The situations confronted by students with the care subject generate experience in moral reasoning and in the importance of values for the taking of ethical decisions. The necessity to establish a continuous communication within the institutions, where the practice is realized, will allow a proper coordination of the attention of the care subject and a consensus in the decision making, when required by the situation.

Key words: Ethics, infirmery, teaching-attendance, responsibility, ethical dilemma.

INTRODUCCIÓN

Los cambios realizados en el Sistema General de Seguridad Social en Salud y las reformas laborales en Colombia han afectado las condiciones de trabajo del sector salud, específicamente, las relacionadas con la contratación, estabilidad del personal y responsabilidad dentro de las Instituciones. El aumento en la carga laboral, la reducción de personal y la vinculación temporal de los profesionales de Enfermería en Instituciones Prestadoras de Salud son factores que influyen, de manera directa, en la calidad de atención del paciente al reducirse el tiempo para brindar cuidado directo; así mismo, el personal a quien se le delega esta función muchas veces no cuenta con la experiencia necesaria para llevarla a cabo.

Otro factor que agrava esta situación, se relaciona con las políticas establecidas dentro de las instituciones concernientes a la reducción en el tiempo de estancia hospitalaria del paciente, con el propósito de reducir costos.

Estas situaciones conducen a que los profesionales de la Salud se enfrenten con mayor frecuencia a dilemas éticos, donde la toma de decisiones puede afectar la vida de los pacientes y, en muchas ocasiones, ser confrontadas con los valores morales, la ética y las prioridades de los Sujetos de Cuidado.

Para entender el marco dentro del cual se deben tomar las decisiones éticas es importante conocer algunas de las clasificaciones de las teorías éticas:

- a. Teorías clásicas y modernas
- b. Teorías consecuentes y no consecuentes.

En las teorías clásicas encontramos el hedonismo (el placer es la única calidad de la vida humana) y el estoicismo (la virtud como calidad principal); las teorías modernas aplican análisis filosóficos a la conducta ética, a fin de averiguar el significado de los términos y las declaraciones que aparecen en las teorías y en esta categoría, se ubican el naturalismo, el emotivismo y el intuicionismo.

Las teorías consecuentes examinan las consecuencias de los actos y afirman que una acción es apropiada en la medida en que produce consecuencias favorables y, desafortunadas, si sus consecuencias son negativas. El utilitarismo es un ejemplo de este tipo de teorías (Fry, 1994).

Las teorías no consecuentes son las que mantienen que ciertos actos son buenos y otros son malos, porque poseen características que dan lugar al bien o carecen de ellas. La deontología es un tipo de teoría no consecuente, según, la cual, las acciones son acertadas si se basan en reglas o en leyes relativas a derechos u obligaciones, independientemente, de sus consecuencias o resultados (Fry, 1994).

De igual manera, todas las teorías éticas tienen principios que son pautas para la toma de decisiones morales y la acción moral. Los principios para la práctica de Enfermería son: justicia, veracidad, autonomía, beneficencia y fidelidad.

La ética profesional es un conjunto de principios que, al aplicarse en la práctica, permiten juzgar la bondad de las actividades profesionales en términos humanos y legales, y se basa en los derechos fundamentales del hombre como individuo y como miembro de una sociedad.

Para los profesionales de Enfermería, el cuidado se constituye en un acto ético que implica responsabilidad, fidelidad, sensibilidad, el respeto por la vida y la preservación de la dignidad del ser humano.

La ética del cuidado considera que no sólo incluye las actividades que realiza la enfermera sino cómo ejecuta cada uno de los actos de cuidado, es decir, la forma, los motivos por los que los realiza y las relaciones que establece con el sujeto de cuidado.

Algunos autores afirman que el Cuidado de Enfermería es el eje en torno al cual gira la práctica de enfermería,

le da su esencia y establece la diferencia con la práctica médica. Perry & Potter (2002) citando a Noddings (1984), exponen que en la ética del cuidado se identifican “el cuidador”; para designar a aquella persona moral individual que brinda cuidado a un paciente y “el cuidado”, para el sujeto que requiere un Cuidado de Enfermería.

Para realizar una toma de decisiones acertada cuando se presenta un dilema ético es necesario conocer qué significado tienen los valores en cada una de las personas y la prioridad que estos dan a cada uno de ellos, pues en los dilemas éticos, los valores de cada una de los individuos entran en juego y determina la solución en la decisión frente al suceso.

La capacidad de toma de decisiones éticas es esencial en la práctica profesional de la Enfermería. Los estudiantes deben aprender a integrar sus valores y convicciones personales con el conocimiento de conceptos éticos, enfoques tradicionales y contemporáneos hacia la ética y normas de comportamiento ético. Esta integración formará parte del marco para la toma de decisiones éticas y su aplicación en los Cuidados del Sujeto de atención (Fry, 1994).

El modelo de toma de decisiones para la diversidad ética y cultural, planteado por Fry, establece cuatro interrogantes que ayudan a comprender el contexto, donde se suscita el problema ético, el significado de los valores, el significado del problema para las partes interesadas y la determinación de lo que se debería hacer. Estos interrogantes son:

1. ¿Cuáles son los antecedentes del conflicto?
2. ¿Cuál es el significado de los valores en cuestión?
3. ¿Cuál es el significado del conflicto para las partes en cuestión?
4. ¿Qué hacer?

En la medida en que se conozcan los significados de los valores será más fácil reconocer cuáles son los valores que se deben preservar y proteger frente a la decisión que se ha de tomar.

Ante un dilema ético rara vez se puede tomar una decisión correcta o pensar que existe una única solución, lo importante, es evaluar los resultados y el procedimiento que se siguió, para la toma de la decisión (Fry, 1994).

Perry & Potter (2002), por su parte, exponen que los dilemas éticos producen tensión en las personas implicadas en el proceso y requieren de un procedimiento sistemático, conciente y prudente. Estas autoras comparan el dilema ético con el pensamiento crítico y para la resolución de estos dilemas, plantean las siguientes etapas:

Etapas 1. Identificar si se trata de un dilema ético. Si una revisión de los datos científicos no resuelve la cuestión, la cuestión es confusa y la respuesta tendrá una enorme relevancia en varias áreas del conocimiento humano, puede existir un dilema ético.

Etapas 2. Reunir toda la información relevante sobre el caso.

Etapas 3. Examinar y determinar los propios valores sobre las cuestiones. La clarificación de los valores proporciona un fundamento para la claridad y la confianza durante las controversias que serán necesarias para la resolución del dilema.

Etapas 4. Verbalizar el problema.

Etapas 5. Considerar las posibles vías de actuación.

Etapas 6. Negociar el resultado.

Etapas 7. Evaluar la actuación (Perry & Potter, 2002). Estos modelos de toma de decisiones y de protocolos brindan un marco de referencia para enfrentar los dilemas éticos a los que se ven enfrentados los profesionales de la salud y los estudiantes en formación en las Instituciones Prestadoras de Salud.

Es importante aclarar que las intervenciones en enfermería no solamente tienen implicaciones éticas, también pueden ser de tipo legal o ambas. Las normas jurídicas y éticas, se desarrollan dentro del mismo clima histórico, social, cultural y filosófico, por tanto, es importante aclarar el significado de cada uno de estos términos.

Los individuos tienen derechos legales fundados en la ley, también tienen derechos morales arraigados en sistemas, en principios y en reglas éticas. Los derechos legales son válidos en el sistema jurídico y los derechos morales se derivan de costumbres, tradiciones e ideales (Fry, 1994).

Son escasos los estudios sobre implicaciones éticas y legales en el ejercicio profesional docente, debido

a que las investigaciones se enfocan en temas como la inclusión de la ética y la Bioética en los currículos de Enfermería, la Bioética y el conocimiento de las implicaciones éticas y legales en las que se puede incurrir en el ejercicio profesional.

De esta situación surge la motivación para realizar la investigación, que se convierte en el objeto de este artículo, y determinar las implicaciones deontológicas del profesional de Enfermería en el ejercicio de la docencia, que supervisa la práctica clínica de los estudiantes, en la ciudad de Bogotá.

El Código Deontológico de Enfermería hace referencia al conjunto de deberes y normas éticas y morales que debe conocer el profesional de Enfermería, para aplicarlas en su quehacer diario (Ley 911, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de tipo descriptivo y retrospectivo. La muestra fue de 22 Enfermeras de Instituciones de Educación Superior encargadas de supervisar las prácticas clínicas de los estudiantes, en la ciudad de Bogotá. Los criterios de inclusión fueron: ser Enfermera Docente, supervisar prácticas clínicas de estudiantes y laborar en una Institución de educación superior. La participación de los profesionales fue voluntaria y con consentimiento informado.

Se emplearon como instrumentos de recolección de la información, una entrevista estructurada y grabaciones en cassette, de experiencias directas, relatadas por profesionales de Enfermería, referentes a la supervisión clínica de estudiantes en formación.

La elaboración de la entrevista (Cuadro 1), se fundamentó en la Ley 266 de 1996, que reglamenta el ejercicio de la Enfermería en Colombia y establece las competencias y funciones, el Modelo decisorio relativo a la diversidad ética y cultural en la práctica de enfermería propuesto, por Fry (1994) y la Ley 911 de 2004, que en el capítulo IV, artículo 31, establece la responsabilidad del profesional de Enfermería en la investigación y en la docencia, así “El profesional de enfermería en el ejercicio de la docencia para preservar la ética en el cuidado de enfermería que brindan los estudiantes en la práctica de aprendizaje, tomará las medidas necesarias para evitar riesgos y errores que por falta de pericia ellos puedan cometer” (Ley 911, 2004).

Una vez recopilada la información, se establecieron las categorías de análisis para las preguntas abiertas, teniendo en cuenta las respuestas dadas por los Profesionales participantes en la Investigación y la frecuencia de respuesta en las preguntas de selección múltiple, predeterminadas en la entrevista.

A estos resultados, se le sacaron cifras porcentuales, teniendo en cuenta la frecuencia de respuesta de la pregunta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la Investigación determinaron que las implicaciones a las que con mayor frecuencia se enfrentan los docentes en los sitios de práctica son de tipo ético; no se presentó ninguna denuncia penal o quejas ante la oficina de control interno de las Instituciones Prestadoras de Salud o querrela ante el tribunal de Ética de Enfermería en la que se hubiese impuesto como sanción la destitución, el retiro de la tarjeta profesional o la indemnización de perjuicios.

Al clasificar las implicaciones Éticas, se encontraron de tipo disciplinar, de recursos y de tipo administrativo (Gráfica 1).

Las implicaciones de tipo disciplinar, se relacionaron con sucesos, donde el estudiante realizó actividades de Cuidado directo sin la debida supervisión, lo que puso en riesgo el estado de salud del paciente, sin que tuviera consecuencias graves para el mismo.

Las implicaciones administrativas y de recursos fueron consecuencia del poco tiempo de estancia hospitalaria de los Sujetos de Cuidado, la disponibilidad de recurso humano y de materiales y la calidad del material, para brindar una atención adecuada y oportuna.

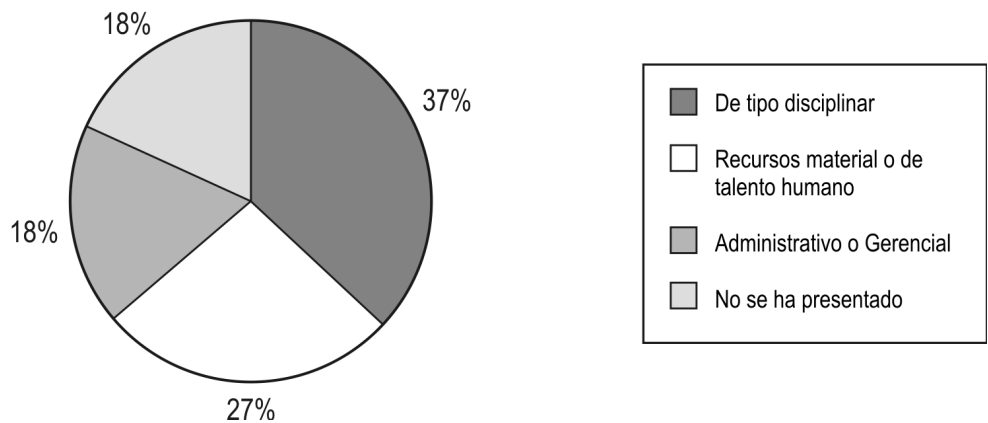
La falta de disponibilidad de recurso humano y material en una Institución Prestadora de Salud pone en riesgo la vida del Sujeto de Cuidado y se opone a las condiciones para el ejercicio de la Enfermería, establecidas en la Ley 911 de 2004, en el capítulo II, Artículo 5, Parágrafo: “del déficit de las condiciones para el ejercicio de la enfermería, el profesional deberá informar por escrito a las instancias de enfermería y de control de la Institución y exigirá el cambio de ellas, para evitar que esta situación se convierta

Cuadro 1. Entrevista.

Queremos agradecer su participación en esta investigación. Solicitamos a Usted que la información que nos brinde sea lo más descriptiva y veraz posible. Su nombre no será registrado por razones de confidencialidad y su identidad es reservada.

Durante la etapa de formación en Enfermería, los estudiantes, los docentes y los profesionales que están involucrados en las prácticas profesionales que se desarrollan a lo largo de la carrera, enfrentan situaciones particulares, que pueden confrontar sus valores éticos, religiosos y morales. Estas situaciones pueden llevar a vulnerar la autonomía del paciente, los derechos del educando a aprender y, a su vez, que comprometen la responsabilidad del docente y del personal de salud.

1. ¿Usted en su práctica docente en instituciones hospitalarias se ha enfrentado a situaciones, en las cuales, sus principios deontológicos hayan sido vulnerados?
 - a. De tipo disciplinar
 - b. Administrativo
 - c. Gerencial
 - d. Recursos
2. Describa la situación, fecha y servicio en el que ocurrió el evento.
3. ¿Cómo se solucionó la situación? ¿Qué tipo de alternativas se tuvieron en cuenta? El evento se solucionó entre:
 - a. Docente-estudiante
 - b. Docente-estudiante-Jefe del servicio
 - c. Docente-estudiante-Jefe del servicio-Jefe del departamento
 - d. Docente-estudiante-Jefe del servicio-Jefe del departamento-Coordinador del Servicio
 - e. Docente-estudiante-Jefe del servicio-Jefe del departamento-Coordinador del Servicio-Institución de Salud.
 - f. Docente-estudiante-Jefe del servicio-Jefe del departamento-Coordinador del Servicio-Institución de Salud-Institución Universitaria.
4. ¿Se realizó algún análisis de riesgo, en cuanto a causas del error-factores de riesgo?
 - a. Falta de claridad en las responsabilidades
 - b. Falta de claridad en las funciones
 - c. Descuido
 - d. Ignorancia
 - e. Omisión
5. ¿A qué sistema de apoyo acudió para tomar la decisión frente al suceso? ¿Cuál fue la participación de las instituciones en el proceso?
6. ¿De qué dependió la toma de decisiones?, ¿Por qué?, ¿Dónde, cuándo, cómo y qué sentimiento rodearon el suceso?
7. ¿Qué decisión se tomó?
8. Para usted como Docente ¿esta situación llegó a tener implicaciones disciplinarias en la Institución donde labora?
 - a. Amonestación verbal o escrita
 - b. Suspensión de 1-5 días
 - c. Suspensión hasta de 30 días
 - d. Cancelación del contrato
9. A nivel personal ¿qué implicaciones tuvo el suceso?
10. ¿Qué implicaciones tuvo el suceso para el estudiante?
11. ¿Cree usted que hubiera podido manejarlo de otra forma, ¿cuál?
12. ¿Qué aprendizaje le quedó claro para enfrentarse a una situación similar?
13. ¿Qué está haciendo en la actualidad?



Gráfica 1. Clasificación de las implicaciones.

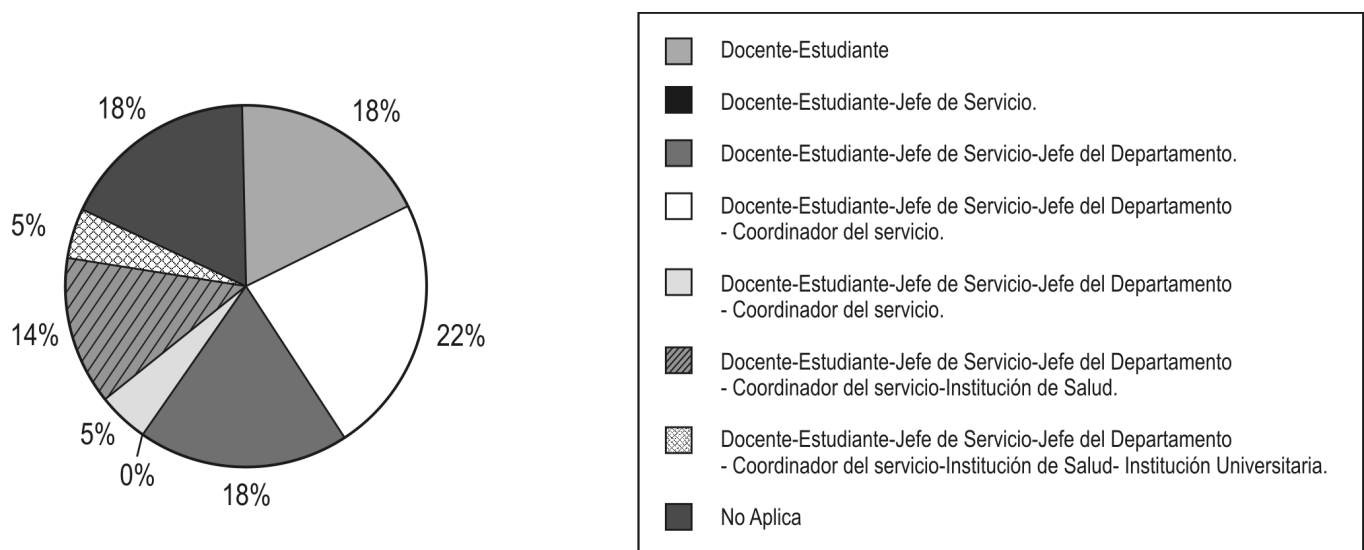
en condición permanente que deteriore la calidad técnica y humana de los servicios de enfermería”.

En cuanto a causas del error, factores de riesgo, los resultados mostraron descuido frente al cuidado del paciente, falta de claridad en las funciones del personal de Enfermería y carece de comunicación entre los integrantes del equipo de salud.

Para brindar Cuidado de Enfermería se requiere de un trabajo en equipo, donde cada uno de los actores tenga claridad frente a las funciones y a las responsabilidades como profesional al ejercer su rol de cuidador.

Referente a las instancias a las que se acudió para solucionar el evento, la mayoría de las situaciones se solucionaron y se aclararon entre el personal de Enfermería de las dos Instituciones (educativa y prestadora de salud), sin que llegara a trascender a otras dependencias (Gráfica 2).

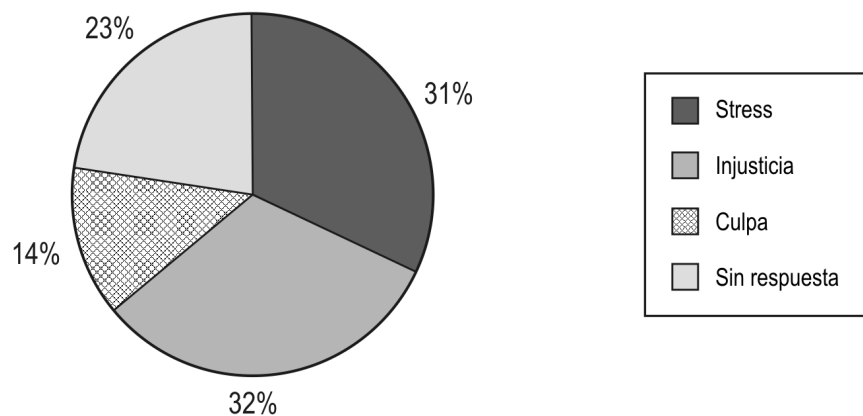
Los conflictos a los que se enfrentan los profesionales de Enfermería se ven influidos por decisiones administrativas. Uno de los roles del profesional de Enfermería es ser gerente o gestor en la administración del Cuidado directo y en la solución de problemas frente a éste, situación que requiere de vías de comunicación efectivas y capacidad



Gráfica 2. Instancias utilizadas en la solución del evento.

para dilucidar las situaciones que se generan por falta de coordinación en el trabajo en equipo.

Un profesional de Enfermería debe planificar, organizar, dirigir y controlar los recursos y el talento humano, con la intención de cumplir, eficazmente, las metas de enfermería en las Instituciones y, como profesional participante, dentro de un equipo de salud, organizar a sus colaboradores, desempeñando el liderazgo en la gestión de un Cuidado de alta calidad, ejercido a conciencia y con responsabilidad (Zárate, 2004).



Gráfica 3. Sentimientos que rodearon el suceso.

El sentimiento de culpabilidad suscitado por el evento, se relacionó con errores cometidos en la realización de procedimientos o en la decisión tomada frente a la atención del Sujeto de Cuidado. En este caso, lo que se puso en juego para el profesional de enfermería fue el dilema ético frente a las decisiones tomadas con el Sujeto de Cuidado.

Los actores implicados en los dilemas éticos realizan una interpretación del suceso que está determinado por el grado de participación en el evento y por sus concepciones frente al Cuidado de Enfermería. Es así como cada individuo va formando la conciencia ética, capacidad que tiene un individuo de reflexionar, de razonar y de hacer una autoexploración de sí mismo y su entorno, con el propósito de orientar su conducta humana, para el ejercicio responsable de la libertad personal (Martínez, 2008).

La responsabilidad de Enfermería lleva implícito el sentido moral cuando las consecuencias de los actos

Al analizar los sentimientos que rodearon la situación, se evidenciaron:

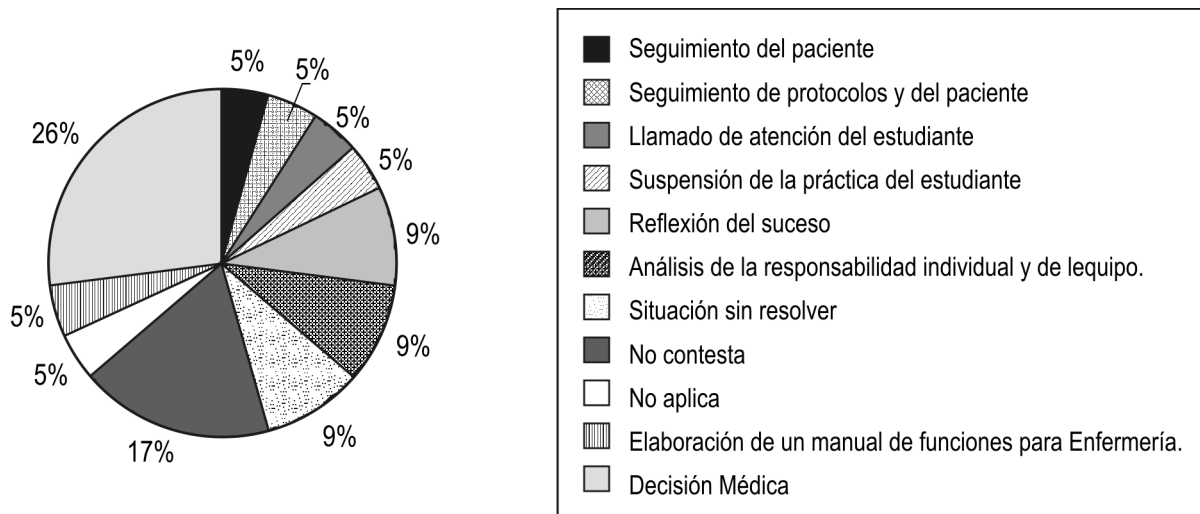
- Injusticia: se incluyeron sentimientos, como inconformidad e impotencia.
- Estrés: se agruparon sentimientos de miedo, de temor, de angustia, de ansiedad y de mal genio.
- Sensación de culpa, que incluye la tristeza.

Un porcentaje de entrevistados no expresaron sus sentimientos alrededor del suceso (Gráfica 3).

dejan satisfacción personal por el deber cumplido y/o cargos de conciencia por errores en el hacer. Si bien, la actitud positiva hace parte de la responsabilidad moral, no puede ser lo esencial, también es necesario conocer las consecuencias de los actos cuando éstos no son satisfactorios (Zapata, 1992).

La moral de los cuidadores incluye el respeto a los derechos, la integridad, la autonomía y el consentimiento de los individuos, así como la equidad en los servicios, elementos fundamentales de la moral y de la responsabilidad profesional.

Las consecuencias de las decisiones tomadas frente al Cuidado del sujeto llevaron a los profesionales de Enfermería y a los estudiantes en formación a reflexionar sobre los sucesos acontecidos y a reconocer la necesidad de delimitar las responsabilidades del equipo de enfermería, cuando se encuentran estudiantes en rotación (Gráfica 4).



Gráfica 4. Decisiones tomadas frente a la solución del evento.

A pesar que se presentaron eventos de riesgo para los Sujetos de Cuidado, ninguno de los profesionales encuestados reportó consecuencias graves para el sujeto que llevaran al profesional de Enfermería de la Institución, al estudiante o al docente supervisor de prácticas a afrontar implicaciones legales.

En la última parte de la encuesta, los docentes supervisores de las prácticas clínicas realizaron las siguientes propuestas, con el fin de evitar incurrir en este tipo de implicaciones. Estas son:

- Establecer las funciones y actividades específicas para los estudiantes y otros miembros del equipo de Enfermería, en las áreas donde realizan su práctica clínica.
- Las Instituciones Prestadoras de Salud deben garantizar las condiciones físicas y de recursos para brindar un Cuidado eficiente y oportuno a los Sujetos de Atención.
- Realizar las acciones de Cuidado directo con calma, verificando siempre cada uno de los procedimientos a realizar.
- Realizar un manual de convivencia entre las dos Instituciones, donde se establezcan los deberes y los derechos de las partes.
- Que la Institución educativa, a través de sus docentes, se involucre en los Comités de Ética Hospitalaria, para nutrirlos con metodologías de resolución de dilemas éticos.

Dados los resultados obtenidos es conveniente enfatizar en la responsabilidad de incrementar en los planes de estudio, los conocimientos en ética y bioética, para que el estudiante, a lo largo de su proceso de formación, vaya desarrollando habilidades cognitivas, con un juicio de valores y destrezas acordes a cada situación, respondiendo al rol que desempeñe y de acuerdo al contexto en el que se desenvuelva (Lombana, 1987).

Los programas de Enfermería conscientes de esta situación han propuesto, dentro de su plan de estudios, la Ética como una asignatura que brinda un marco de referencia para la toma de decisiones frente a los dilemas éticos a los que se enfrenta en su cotidianidad; para los enfermeros, específicamente, decisiones frente al Cuidado.

CONCLUSIONES

En un gran porcentaje, las implicaciones éticas se relacionaron con dilemas de tipo disciplinar frente a decisiones tomadas sobre el Cuidado directo del paciente y la adecuada supervisión del estudiante; otras, se relacionaron con la administración del Cuidado, destacándose como causa, la carencia de recursos materiales y de talento humano en las Instituciones Prestadoras de Salud, para brindar un Cuidado eficiente al individuo.

Para el profesional que labora en las Instituciones prestadoras de salud, los estudiantes y el docente que supervisa las prácticas, se convierten en un apoyo para la realización de las actividades de Cuidado, dada la cantidad de responsabilidades, de tipo administrativo, que deben asumir y que en ocasiones les impide realizar actividades de Cuidado directo.

Los profesionales docentes que realizan sus prácticas en Instituciones Prestadoras de Salud corren el riesgo de situaciones que los lleven a problemas éticos-legales, cuando no son claras las responsabilidades de cada miembro del equipo de salud y cuando no se cuentan con los materiales requeridos para la atención.

Para el cumplimiento de las competencias de los estudiantes en formación y para disminuir el posible riesgo de cometer un error es necesaria la supervisión directa y continúa del docente, por tanto, el número de estudiantes no debe sobrepasar la capacidad del docente, para realizar la supervisión.

El número de estudiantes debe ser acordado de manera conjunta entre las Instituciones, de tal forma, que no interfiera con el desarrollo normal de las actividades dentro de la Institución.

Las diferentes situaciones que vive el estudiante con el Sujeto de Cuidado, le generan experiencia en el razonamiento moral y en la importancia de los valores para la toma de decisiones éticas.

Determinar las funciones del profesional de Enfermería en las áreas donde se realizan prácticas hospitalarias y estar capacitados en la resolución de conflictos éticos y morales evitará riesgos en el quehacer diario de la profesión, pues la razón de ser la Enfermería, es el Cuidado directo y humanizado de las personas, conservando siempre la dignidad e integridad humana.

El fortalecimiento del Comité Docencia Servicio y el Comité de Ética con la participación de directivos, docentes, personal de los servicios y un representante estudiantil permitirá la construcción de conocimiento, que impulse la investigación desde la mirada de una práctica reflexiva.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOFAEN-ALADEFE. 2005. Ética y Enfermería. Boletín Latinoamericano (Colombia). 9(11):1-8.
- FRY, S. 1994. La ética en la práctica de Enfermería. Guía para la toma de decisiones éticas. Consejo Internacional de Enfermería. (Ginebra-Suiza). 350p.
- LEY 266 de 1996.
- LEY 911 de 2004.
- LOMBANA C., C. 1987. Experiencias de Ética en enfermería. Revista Avances en Enfermería. 5(1)99-101.
- MARTÍNEZ, M. 2008. Conciencia Ética. Instituto Latinoamericano de la comunicación educativa. Centro de estudios en comunicación y tecnologías educativas. México. p.6. <http://www.tuxtpecaldia.com> (con acceso 03/09).
- PERRY, A.; POTTER, P. 2002. Fundamentos de Enfermería. Ed. Harcourt Océano Barcelona-España. p 387,423 y 425.
- ZAPATA V., A. 1992. Construcción de la ética profesional en enfermería. Revista Investigación y educación en Enfermería. (Colombia). 10(2):57-61.
- ZÁRATE, R. 2004. La gestión del cuidado de enfermería. Revista Index de Enfermería. (España). 13(44-45):1-8.

Recibido: Junio 6 de 2007

Aceptado: Abril 28 de 2009

DISEÑO PEDAGÓGICO VIRTUAL DE DESARROLLO EMPRESARIAL CON APOYO DE LAS TIC

VIRTUAL PEDAGOGICAL DESIGN FOR BUSINESS DEVELOPMENT WITH ICT SUPPORT

William Ricardo Zambrano¹
Doris Emilia Guerrero²

RESUMEN

Se presenta el estado del arte y las proyecciones sobre modelos pedagógicos virtuales de desarrollo empresarial en el mundo, a través de una revisión histórica, documental y bibliográfica de experiencias emblemáticas de universidades que los han implementado. En la primera parte, se analizan los modelos *e-learning* de universidades de Europa, América y Colombia, basados en la incorporación de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y metodologías utilizadas para optimizar el aprendizaje. En la segunda, se articulan los hallazgos, a fin de propiciar ideas innovadoras para el diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial en línea. La tercera, valida el modelo en dos cursos académicos. El estudio, deja como conclusión, que a pesar que existen diferentes modelos pedagógicos de desarrollo empresarial virtual, se requiere la creación de otros que permitan, con apoyo de las TIC, alcanzar mayores competencias, cooperación y conectividad, a través de plataformas y de mega redes de aprendizaje, que faciliten la construcción de nuevo conocimiento compartido, como aporte a la universidad en general y, en particular a la colombiana, en el desarrollo de su contexto inmediato frente a la globalización de la educación y de la empresa.

Palabras clave: Sociedad del conocimiento, tecnologías de la información y comunicación, educación virtual, modelos pedagógicos.

SUMMARY

The state of the art and projections related to virtual pedagogical business models developed in the world is presented through a historical, documentary and bibliographical review of emblematic experiences by universities that have implemented these models. In the first part, the models of *e-learning* in European, American and Colombian universities are analyzed, based on the incorporation of information and communication technologies (ICT) and methodologies used to optimize learning. In the second, the findings are articulated in order to promote innovative ideas for designing an educational virtual online business development. The third component validates the model in two academic years. The study leaves as conclusion that despite the existence of different models of educational virtual business development, the creation of others, with the support of ICT is required, to achieve greater competition, cooperation and connectivity across platforms and mega learning networks. This, to facilitate the construction of new, shared knowledge as contribution to the university in general and, in particular, to the Colombian one, in the development of its immediate context, in front of the globalization of education and commerce.

Key words: Society of knowledge, information technology and communication, virtual education, pedagogical models.

¹ Comunicador Social – Periodista. M.Sc. Comunicación, Docente Investigador Ingeniería Comercial. U.D.C.A. e-mail: zambrano_william@hotmail.com

² Abogada. Filósofa. M.Sc. Estudios Humanísticos. Docente Investigadora. Ingeniería Comercial U.D.C.A. e-mail: dorisgue@udca.edu.co

INTRODUCCIÓN

Las actuales generaciones enfrentan cambios en diferentes ámbitos: científico, tecnológico, político, económico, social y cultural, “estas tendencias presentan desafíos para los sistemas educativos en cuanto a la selección de metodologías de enseñanza y aprendizaje virtual y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) que se ofrecen a los discentes” (Denis, 1998). Además, el contexto empresarial se ha transformado en los últimos años (Bednar *et al.* 2007), lo que se evidencia en el entorno organizacional, dando lugar a procesos de democratización, a la incorporación de nuevos competidores, “a la integración en algunos sectores, a la desintegración en otros, a la profusión de información y comunicación, fusiones y alianzas, al surgimiento de bloques comerciales identificados” (Yarzabal, 2004), mayores demandas de calidad, servicio, a grandes avances tecnológicos de la mano de las TIC (Saettler, 2005), a la apertura del comercio internacional y a la creación global de nuevas estructuras de empresas.

Según Área (2005), “en la educación, la tecnología es y será un gran bastión en su desarrollo, apoyo a la formación del individuo, contenidos electrónicos, internet; elementos estos que enriquecen y ayudan a los procesos empresariales”. La Sociedad de la Información y el Conocimiento (SIC) constituye un cambio, un nuevo modelo y una realidad que necesita liderazgo tecnológico para su desarrollo en los ámbitos empresariales. Su impacto en la sociedad global y sus repercusiones en la gestión empresarial, se ve reflejado en los cuestionamientos que se han generado sobre la forma en que los alumnos, en general y, en particular, los de la Facultad de Ingeniería Comercial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, aprenden y desarrollan sus competencias en la creación de entornos más efectivos, centrados en su futura actividad empresarial.

“Estos cambios responden a diversos factores, entre los cuales, se resalta el papel del conocimiento en la transformación empresarial” (Guerrero *et al.* 2007). Las Instituciones de Educación Superior (IES) y los empresarios están convencidos que el proceso pedagógico virtual de desarrollo empresarial tendrá un papel importante en la sociedad basada en la

información: las TIC son el componente básico de la educación virtual y su manejo supone un esquema con base en su buen uso y eficiencia (Suengas *et al.* 2003).

Debido a estas transformaciones que afectan a las empresas y a las IES, se hace necesario implementar nuevos procesos pedagógicos virtuales de desarrollo empresarial dirigido a estudiantes de educación superior, con nuevas estrategias organizacionales, modernos enfoques didácticos y “metodológicos para formar líderes capaces de enfrentar los retos del presente siglo” (EDUTEKA, 2008).

Dentro de este ámbito emerge, de manera rápida y creciente en la educación, la virtualidad, la cual, hace referencia a los instrumentos y a los procesos utilizados para transmitir, producir, intercambiar información y conocimiento por medios electrónicos (Fundación Gabriel Piedrahita Uribe, 2007). Esta modalidad educativa, denominada *e-learning*, se centra en el proceso de enseñanza-aprendizaje apoyado por TIC, a través del medio virtual, que facilita la interactividad (Tinker, 2008).

En consecuencia, dadas las exigencias actuales en la educación, se propone evaluar las experiencias en modelos pedagógicos virtuales en países líderes en este tipo de formación, por lo cual, el presente estudio pretende dar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los nuevos enfoques educativos para crear un diseño de formación pedagógica en gestión y desarrollo empresarial virtual?, ¿cómo aplicar el proceso pedagógico en línea para la cualificación del futuro empresario de la Facultad de Ingeniería Comercial? y ¿cuál es el nuevo papel del docente y discente en la educación virtual empresarial?

De otra parte, esta propuesta será importante para desarrollar asignaturas asistidas por tecnologías relacionadas con la empresa en los procesos de aprendizaje y que se pueden implementar a otros campos afines. El propósito de esta aplicación es la de mejorar el ejercicio académico, la formación docente-discente, las estrategias metodológicas empleadas en la gestión y desarrollo empresarial, con miras a favorecer la interactividad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para adelantar la primera parte del estudio, se realizó un estado del arte sobre modelos pedagógicos virtuales de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC, entre los periodos de 1990 a 2008, para evaluar sus debilidades y sus fortalezas e identificar diferentes enfoques educativos y tecnológicos. Se recurrió a bibliografía, mediante información de libros, de trabajos científicos, de documentos inéditos, de ponencias, de conferencias, de investigaciones previas, de revistas indexadas y de documentación pertinente en Internet.

Para cumplir con lo anterior, se tomó una muestra de 146 (69,2%) experiencias significativas de instituciones de: Europa, 57 (39%); Norteamérica, 18 (12.4%); Latinoamérica, 48 (33%) y Colombia, 23 (15.6%), según los registros de acreditación entregados por Ministerios de Educación de cada país. Los criterios de selección de la muestra referenciada fueron los siguientes: universidades con mayor trayectoria internacional en la implementación de modelos pedagógicos virtuales, metodologías que desarrollan competencias empresariales e Instituciones que arrojan logros positivos en los procesos de aprendizaje en línea. Como resultado, se logró una representación de 72% de encuestas respondidas, lo que facilitó clasificar la información y complementarla a través de cada portal.

Para la segunda parte, se desarrolló una investigación teórica de tipo exploratorio, lo que permitió determinar los referentes empíricos y diseñar las estrategias de recolección de información y de análisis documental. La información, se recogió de los cursos académicos del programa de Ingeniería Comercial de la U.D.C.A: Legislación Comercial, en el que se identifican los requisitos legales para la creación, funcionamiento de las unidades de negocio y Comunicación Oral y Escrita, en el que se fundamentan procesos de interacción para el desarrollo óptimo de la comunicación organizacional.

Para el cumplimiento del anterior propósito, se aplicó para el levantamiento de datos técnicas de encuesta y de entrevista en profundidad, con el propósito de validar el diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC. Se tomó una muestra de 40 alumnos de los cursos mencionados, con el fin de conocer los aspectos considerados de mayor interés en el impacto y validación del diseño durante el proceso

de aprendizaje. Para tal fin, no se consideraron variables como la edad, el nivel educativo y socioeconómico de los estudiantes, debido a que el currículo es flexible y no se exige para la inscripción de los cursos académicos ningún requisito.

Se presentaron dificultades en la identificación de las universidades que emplean, en su diseño pedagógico virtual, el desarrollo empresarial, empleando las TIC, como: algunas instituciones no diligenciaron las encuestas proporcionadas, otras no las hicieron llegar oportunamente. No obstante, los hallazgos permitieron conocer diagnósticos significativos de formatos a distancia, que proporcionaron un estudio sobre la mejor manera de favorecer los aprendizajes y la adquisición de nuevos conocimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo como resultado, la identificación de debilidades y fortalezas de los modelos pedagógicos virtuales nacionales e internacionales de desarrollo empresarial, lo que arrojó el siguiente análisis:

En Europa: la Universidad Oberta de Cataluña de España (UOC, 2008) es pionera en esta modalidad y su objetivo es satisfacer las necesidades de aprendizaje de los estudiantes, con el empleo intensivo de las TIC, para desarrollar empresa. De igual manera, las universidades de Málaga, Coruña, Vigo, del País Vasco, Politécnica de Madrid, Complutense, Santiago de Compostela, Sevilla, Cantabria, Les Illes Balears, Centros tecnológicos andaluces, Murcia, Granada y Autónoma de Barcelona, implementan un modelo pedagógico de creación de empresa, a través de una metodología práctica: formulación de actividades, evaluación de respuestas a los ejercicios planeados mediante retroalimentación.

En Inglaterra, se destaca American International University in London, Universidad Sheffield, Universidad London, Bournemouth, Brunel, Uxbridge, City University London y University of North London, las cuales, enfatizan aprendizaje significativo y socialmente pertinente, mediante interacción individual o grupal entre alumnos, equipo pedagógico y contenidos.

En Francia, la Central European University, University of Jewish Studies y en Hungría, Kodolanyi Janos University College, se apoyan en el Modelo Concord (CC, 2008),

centrado en la disponibilidad de comunicación vía Internet, siguiendo un calendario de actividades, a través de evaluación permanente, según Monereo (2007): "Pasaron del concepto de aprendizaje basado en la adquisición de conocimiento al de su construcción".

En América: se ha desarrollado lentamente la educación virtual empresarial en comparación con Europa; sin embargo, hay universidades que están realizando un papel importante, por ejemplo, en Canadá, Alberta AB-Edmonton, Calgary, Royal Roads British y Ontario Institute for Studies in Education, proponen su modelo en el uso de tecnología, en diseños metodológicos y en el trabajo colaborativo entre estudiantes y tutores. Así mismo, en Estados Unidos, se presenta el mismo enfoque en las Universidades de California, Berkeley, Global University Network for Innovation, Georgetown University, Central Florida, Rioja, Illinois de Urbana-Champaign y Carolina del Norte (Domínguez, 2008).

En Latinoamérica, se destaca, desde 1996, el Modelo Pedagógico Virtual del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey de México (ITESM, 2008), sus cursos se desarrollan a través de conocimientos relevantes, significativos, actividades que promueven la colaboración, autogestión del aprendizaje por parte de los estudiantes, evaluación y retroalimentación continua del progreso de los mismos.

Chile, ha sido pionero en Suramérica en modelos pedagógicos virtuales, apoyados en el uso de computadoras y de redes. La Pontificia Universidad Católica de Chile adelanta un diseño de aprendizaje de desarrollo de empresas, por medio de tres enfoques: gestión, tecnología y educación, que permiten generar una dinámica encaminada a maximizar las competencias. En Argentina, las universidades Nacional de Quilmes, Nacional Tres de Febrero, Maimónides Online, Virtual del Nordeste, Virtual de Rosario y Universidad Virtual Juan Agustín Mazza, sustentan el diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC en estrategias didácticas en la producción, análisis, documentación y creatividad.

En Brasil, universidades como Nacional de Río Cuarto, Amazonía, Pontificia Católica de Campinas, Federal de Santa Catarina, São Paulo, Pontificia Universidad Católica de São Paulo, do Estado de Sao Paulo y Virtual Pública, basan su formación en el uso creativo y

adecuado de recursos, con las exigencias empresariales del país (Angeloni, 2006).

En Colombia: la Universidad Nacional Agraria de la Selva fue una de las primeras en incorporar esta modalidad, mediante convenio con el ITESM. Su modelo pedagógico empresarial, se fundamenta en promover el liderazgo y la excelencia en la formación de profesionales, con un enfoque científico, tecnológico, humanístico y social, apoyado en plataformas. Igualmente, la Fundación Universitaria Católica del Norte, desde 1998, ofrece programas en la modalidad virtual, soportado en su propio software educativo.

La Universidad de la Empresa, en asocio con la UOC y luego con la Universidad Nacional de Quilmas, creó en 2000, un campus virtual para brindar estudios en Gestión del Conocimiento. Un año más tarde, siete instituciones colombianas formaron una alianza estratégica con la Red Universitaria Mutis (RUM) con ITESM, para asumir este modelo de educación virtual, integrada por las Universidades Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Autónoma de Occidente (UAO), Tecnológica de Bolívar (UTB), Corunversitaria de Ibagué, Autónoma de Manizales (UAM), Minuto de Dios y las Fundaciones Manuel Mejía y Suramericana.

La UNAB, caracteriza su modelo pedagógico, tecnológico y comunicativo, en el diseño de materiales *e-learning* desde la perspectiva de la gestión empresarial. El formato educativo y tecnológico de la UAO es similar al del ITESM con el respaldo del Instituto Latinoamericano para la Comunicación Educativa (ILCE), que se centra en el estudiante y el cual, requiere conocimientos básicos de cómputo, organización del tiempo y responsabilidad que asume para conformar su propia empresa.

El modelo *e-learning* de Uniminuto es parecido al de la Fundación Universitaria de Popayán y al de la Universidad Tecnológica de Pereira, se apoya en el Instituto de Educación Virtual y a Distancia con sus plataformas Manhattan y Cátedra, prioriza la responsabilidad, la dedicación, la autonomía del alumno, como agente activo de su proceso de aprendizaje. Con el mismo propósito, la Universidad Santiago de Cali promueve un enfoque de calidad, flexible, accesible y didáctico, basado en problemas y en la construcción de comunidades de conocimiento.

De la misma forma, otro grupo de universidades colombianas han comenzado a trabajar sobre proyectos de educación virtual con énfasis empresarial, mediante una formación pedagógica dual y otras, a mediano plazo, emprenderán acciones incorporando las TIC, entre ellas: Antioquia, Los Andes, Nacional de Colombia, Sergio Arboleda, La Gran Colombia, Militar Nueva Granada, Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología (EAFIT), Católica del Norte, Pontificia Javeriana, Pedagógica Nacional, Industrial de Santander, Pamplona, Valle, San Buenaventura, Santo Tomás y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

De acuerdo a este estudio, 94% de universidades presentan modelos pedagógicos virtuales de desarrollo empresarial con apoyo de herramientas tecnológicas en pregrado y postgrados; 57%, están en exploración de sus diseños; 75%, ingresa desde cualquier parte de la Institución y 84%, cuenta con acceso a Internet por fibra óptica, poseen portales electrónicos e Intranets, lo que facilita la interacción entre la universidad y los empresarios.

En pedagogía y autoaprendizaje, 81%, ofrece seminarios de inducción empresarial; 51%, capacitación permanente; 42%, tiene aulas virtuales; 26%, cursos en línea soportados en equipos multimedia y 23%, videoconferencia. En cuanto a programas ofrecidos bajo esta modalidad, se encuentran: Administración (20,3%), Educación (18,7%), Ciencias Sociales (10%), Economía (9%), Ingeniería (8%), Tecnología (8,3%), Ciencias Básicas (7%), de la Salud (6,2%) y otros (4,5%), los cuales, funcionan con una plataforma enseñanza-aprendizaje diseñada según las necesidades de cada universidad (63%) y otras con sitios Web comerciales (37%).

De 57 modelos pedagógicos virtuales de Europa, se observaron en 20 de ellos, tendencias a conformar redes virtuales empresariales, con el fin de hacer parte del tejido mundial para la investigación y la educación entre entidades gubernamentales, empresas y otros sectores. Mientras que de 18 modelos pedagógicos en línea de Norteamérica y 48 en Latinoamérica, en 35 de ellos fundamentan un ambiente dinámico en Internet, como apoyo a la labor pedagógica, para facilitar mecanismos alternos de comunicación.

En síntesis, 44 de las universidades estudiadas disponen de un portal digital propio; 7% tiene servicios de hosting o

arrendamiento de servidores; 41% posee aulas virtuales; 88% cursos en línea empresariales; 13% emplea video y audio conferencias; 73% biblioteca virtual; 91% comunicaciones virtuales y 12% tecnología WAP.

Se deduce de los resultados obtenidos en estudio del estado del arte propuesto, que se requiere de modelos y de metodologías virtuales de desarrollo empresarial que integre: educación-tecnología, docente-discente, enseñanza-aprendizaje, contenidos-competencias y comunicación-información, todas ellas enmarcadas en la implementación del uso de las TIC, como medio eficaz para afrontar las nuevas metas educativas y empresariales, es decir, un formato pedagógico que esté acorde con el desarrollo de sistemas educativos innovadores y que posibilite un currículo flexible adecuado para el desarrollo de las competencias empresariales.

Propuesta de un diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC: de acuerdo con los resultados arrojados, se considera que la mejor aproximación para el aprendizaje virtual y manejo de información empresarial que utiliza bases de datos es la Gestión de Conocimiento (GC), entendida como el proceso sistemático de detectar, seleccionar, organizar, filtrar, presentar y usar la información por parte de los participantes de un entorno, con el objeto de aprovechar, cooperativamente, los recursos de conocimiento basados en el capital intelectual propio de las organizaciones y orientado a potenciar las competencias de sus miembros (Figura 1).

El aprendiz, detecta las fuentes de acuerdo a sus capacidades cognitivas (modelos mentales, visión sistémica y otras), las **selecciona y evalúa**, mediante su pensamiento crítico, de acuerdo con los objetivos y los criterios trazados por el docente en cada una de las temáticas. El estudiante categoriza la información para determinar diferentes niveles de importancia y adaptarla para desenvolverse en nuevas situaciones comunicativas.

En este enfoque comunicativo, las estrategias se agrupan en: **organizar y clasificar** la información, a fin de generar nuevas ideas para ser discutidas colaborativamente: las almacena de forma estructurada y explícita en el modelo. Para tal objetivo, se debe realizar las siguientes etapas: **Generar:** crear ideas e identificar nueva documentación, páginas Web y libros. **Buscar:** en la medida en que no



Figura 1. Diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC.

todos los alumnos accedan a la misma información será posible realizar trabajos de complementariedad, unos pueden hacerlo mediante audio y video y, otros, en Webs interactivas.

No basta con encontrar datos y presentarlos, deben ser transformados en información, recopilados, analizados, seleccionados, estructurados y organizados. Una vez elaborados y modificados en información para un propósito específico, deben tener la posibilidad de ser recuperados cuando sea necesario, para aplicarlos en la resolución de situaciones que se presenten en otros momentos. “Este proceso depende cada vez más del manejo de datos, información y conocimiento. Si no se intercambian saberes, no se crea riqueza” (Toffler, 2001).

Codificar: al tener la información seleccionada, se ingresa a su grupo o comunidad virtual en Internet, con un lenguaje común (palabras, diagramas, imágenes), a fin de construir conocimiento colaborativo, ayudado

por interfaces y por herramientas de la Web. **Transferir:** establece el almacenamiento y apertura del conocimiento, a través de la red o sitios Web. **Filtrar:** una vez organizadas las fuentes de información, se contrastan, mediante consultas automatizadas en torno a motores de búsqueda, a portales o agentes inteligentes. El estudiante investiga, trabaja en equipo y empieza a crear habilidades, con el objeto de generar conocimiento.

Presentar: los resultados obtenidos del proceso de filtrado son expuestos a la comunidad, a través de un documento final, con el propósito que estos nuevos conocimientos sean reconstruidos y actualizados conjuntamente. **Usar y difundir:** luego, de construido grupalmente el nuevo saber, se publica en un portafolio digital, con el ánimo que sea utilizado para otras tareas.

Este diseño de desarrollo empresarial necesita de un Sistema de Gestión de Conocimiento (SGC), que no sólo almacena información en forma de

noticias, sino que se va más allá; además, incorpora mecanismos de comunicación que permiten compartir el conocimiento. Igualmente, el empleo de las TIC, como enfoque educativo, facilita el aprendizaje y la utilización de un SGC, que acepte establecer la mayor cantidad de relaciones entre la información disponible y su clasificación a diferentes niveles. A partir de este soporte de conocimiento, se planeará el aprendizaje, a través de la acción, que se reflejará en la ejecución de tareas. En este contexto, el sistema interactuará con el aprendiz para motivarlo y le presentará la información personalizada y adaptada a sus preferencias.

En cuanto al conocimiento que se debe manejar, se requiere una modificación de los modos de aprender y enseñar. Esta transformación implica el paso de un modelo en el que el docente es el agente monopolizador del conocimiento y su representante autorizado, a otro en el que el alumno es llamado a la exploración individual y al autoaprendizaje relacionado con la realidad empresarial. En este tipo de patrones, el alumno construye las relaciones, descubre el proceso a medida que se involucra en él y es estimulado a trazar su propio recorrido (Piaget, 1999).

Para alcanzar este aprendizaje es necesario plantear estrategias de acción que no sean vistas como pesadas obligaciones sino como entretenidas opciones de aprendizaje. Así, se presentan los contenidos no como algo a estudiar, sino como elementos necesarios para obtener unos objetivos (Martínez, 2002), que se irán descubriendo, por medio de diversas pruebas, aprendiendo a avanzar por las diferentes fases mediante pruebas, errores, experiencias obtenidas en momentos previos y desarrollando habilidades que mejoran con la práctica.

A continuación, se mostrarán las fases que soportarán el desarrollo empresarial, las cuales, tienen en cuenta los principales procesos que intervienen en los sistemas interactivos: diseño de la información, diseño de la interacción, diseño de la presentación y diseño de la integración.

Diseño de la información: comprende la identificación de unidades y de procesos, división en subprocesos y la creación de mapas conceptuales. A partir de estos últimos, se asocian los elementos de conocimiento a cada uno de ellos para asignarle un problema modelo y

cuestionamientos reales. Una vez organizados, se deben incluir en la Base de Conocimiento (BC).

Diseño de la interacción: para unir la estructura no lineal de la información y el aprendizaje activo por experiencia, se propone una forma de almacenar y acceder a los conocimientos de manera progresiva con: la introducción al entorno, establecimiento de preferencias de aprendizaje y de visualización, cuestionario general del curso, nivel inicial y temas del mismo. En lugar de asociar contenidos, se presentan pruebas que requieren del conocimiento a adquirir para ser realizadas.

El discente dispone de ayudas como: materiales básicos para la resolución de las tareas en diversos formatos, enlaces a temas relacionados, ejemplos de problemas, propuestas de otros compañeros para llegar a la solución, consejos de lo que debe y no debe hacer, a quién puede preguntar, entre otras inquietudes. De esta manera, el estudiante irá construyendo, a través de la práctica, su propio saber. En el momento en que llegue a la solución de una tarea, se le propondrán otras más complejas que precisa del conocimiento adquirido en la realización de la tarea anterior.

A fin de permitir la relación temática, se debe considerar la exposición de los mismos, evaluación, refuerzo y aclaración de conclusiones previas, retroalimentación, planteamiento de problemas, directorio electrónico de consulta, lecciones aprendidas, preguntas más frecuentes, cuaderno de evaluación y presentación de conclusiones, para reafirmar los conocimientos adquiridos. Estas ayudas que puede emplear el alumno, se estructurarán siguiendo las directrices de la GC, como: directorio de búsqueda, que incluirán documentos de diversos formatos: imágenes, vídeos, textos, bibliografía recomendada, listado de expertos en el tema.

Diseño de la presentación: contará con la introducción, que incluye la exposición del tema, objetivos de aprendizaje, estrategias que se aplicarán y su relevancia. En cuanto al problema, contendrá grado de dificultad, oportunidad, ayudas que se pueden generar y retroalimentación. Finalmente, el resumen, compuesto de conceptos claves, tipos de cuestionamientos resueltos y objetivos alcanzados. De acuerdo con lo anterior, se seleccionará las técnicas para hacer la tecnología transparente al usuario. De igual manera, se propone la utilización de un entorno Web que evita la instalación de

programas específicos, a excepción de los necesarios, para el manejo de determinados formatos.

Diseño de la integración: para optimizar esta fase, se debe permitir la comunicación entre los elementos y el alumno. Se utilizan cinco tipos de estrategias, que facilitan el reparto de tareas entre los ordenadores locales y el servidor. Para tal fin, se contará con el monitor del discente, que trabaja localmente para controlar cambios en el estado del estudiante y generar un perfil del mismo, que servirá para personalizar la presentación de la información; el monitor de la base del conocimiento (BC) que interrelaciona remotamente, para controlar cambios; el estratega quien gestiona en el equipo local tácticas de aprendizaje, según preferencias y nivel del discente.

Validación del diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC: se aplicó el diseño en los dos cursos académicos referenciados, obteniendo los siguientes resultados: 13%, destacó la interacción, el papel del docente y del discente en el proceso de enseñanza y aprendizaje; 88%, consideró suficiente la capacitación sobre el modelo; 98%, se conectó a internet entre 90 y 105 veces durante cada curso; 96%, resaltó la diversidad de posibilidades que aportó el diseño pedagógico de desarrollo empresarial; 45%, explicitó la actualidad de las informaciones y de encontrarse dentro de un entorno nuevo y 91%, manifestó que el modelo, con apoyo de Internet, se convierta en canal de diferentes cursos académicos.

Se presentaron problemas por deficiencia de la infraestructura disponible, lentitud de acceso-transmisión de datos y pocos ordenadores conectados a la red. Sin embargo, 94% respondió que los medios y las tecnologías permitieron mayor interacción con los docentes, 80% tiene capacidad de usar las TIC, 12% presentó nivel medio de conocimiento, mientras que 5% tiene nivel bajo y 2,5% nivel muy bajo. 95% consideró que los contenidos fueron claros y didácticos respetando la propiedad intelectual y ponderaron la exigencia del docente lo que aseguró la calidad de cada asignatura y la optimización del aprendizaje, debido a su continua revisión y actualización.

Se destacó el material diseñado para la metodología: presentación del curso, guía de aprendizaje, contenidos, acciones de fundamentación: árbol conceptual, marco

referencial Web, lecturas, navegación guiada, acciones de retroalimentación, autoevaluación conceptual, talleres de trabajo, aplicación y evaluación. 87%, resaltó los contenidos desarrollados, su presentación, accesibilidad y funcionalidad de los enlaces, calidad, variedad y dinámica de las interacciones; 91%, destacó que el contenido estuvo relacionado con el contexto actual, con cada curso académico y con las exigencias empresariales, gracias al aumento paulatino del volumen de documentación del curso disponible con sus respectivos vínculos.

Frente a la bibliografía propuesta, el 91% expresó que la bibliografía fue suficiente como también la disponibilidad de espacios físicos y virtuales; 96%, destacó al syllabus como dinámico y pertinente y 75%, resaltó los foros virtuales. Una de las herramientas importantes fue el uso del correo electrónico del facilitador para retroalimentar el proceso del discente, herramienta que sirvió para enriquecer el aprendizaje. El 92% enfatizó el cambio del papel del tutor y del aprendiz en el uso y apoyo virtual, creación de nuevos espacios de comunicación y su aplicación en contextos empresariales.

CONCLUSIONES

Los modelos pedagógicos virtuales de desarrollo empresarial que implementan las universidades estudiadas, se fundamentan en la enseñanza-aprendizaje, el alumno cumple papel activo en el proceso autodirigido, colaborativo y significativo apoyado por las TIC, a través de seguimiento, tutoría, actividades, estrategias didácticas y reflexión pedagógica, que se sustentan en siete elementos: colaboración asincrónica, disponibilidad de un calendario, tutoría, construcción de una comunidad, límite de discentes por grupo, calidad de materiales y espacios virtuales.

Lo expresado invita a las universidades a innovar sus tradicionales modelos de aprendizaje y tecnologías para llegar a la demanda de redes de convergencia mundial y regional, para facilitar el acceso a los servicios de información y comunicación, con el ánimo de establecer un nuevo modelo basado en el principio de movilidad, que permita integrar mapas de conocimiento visual, bancos de imágenes, herramientas multimedia, internet y tecnologías Web 2.0, para soportar el proceso de enseñanza-aprendizaje en sus diferentes modalidades.

Las TIC facilitaron el trabajo colaborativo, porque los aprendices compartieron información, trabajaron con documentos conjuntos y tomaron decisiones para la solución de problemas, con ayuda de herramientas tecnológicas, con base en asignación de tareas, calendarios, convocatoria de reuniones, lluvia de ideas, mapas conceptuales y notas. Las tecnologías propiciaron nuevos espacios, oportunidades de cooperación y participación, que conllevaron a un aprendizaje cooperativo, mejorando la convivencia y el trabajo en equipo, lo que evidenció el progreso individual y colectivo de los discentes. Las estrategias pedagógicas, didácticas y metodológicas de aprendizaje fueron bien evaluadas.

Proponer este nuevo diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC contribuye a la reflexión de un proceso pedagógico que permite que los estudiantes aprendan sin desvincularse de sus problemas regionales, lo que representa un ejemplo de la interacción necesaria entre lo global y lo local, aspecto determinante para alcanzar la propia pertinencia de un nuevo modelo de enseñanza-aprendizaje virtual. Estos objetivos no serán alcanzados a menos que las universidades nacionales adopten toda la gama de TIC en la Web, que van desde la implantación de procesos de aprendizaje en aulas-laboratorios y la utilización eficiente de la enseñanza a distancia, hasta la producción de material didáctico orientado a las necesidades.

El diseño pedagógico virtual de desarrollo empresarial con apoyo de las TIC, basado en la gestión del conocimiento, permite tener en cuenta las interrelaciones existentes entre la información que se maneja y proporciona. A partir de esta propuesta, se dejan algunas preguntas que pueden orientar investigaciones similares en esta temática: la creación de un software gratuito en la red ¿optimizará los sistemas de información empresarial? Al aunar esfuerzos, las universidades y las empresas podrán proponer nuevos diseños pedagógicos en la Web 2.0, acorde con las necesidades del entorno?

BIBLIOGRAFÍA

- ANGELONI, M. 2006. Organizações do Conhecimento – Infra-Estrutura, Pessoas e Tecnologías. Ed. Saraiva (São Paulo, Brasil). 123p.
- ÁREA, M. 2005. Las tecnologías de la información y comunicación en el sistema escolar. Una revisión de las líneas de investigación. *Rev. Electr. Invest. Eval. Educ.* 11(1):1-15 Disponible en Internet desde: http://www.uv.es/RELIEVE/v11n1/RELIEVEv11n1_1.pdf (con acceso 23/03/08).
- BEDNAR, A., CUNNINGHAM, D., DUFFY, T., PERRY, J. 2007. Theory into practice: How do we link? In: Duffy, T.M.; Jonassen, D.H. (Eds.), *Constructivism and the Technology of instruction: A conversation*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. 97p.
- CONCORD CONSORTIUM E- LEARNING. 2008. Model for Online Courses Disponible desde Internet en: http://www.concord.org/courses/cc_e-learning_model.html (con acceso 05/03/08).
- DENIS, Z. 1998. La formación del profesorado en tecnologías de la información en la educación. Ed. Anaya (Madrid, España). 45p.
- DOMÍNGUEZ, G. 2008. Perspectiva de la Universidad en la Escena Contemporánea. Ed. Uladech (Chimbote, Perú). 11p.
- EDUTEKA. 2008. Aprendizaje virtual. *Rev. Fundación Gabriel Piedrahita Uribe (Colombia)*. 22(1):10-13.
- FUNDACIÓN GABRIEL PIEDRAHITA URIBE. 2007. Modelo y metodología Gavilán para desarrollar la competencia para manejar información (CMI) Disponible desde Internet en: http://www.ribiecol.org/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=27&Itemid=15 (con acceso 08/30/08).
- GUERRERO, R.; DÍAZ, P. 2007. Diseño de una herramienta para la creación de cursos virtuales. Ed. Teleduc (La Habana, Cuba). 85p.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MONTERREY. 2008. Modelo de educación virtual. Disponible desde Internet en: www.ruv.itesm.mx (con acceso 07/08/08).
- MARTÍNEZ, J. 2002. Contenidos en e-learning: el rey sin corona. Disponible desde Internet en: <http://www.uoc.edu/dt/20126/index.html> (con acceso 07/11/08).

- MONEREO, C. 2007. Las estrategias de aprendizaje: preguntas básicas para la integración en la programación didáctica. Ed. Visor (Madrid, España). 162p.
- PIAGET, J. 1999. De la pedagogía. Ed. Paidós (Buenos Aires, Argentina). 123p.
- SAETTLER, P. 2005. The evolution of american educational technology. Englewood, CO: Libraries Unlimited, Inc. Teorías de Bloom y Gagne. 234p.
- SUENGAS, J., GONZÁLEZ, J. 2003. Estrategias metacognitivas. Aprender a aprender y aprender a pensar. Ed. Síntesis (Madrid, España). 27p.
- TINKER, R. 2008. E-Learning Quality: The Concord Model for Learning from a Distance. NASSP Bulletin. 85(628):37-46.
- TOFFLER, A. 2001. La Tercera Ola. Ed. Plaza y Janés (Barcelona, España). p.53.
- UNIVERSIDAD OBERTA DE CATALUÑA. 2008. Modelo Pedagógico. Disponible desde Internet en: <http://www.uoc.edu/portal/castellano/> (con acceso 04/07/08).
- YARZÁBAL, L. 2004. La transformación universitaria en víspera del tercer milenio, Volumen 6, Serie Políticas y Estrategias CRESALC/UNESCO. (Caracas, Venezuela).145p.

Recibido: Agosto 26 de 2008

Aceptado: Abril 23 de 2009

COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y DE LA FUNCIÓN DE LOS MIEMBROS ANTERIOR Y POSTERIOR DE *Cuniculus taczanowskii* Y *Dinomys branickii*

COMPARISON OF THE FORE AND HINDLIMB STRUCTURE AND FUNCTION OF *Cuniculus taczanowskii* AND *Dinomys branickii*

Karin Osbaahr¹
Pedro Acevedo²
Andrea Villamizar³
Daniela Espinosa³

RESUMEN

Las adaptaciones anatómicas que capacitan a los animales para desarrollarse de una manera específica en un ambiente determinado, se ven reflejadas en cambios morfológicos estructurales y fisiológicos. *Cuniculus taczanowskii* y *Dinomys branickii* son especies simpátricas, por lo cual, surgió la pregunta de si existen diferencias y similitudes en el esqueleto apendicular que expliquen sus hábitos locomotores, en el contexto de la ecología funcional. El análisis de las medidas óseas de los huesos largos que conforman el esqueleto apendicular muestra claras diferencias tanto inter como intraespecíficas, que permiten inferir características específicas de *D. branickii* y *C. taczanowskii*, durante la locomoción y, por lo tanto, durante los patrones de

uso del hábitat. Los índices morfológicos corroboran las características anatómicas, que explica la capacidad para cavar propia de *C. taczanowskii* y el desplazamiento plantígrado durante la marcha lenta, característico de *D. branickii*.

Palabras clave: Tinajo de páramo, Guagua loba, esqueleto apendicular, índices morfológicos, morfometría ósea.

SUMMARY

The anatomical adaptations that allow animals to develop in a specific way in a certain environment reflect structural and physiological changes. *Cuniculus taczanowskii* and *Dinomys branickii* are sympatric species, so the question arose if possible differences and similarities in the appendicular skeleton explain their locomotive habits in the context of functional ecology. The analysis of the long bone measures of the appendicular skeleton show inter and intraspecific differences that allow to assume specific characteristics of *D. branickii* and *C. taczanowskii* during the locomotion and therefore during the patterns of habitat use. The morphologic indices corroborate the anatomical characteristics that explain the fossorial activities of *C. taczanowskii* and the slow walking cursorial adaptation of *D. branickii*.

Key words: Mountain paca, Pacarana, appendicular skeleton, morphological index, bone scaling.

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. kosbaahr@udca.edu.co

² Docente Facultad de Medicina Veterinaria – Área Anatomía. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. pacevedo@udca.edu.co

³ Médico Veterinario. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. avg5000@hotmail.com, dan2_19@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La locomoción representa un elemento clave para la supervivencia de los vertebrados terrestres. Asociada a la búsqueda de alimento, fuentes de agua y de refugio, a la evasión de depredadores y a la interacción con otros individuos, constituye un factor importante durante los patrones de actividad. La capacidad y la velocidad locomotoras reflejan la habilidad de moverse en un hábitat, afectando, directamente, la posibilidad de acceder parcial o totalmente a todos sus componentes y modificando, así, la forma eficaz de explotar un área (Irschick, 2002). El esqueleto apendicular de los mamíferos refleja sus hábitos ecológicos y locomotores. Los roedores presenta características generales similares a otros grupos, con algunas adaptaciones convergentes con las de otros mamíferos adaptados a diferentes tipos de desplazamiento. Concretamente, para los roedores hystriocognatos adaptados para la carrera, se observan similitudes morfológicas con representantes de los órdenes Artiodactyla, Perisodactyla y Carnivora, en los cuales, extremidades más largas, corresponden a metapodiales más largos, mientras que las falanges permanecen relativamente cortas (Ginsburg, 1961; Christiansen, 1999; Hildebrand & Goslow, 2001).

Los roedores del suborden Hystricognatha sobresalen por una gran diversidad anatómica y ecológica. Debido a que por anatomía no se encuentran altamente especializados, registran un repertorio amplio en los estilos de locomoción caracterizándose, incluso, en algunos casos, por presentar más de un hábito de locomoción (Elissamburu & Vizcaíno, 2004; Weisbecker & Schmid, 2007).

Durante los últimos años, se han realizado estudios enfocados hacia la estructura, la función y la cinemática de los miembros de los mamíferos relacionando, a su vez, el comportamiento general de una o más especies en particular (Endo *et al.* 2001; Bacigalupe *et al.* 2002; Fletcher, 2007; Taborelli *et al.* 2007, Santori *et al.* 2005, 2008). Kimura (2003) argumenta que la diferenciación funcional entre el miembro anterior y posterior constituye una característica única del comportamiento locomotor de un animal. Como complemento, Elissamburu & Vizcaíno (2004) concluyen que el estudio de los huesos largos en roedores caviomorfos es relevante para distinguir las características particulares de los diferentes tipos de locomoción. El desempeño de

las especies relativamente especializadas para vivir en determinado hábitat normalmente es mayor en relación al que presentan en otro tipo de hábitat. Estas diferencias, se reflejan en los diversos taxones que componen un ensamblaje determinado, donde se han reportado correlaciones interespecíficas entre el hábitat, la morfología y la habilidad locomotora, con diferentes grados de especialización. Por lo tanto, el desempeño locomotor es un indicador potencialmente importante de la diferenciación ecológica entre especies (Irschick, 2002).

Aunque el tinajo de páramo y la guagua loba son representantes de dos familias de roedores con características morfológicas propias, se encuentran agrupados dentro del suborden Hystricognatha, que incluye a los caviomorfos suramericanos. La gran diversidad anatómica y ecológica del grupo permite realizar estudios comparativos y explorar algunas de las características funcionales reflejadas en el esqueleto apendicular (Loguercio, 2005; Weisbecker & Schmid, 2007, Rocha-Barbosa *et al.* 1996a,b; 2002; 2005; 2007). La longitud de los huesos largos es un indicador relevante para distinguir los grupos de locomoción en los Caviomorfos (Elissamburu & Vizcaíno, 2004). Weisbecker & Schmid (2007) describen, respectivamente, a *C. taczanowskii* y *D. branickii* como animales terrestres y trepadores, pero esta condición únicamente ha sido documentada mediante el estudio general del esqueleto autopodial sin incluir otros elementos óseos de los miembros que, igualmente, influyen en la locomoción. Por lo tanto, el propósito del presente trabajo fue el de buscar diferencias y similitudes en el esqueleto apendicular de las dos especies, que expliquen sus hábitos locomotores y permitan establecer criterios en el contexto de la ecología funcional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para obtener las medidas morfométricas del esqueleto apendicular anterior (húmero, ulna, radio y metacarpo) y posterior (fémur, tibia y metatarso), se utilizó el material depositado en la colección biológica de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A (Tabla 1). Los huesos, se midieron empleando un calibrador de 0-150mm marca KEX, de acuerdo a la metodología sugerida por Pinto *et al.* (2002), (Tabla 2), siguiendo, a su vez, las medidas óseas propuestas por Vizcaíno & Milne (2002) y por Elissamburu & Vizcaíno (2004) (Figura 1).

Tabla 1. Medidas morfométricas de los ejemplares depositados en la Colección Biológica de la U.D.C.A.

Dinomys branickii

No colección	Sexo	Peso gr	(LT) mm	Msu (mm)	Psu (mm)	Lco (mm)
UIFS 135	M	9250	600	77,7	110,7	200
UIFS 144	M	9700	670	69,4	108,9	210
UIFS 116	M	9400	570	72,2	104,7	215
UIFS 147	M	9300	710	66,0	120,0	200
UIFS 138	H	7550	520	68,6	93,4	190
UIFS 062	M	9700	640	72,0	119,0	180
UIFS 060	H	8750	530	65,5	109,5	200
UIFS 061	H	9650	610	65,0	102,0	155
UIFS 160	H	7300	530	62,0	98,6	180
UIFS 140	M	10000	790	60,0	120,0	160
UIFS 021	M	10900	650	69,0	127,7	210
UIFS 143	H	7400	530	68,8	103,8	195
Promedio		9075	613	68,02	109,9	191
Desviación		1123	84	4,48	10,1	19,2

Cuniculus taczanowskii

UIFS 102	H	5000	600	53,6	96,4	5,0
UIFS 017	?	5250	630	56,0	93,0	5,0
UIFS 158	H	4500	590	52,6	90,0	11,1
UIFS 005	H	3200	620	48,8	70,0	6,0
Promedio		4488	610	52,8	87,4	6,8
Desviación		913	18,3	3,0	11,9	2,9

(UIFS) Unidad de Investigación en Fauna Silvestre, (LT) Largo total (incluye cabeza y cola), (Msu) Mano sin uña, (Psu) Pata sin uña, (Lco) Longitud de la cola.

Para el análisis, se tuvieron en cuenta los datos obtenidos para los huesos de los miembros izquierdo y derecho.

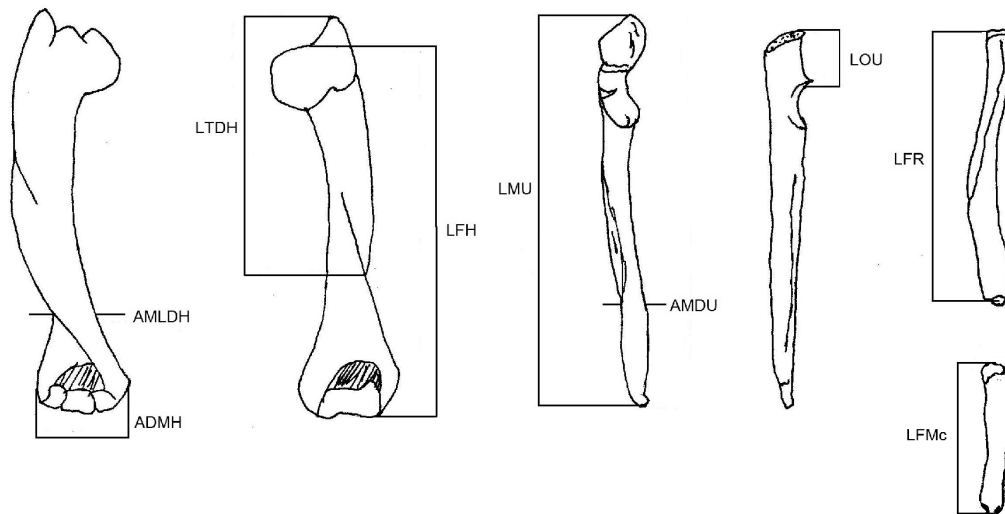
Los valores estimados del largo del miembro anterior de cada especie, se obtuvieron sumando las longitudes fisiológicas del húmero, el radio y el tercer metacarpo. Para el largo del miembro posterior de cada especie, se realizó la suma de las longitudes fisiológicas del fémur, de la tibia y del tercer metatarso (Quesada & Gloobe, 1988).

Con el fin de relacionar las medidas obtenidas para determinar conceptos locomotores en estas dos especies, se emplearon los índices sugeridos por Vizcaíno *et al.* (1999), Vizcaíno & Milne (2002) y Elissamburu & Vizcaíno (2004):

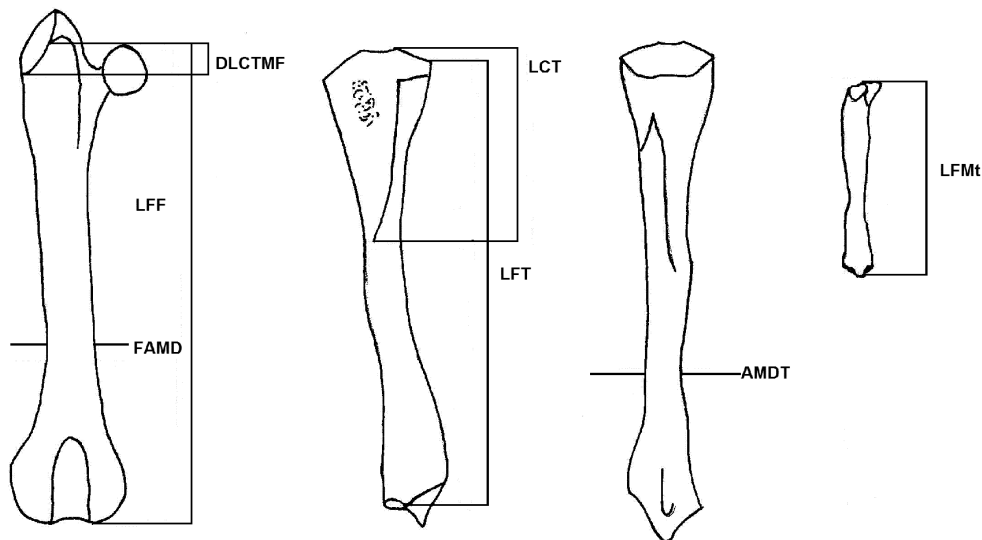
- **Índice braquial (IB):** $LFR/LFH \times 100$. Es un indicador de la extensión, donde el miembro anterior se adapta para tener movimientos más rápidos.
- **Índice del movimiento del hombro (IMH):** $LTDH/LFH \times 100$. Registra la ventaja mecánica de los músculos deltoides y pectoral mayor, actuando a través de la articulación del hombro.
- **Índice de la habilidad fosorial (IHF):** $LOU/(LMU-LOU) \times 100$. Define la ventaja mecánica de los músculos dorsoepitrocleares y tríceps en la extensión del codo; es considerado un buen indicador de la habilidad para cavar (Hildebrand *et al.* 1985; Vizcaíno *et al.* 1999; Fernández *et al.* 2000; Vizcaíno & Milne, 2002).
- **Índice epicondilar (IE):** $HADM/HLF \times 100$. Relaciona el ancho disponible para el origen de los músculos flexor,

Tabla 2. Descripción de las medidas óseas utilizadas.

HUESO	MEDIDA	SIGLA	DESCRIPCIÓN
Húmero	Anchura distal máxima	ADMH	Largo que existe tomado del epicóndilo lateral al epicóndilo medial.
	Longitud fisiológica	LFH	Sesde el extremo proximal de la cabeza del húmero hasta el extremo distal de la tróclea.
	Anchura mínima lateral de la diáfisis	AMLDH	Ancho tomado desde la parte más angosta del cuerpo visto frontalmente.
	Largo tuberosidad deltoidea	LTDH	Distancia desde el extremo proximal de la cabeza del humero hasta el extremo distal de la tuberosidad deltoidea.
Ulna	Longitud máxima	LMU	Desde el extremo proximal de la tuberosidad del olecranon hasta el extremo distal de la apófisis estiloides.
	Largo del olecranon	LOU	Distancia que hay desde la superficie articular hasta el extremo proximal de la ulna.
	Anchura mínima lateral de la diáfisis	AMDU	Ancho tomado desde la parte más angosta del cuerpo visto frontalmente.
Radio	Longitud fisiológica	LFR	Desde la superficie articular proximal hasta la superficie articular distal del radio.
Metacarpos	Longitud fisiológica	LFMc	Desde la superficie articular proximal hasta la superficie articular distal del tercer metacarpo.
Fémur	Anchura mínima de la diáfisis	FAMD	Ancho tomado desde la parte más angosta del cuerpo, visto frontalmente.
	Longitud fisiológica	LFF	Desde el extremo proximal de la cabeza del fémur hasta el extremo distal de la tróclea.
	Distancia de la cabeza del fémur hasta el trocánter mayor	DLCTMF	Desde el extremo proximal de la cabeza, hasta el borde distal del trocánter mayor.
Tibia	Longitud fisiológica	LFT	Desde el cóndilo lateral hasta la cavidad articular distal de la tibia.
	Anchura mínima de la diáfisis	AMDT	El ancho tomado desde la parte más angosta del cuerpo, visto frontalmente.
Metatarsos	Longitud fisiológica	LFMt	Desde la superficie articular proximal hasta la superficie articular distal del tercer metatarso.



a.- Miembro anterior *D. branickii*. Anchura distal máxima (ADMH), Anchura mínima lateral de la diáfisis (AMLDH), Longitud fisiológica del húmero (LFH), Largo tuberosidad deltoidea (LTDH), Longitud máxima de la ulna (LMU), Largo del olecranon (LOU), Anchura mínima lateral de la diáfisis (AMDU), Longitud fisiológica del radio (LFR), Longitud fisiológica del metacarpo (LFMc)



b.- Miembro posterior *D. branickii*. Anchura mínima de la diáfisis (FAMD), Longitud fisiológica del fémur (LFF), Distancia de la cabeza del fémur hasta el trocánter mayor, Longitud fisiológica de la tibia (LFT), Anchura mínima de la diáfisis (AMDT), Largo de la Cresta (LCT), Longitud fisiológica del metatarso (LFMt)

Figura 1. Esquema de las medidas obtenidas para el esqueleto apendicular.

- pronator y supinator del antebrazo; es considerado, también, como un buen indicador del hábito de cavar (Hildebrand *et al.* 1985; Lessa & Stein, 1992).
- Índice de la robustez de húmero (IRH): $AMLDH/LFH \times 100$.
- Índice de la robustez de la ulna (IRU): $AMDU/LFU \times 100$. Es un indicador de la robustez del miembro anterior y el ancho relativo, disponible para la inserción de los músculos involucrados con la pronación y supinación del miembro y la flexión de la mano y los dígitos.

- **Índice gluteal (IG):** $LCTMF/LFF \times 100$. Muestra la ventaja mecánica del músculo glúteo medio y la velocidad de la extensión femoral.
- **Índice crural (IC):** $LFT/LFF \times 100$. Determina la capacidad del miembro posterior para alcanzar velocidades mayores basándose, en la extensión del mismo.
- **Índice de la robustez femoral (IRF):** $AMLDF/LFF \times 100$. Define la capacidad para soportar la masa corporal y para resistir fuerzas verticales asociadas con el aumento de velocidad (Biewener & Taylor, 1986; Demes *et al.* 1994).
- **Índice de la robustez de la tibia (IRT):** $AMLDT/LFT \times 100$. Es un indicador de la fuerza de la pierna y del ancho relativo para el origen de los músculos que actúan sobre el tobillo.
- **Índice de la cresta de la tibia (ICT):** $LCT/LFT \times 100$. Determina la fuerza de la pierna y de la anchura relativa disponible para la inserción de los músculos *gracilis*, *semitendinoso*, *semimembranoso* y de los flexores del pie (Elftman, 1929).
- **Índice intermembral (II):** Se calcula a partir de las longitudes fisiológicas de los miembros anterior y posterior $(LFH + LFR + LTMC)/(LFF + LFT + LTMT)$; refleja la predominancia del miembro anterior sobre el posterior.

Los datos, se analizaron mediante estadística descriptiva y después de evaluada la distribución normal, se aplicó una prueba de t de Student, para establecer diferencias, estadísticamente significativas, entre los valores obtenidos por especie y entre especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los promedios de los valores morfométricos obtenidos para los huesos del esqueleto apendicular de las dos especies indican las diferencias esperadas (Figura 2), por ellas poseer masas corporales distintas. *D. branickii* es una especie más robusta (Osbaahr, 1998b), y el peso promedio obtenido para los ejemplares en estudio es mayor que el de *C. taczanowskii* (Tabla 1). Es así, como se registran diferencias interespecíficas entre las longitudes fisiológicas de los huesos largos que conforman el miembro anterior ($p < 0,001$; $t_{(LHF)} = 13,50$; g.l.=7; $t_{(LMC)} = 14,16$; g.l.=6; $t_{(LFR)} = 12,43$; g.l.=6), mientras que

el metacarpo no presenta dichas diferencias ($p > 0,1$; $t_{(LFMC)} = 0,17$; g.l.=3). Esta diferencia, estadísticamente significativa, se observa para las longitudes fisiológicas, incluyendo el metatarso, de los huesos que componen el miembro posterior ($p < 0,001$; $t_{(LFF)} = 6,59$; g.l.=7; $t_{(LFT)} = 9,48$; g.l.=7; ($p < 0,01$); $t_{(LFMT)} = 6,55$; g.l.=4). De igual manera, se observa que en ambas especies, en promedio, la longitud total del miembro anterior (LTMA) es menor que la del posterior (LTMP) (Figura 3), existiendo diferencias, estadísticamente significativas, tanto interespecíficas LTMA $t_{(C. taczanowskii, D. branickii)} = 10,47$; g.l.=6; ($p < 0,001$); ($p < 0,05$) LTMP $t_{(C. taczanowskii, D. branickii)} = 2,46$ g.l.=7) como intraespecíficas ($p < 0,001$); *C. taczanowskii* $t_{(LTMA, LTMP)} = 8,75$; g.l.=6; ($p < 0,02$); *D. branickii* $t_{(LTMA, LTMP)} = 2,85$; g.l.=18).

Entre los mamíferos, las especies más grandes tienden a ser más rápidas que las pequeñas; sin embargo, en el caso de los roedores, la velocidad es independiente de la masa corporal (Garland, 1983). Se esperaría que individuos más pesados se muevan más lento que individuos livianos, debido a que su masa elevada impide la función locomotora. En cambio, individuos que son estructuralmente grandes, posiblemente, se movilizan más rápido que individuos pequeños, porque presentan miembros largos y, por ende, registran una mayor amplitud de paso (Schulte-Hostedde & Millar, 2002).

Existe una estrecha relación entre la morfología animal y su comportamiento, originando que las especializaciones morfológicas puedan repercutir en una mayor eficiencia durante determinada actividad (Hildebrand *et al.* 1985; Lammers & German, 2002). Los resultados aquí obtenidos permiten inferir diferencias entre las dos especies durante la locomoción y, por lo tanto, durante los patrones de uso del hábitat. Se puede deducir que al ser *D. branickii* un animal plantígrado presenta metatarsos más largos, característica que es notoria cuando se desplaza en marcha lenta, o durante los períodos de alimentación, cuando toma una postura semi-sentada ejerciendo un mayor apoyo sobre los miembros posteriores (Goeldi, 1904; Mohr, 1937; Collins & Eisenberg, 1972; Woods, 1984; Osbaahr, 2000).

C. taczanowskii cuenta con metatarsos más cortos lo cual, podría coincidir con las características descritas por Mondolfi (1972), es decir, es una especie digitígrada, lo cual, le permite desplazarse a velocidades mayores, por existir un menor tiempo de contacto con el suelo, lo que

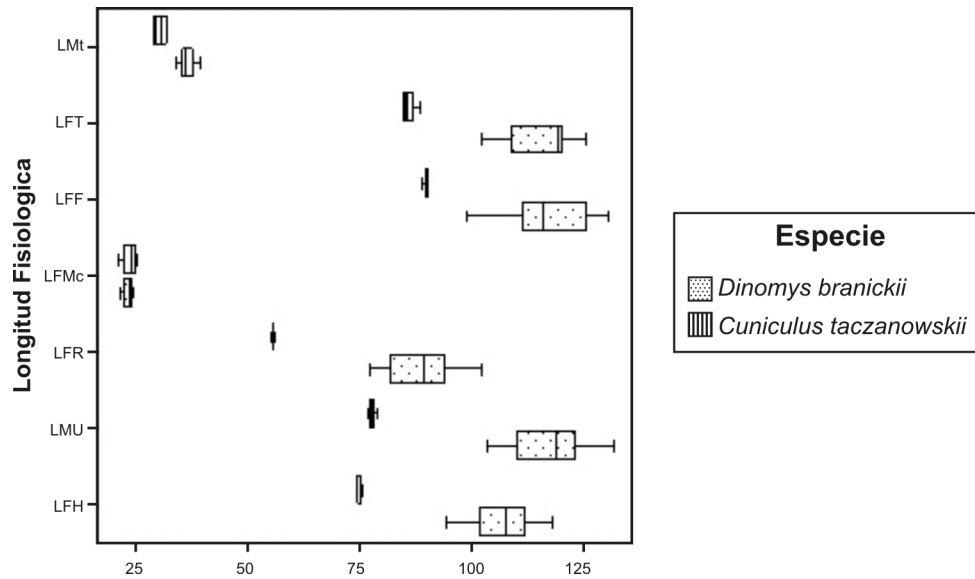


Figura 2. Valores promedio de las medidas morfométricas del esqueleto apendicular por especie. Las siglas empleadas equivalen a las mencionadas en la tabla 2.

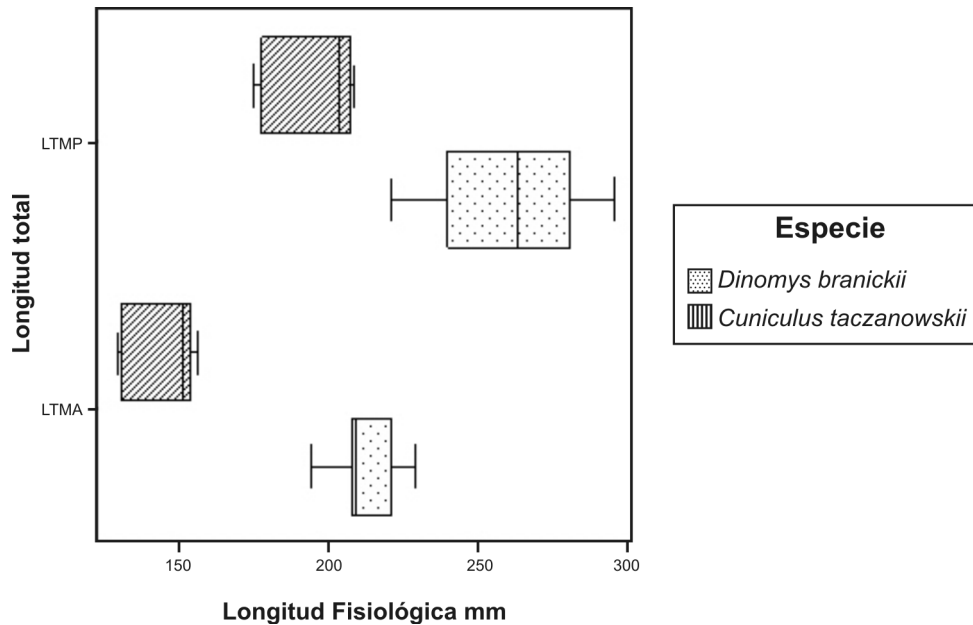


Figura 3. Valores promedio de la longitud del miembro anterior (LTMA) y posterior (LTMP) por especie.

se traduce en una fase de balanceo (*swing fase*) más prolongada (Espinosa *et al.* 2008). Esta situación faculta al animal para almacenar mayor energía elástica para que en el momento de apoyo, la fuerza y la velocidad de propulsión, se incrementen (Cavagna *et al.* 1964; Goslow *et al.* 1973; Alexander, 1988; 2002).

Existe un mayor desempeño en el trabajo de excavación para la adecuación de madrigueras por parte de *C. taczanowskii*; requiere una mayor fuerza y longitud en los dedos, puesto que debe remover cantidades considerables de tierra. *D. branickii* manifiesta momentos más esporádicos de excavación, ya que,

preferencialmente, emplea como refugio cuevas naturales entre las rocas sin ampliarlas o adecuarlas (López *et al.* 2000; Osbahr, 1998a).

En *C. taczanowskii*, la diferencia entre la longitud del miembro anterior y el posterior genera una posición ligeramente inclinada de la columna vertebral, cuando el animal se encuentra en posición cuadrúpeda. Esta condición, le permite escabullirse en espacios muy reducidos, como cuevas de otros animales más pequeños, que adapta y habita durante largos periodos (Nowak & Paradiso, 1999). En cambio, al caminar, la posición del lomo en *D. branickii* es paralela al suelo y su ingreso a las cuevas tiende a ser en posición caudal, como posible mecanismo de defensa ante los depredadores, debido a que le permite mostrar sus fuertes incisivos, mientras se encuentra en una posición desfavorable (Osbahr, 2000). Siendo adicionalmente un animal trepador, al descender de lugares elevados utiliza de igual manera la posición caudal, para lo cual, con las extremidades posteriores más largas, puede ejercer la propulsión necesaria para sujetarse a troncos u otras superficies inclinadas. De otra parte, esta característica morfológica –miembros anteriores menores que los posteriores–, se encuentra también en otros roedores caviomorfos, al igual que en pequeños ungulados (Tragulidae y Cephalophinae), así como en algunos marsupiales del género *Macropus* (wallabies). De acuerdo con Dubost (1968), Bourlière (1973) y Kingdon (1989) es una adaptación, común a diversos grupos de mamíferos pequeños, que habitan entre los arbustos de los bosques tropicales del mundo.

Debido a que, en general, para ambas especies los miembros anteriores son más cortos que los posteriores, se vislumbra un efecto sobre la longitud del paso y, por ende, sobre la velocidad de desplazamiento (Espinosa *et al.* 2008). A medida que la velocidad aumenta, el miembro anterior se ve obligado a incrementar sus movimientos, mientras que el miembro posterior aumenta la extensión de sus articulaciones (Rocha-Barbosa *et al.* 2005). Según Biknevicius (1993), los miembros posteriores mantienen una relación más estrecha con la capacidad de locomoción de los animales frente a los miembros anteriores, pues estos, además, se encuentran comúnmente relacionados con otro tipo de funciones, como la excavación o la manipulación de la comida, presentando adaptaciones que facilitan este tipo de comportamientos. Para el caso de *D. branickii*,

los miembros posteriores más largos, derivados de patas más largas, permiten pasos más largos, además, que la especie presenta una cola más larga, que actúa como un órgano de balance y permite cambios en la dirección del cuerpo durante la fase de suspensión (Hildebrand & Goslow, 2001).

Al evaluar los valores promedio de los índices morfológicos calculados a partir de las medidas morfométricas obtenidas (Figura 4), se obtuvieron diferencias, estadísticamente significativas, entre las dos especies para el índice braquial ($p < 0,001$; $t_{(IB)} = 14,05$; g.l.=6) y el índice de la robustez del fémur ($p < 0,01$; $t_{(IRF)} = 4,32$; g.l.=7), con valores promedio mayores para *D. branickii*. Los índices del movimiento del hombro ($p < 0,05$; $t_{(IMH)} = 2,46$; g.l.=7), de la habilidad fosorial ($p < 0,001$; $t_{(IHF)} = 12,74$; g.l.=6), epicondilar ($p < 0,01$; $t_{(IE)} = 4,46$; g.l.=7), de la robustez de la ulna ($p < 0,001$; $t_{(IRU)} = 9,94$; g.l.=6) y de la cresta de la tibia ($p < 0,001$; $t_{(ICT)} = 56,02$; g.l.=7), igualmente mostraron diferencias, estadísticamente significativas, pero con valores promedio mayores para *C. taczanowskii*. Los índices crural (IC), gluteal (IG), de la robustez de la tibia (IRT) e intermembranosos (II), no registraron diferencias, estadísticamente significativas, para las dos especies ($p > 0,1$; $t_{(IC)} = 1,62$; $t_{(IG)} = 0,67$; $T_{(IRT)} = 0,11$; $t_{(II)} = 0,21$; g.l.=7).

Según Vizcaíno *et al.* (1999) y Vizcaíno & Milne (2002), así como también Elissamburu & Vizcaíno (2004), el índice braquial (IB) equivale al largo funcional del miembro anterior y representa la capacidad de realizar movimientos más rápidos, puesto que considera el largo total del miembro anterior, de tal manera que un valor más elevado en el índice implica una capacidad de recorrer distancias a velocidades mayores (animales cursoriales). Sin embargo aquellos que presentan adaptaciones para cavar (fosoriales) reflejan valores más bajos, sugiriendo que poseen los miembros anteriores más cortos, es decir, que las diferencias observadas para el índice braquial en las dos especies (figura 4) reflejan nuevamente que *D. branickii*, aunque presenta una amplia gama de hábitos trepadores (Weisbecker & Schmid, 2007), tiene una mayor capacidad cursorial que *C. taczanowskii*.

Un indicador de la fuerza de palanca del húmero es el índice del movimiento del hombro (IMH), el cual, se encuentra más elevado en especies que poseen adaptaciones para cavar. Además existe una estrecha relación con el índice de habilidad fosorial (IHF), que

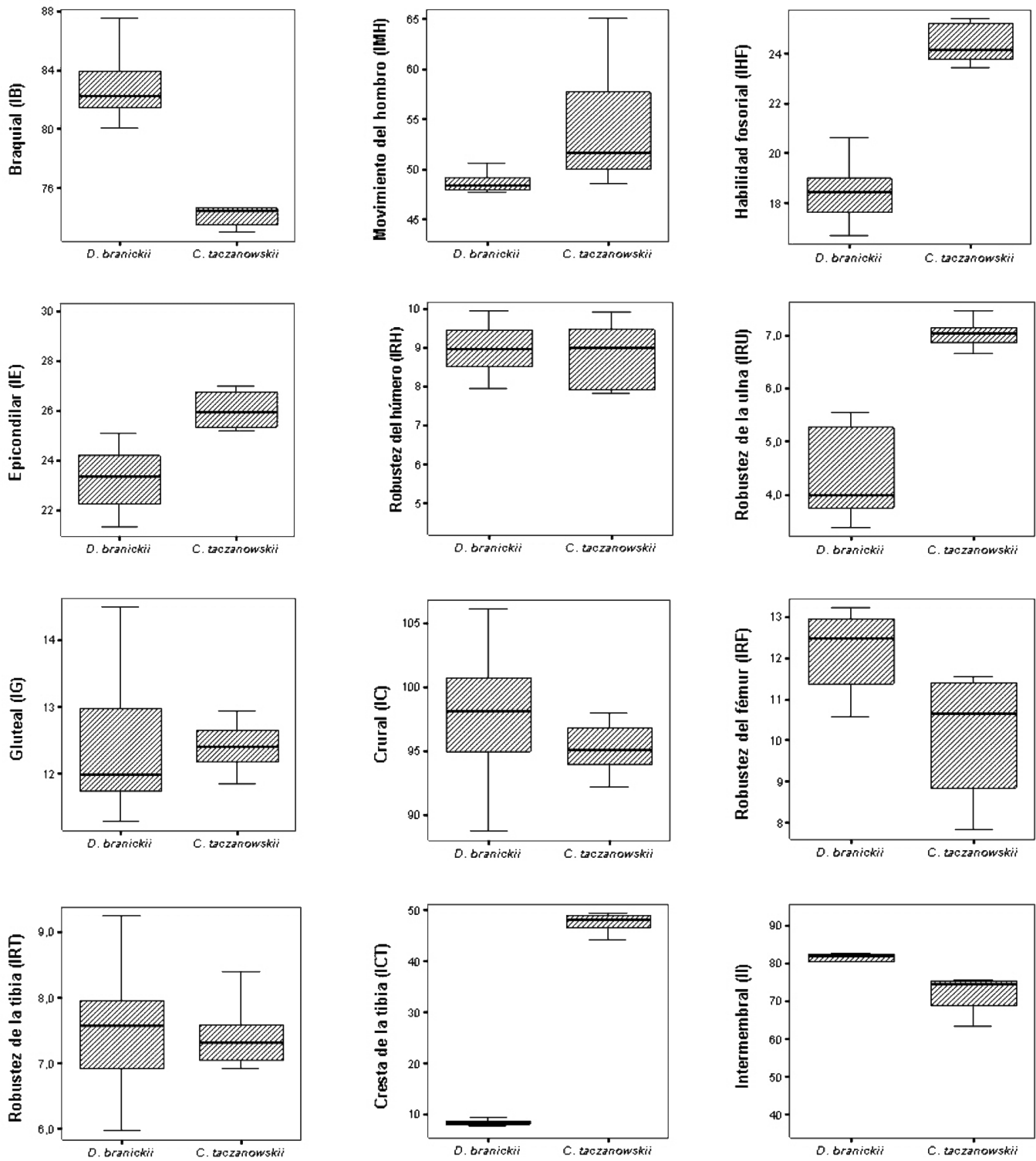


Figura 4. Diagramas de caja indicando cada índice promedio por especie.

es estudiado de acuerdo a la longitud del olécranon y, permite determinar la fuerza de palanca que puede ejercer la ulna. De acuerdo con esto, son índices que establecen que los animales con valores elevados poseen una capacidad de fuerza mayor en los miembros anteriores, lo que les proporciona ventajas mecánicas durante la excavación, mientras que los animales con valores más bajos, generalmente, logran alcanzar velocidades más altas durante el desplazamiento (Vizcaíno *et al.* 1999; Vizcaíno & Milne, 2002; Elissamburu & Vizcaíno, 2004), de tal manera que los valores promedio mayores para IMH e IHF (figura 4) obtenidos para *C. taczanowskii* explican, nuevamente, la alta capacidad para realizar movimientos de palanca con el miembro anterior, durante la remoción de tierra, al ingresar a espacios reducidos; esta situación se ve reforzada por el hecho de poseer un mayor índice epicondilar (IE). Una mayor área entre los epicóndilos posibilita una mayor inserción muscular durante los movimientos de flexión, de pronación y de supinación, así como también en la fuerza que posiblemente pueda ser empleada por la mano, lo que facilita movimientos para la excavación. En animales con modificaciones más especializadas, dirigidas hacia la excavación, el índice de la robustez de la ulna (IRU) es un indicador de la capacidad que tiene el hueso para posibilitar una mayor inserción muscular, ya que esto les permite ejercer una mayor fuerza durante la flexión de las muñecas y de los dedos (Hildebrand *et al.* 1985). Esta condición explica los valores más elevados obtenidos para el caso de *C. taczanowskii* (Figura 4) reforzando una característica morfofisiológica que le otorga una ventaja durante su desempeño en la excavación.

Los índices obtenidos en el miembro posterior fueron similares entre ambas especies para el gluteal (IG), el crural (IC) y la robustez de la tibia (IRT) (Figura 4). IG representa la eficiencia de los músculos glúteos y, generalmente, se puede relacionar, al igual que IC, con la adaptación de los miembros para la velocidad, mientras que IRT es un indicador de la capacidad de soporte y de propulsión del cuerpo, durante la locomoción. De acuerdo con Howell (1944); Fleagle (1979) y Vizcaíno & Milne (2002), en animales cursoriales, se deben encontrar valores más elevados para IRT, condición que coincide con los valores promedio mayores obtenidos para este índice en *D. branickii*. El índice de la robustez de fémur (IRF) brinda una ventaja mecánica para la inserción muscular, así como también una rigidez mayor en el hueso, permitiéndole al animal una mayor fuerza

en sus miembros posteriores; esto es importante en animales trepadores, ya que necesitan apoyarse sobre sus miembros posteriores, como es el caso de *D. branickii*. Según Biknevicius (1993), los valores más elevados se encuentran, posiblemente, relacionados con una mayor rigidez del fémur, lo cual, permitiría al animal alcanzar mayores velocidades durante la locomoción, debido a que una anchura mayor está relacionada a huesos más largos.

Durante la flexión del miembro posterior, en la primera fase del paso, el índice de la cresta de la tibia (ICT) es importante, ya que la inserción proximal se encuentra estrechamente relacionada con una mayor velocidad durante el movimiento propulsor inicial. Las especies que presentan los valores más bajos poseen comportamientos, en su mayoría, cursoriales (Elftman, 1929), como es el caso de *D. branickii*. En el caso de *C. taczanowskii*, se puede inferir que los valores tan elevados que presenta están relacionados con la capacidad de saltar (Mondolfi, 1972; Fernández, 1988), hasta 1,50m de altura, lo cual, puede reducir la diferencia que existe entre los valores estadísticos encontrados frente a los presentados por *D. branickii*. Los animales que poseen una mayor dominancia en sus miembros posteriores tienden a presentar valores más elevados del índice intermembral (II) (Viscaíno & Milne, 2002), que, de igual manera, aplica para animales de mayor tamaño, explicando que *D. branickii* registre valores superiores.

De acuerdo con los resultados obtenidos es posible sugerir que ambas especies tienen la misma capacidad de velocidad reflejada en los índices gluteal, crural y de la robustez de la tibia; sin embargo, se encuentran diferencias marcadas en la fuerza a nivel del fémur, siendo *D. branickii*, el que presenta los valores más elevados. Cabe recordar que esta especie muestra un uso importante de sus miembros posteriores, no solamente por ser animales plantígrados, sino por el hecho de ejercer mayor fuerza sobre los miembros posteriores al trepar y al alimentarse en posición sentada.

CONCLUSIONES

Aun cuando las especies en estudio registraron las diferencias esperadas entre las longitudes fisiológicas de los huesos largos que conforman el miembro anterior y posterior, sobresalen especialmente los metacarpos y

metatarsos, explicando la locomoción digitígrada de *C. taczanowskii* y la condición plantígrada de *D. branickii*.

La diferencia entre la longitud de los miembros anteriores con respecto a los posteriores permite vislumbrar un efecto sobre la longitud del paso y, por ende, sobre la velocidad de desplazamiento.

Los índices morfológicos obtenidos corroboran las características anatómicas que corresponden a animales con capacidades para cavar, como es el caso de *C. taczanowskii*, al igual que la versatilidad que caracteriza a *D. branickii* durante la locomoción, al encontrarse equipado morfológicamente para desempeñarse durante la carrera y para trepar en búsqueda de alimento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ZGAP (Zoologische Gesellschaft für Arten und Populationsschutz), a la ZooAG Bielefeld, al Tierpark Cottbus, a los Zoológicos de Newquay, Chester y de Los Angeles por el permanente apoyo recibido durante el desarrollo del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, R. 1988. Elastic mechanism in animal movement. Cambridge: Cambridge University Press. 185p.
- ALEXANDER, R. 2002. Tendon elasticity and muscle function. *Comp. Biochem. Physiol. A comp. Physiol.* 133:1001-1011.
- BACIGALUPE, L.D.; IRIARTE-DÍAZ, J.; BOZINOVIC, F. 2002. Functional morphology and geographic variation in the digging apparatus of cururos (Octodontidae: *Spalacopus cyanus*) *J. Mammalogy*. 83(1):145-152.
- BIEWENER, A.A.; TAYLOR, C.R. 1986. Bone strain: a determinant of gait and speed? *J. Exp. Biol.* 123:382-400.
- BOURLIÈRE, F. 1973. The comparative ecology of rain forest mammals in Africa and Tropical America: Some introductory remarks. In: Meggers, B.J.; Ayensu, E.S.; Duckworth, W.D.; Smith. Inst. Press, Trop. Forest Ecosyst. in Africa and South America: A comparative review: p.279-292.
- BIKNEVICIUS, A.R. 1993. Biomechanical scaling of limb bones and differential limb use in caviomorph rodents. *J. Mammalogy*. 74:95-107.
- CAVAGNA, G.A.; SAIBENE, F.P.; MARGARIA, R. 1964. Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.* 19:249-256.
- CHRISTIANSEN, P. 1999. Scaling of limb long bones to body mass in terrestrial mammals. *J. Morphology*. 239:167-190.
- COLLINS, L.; EISENBERG, J. 1972. Note on the behavior and breeding of pacaranas (*Dinomys branickii*) in captivity. *International Zoo Yearbook* 12:108-114.
- DEMES, B.; LARSON, S.G.; STERN, J.T. Jr.; JÜNGERS, W.L.; BIKNEVICIUS, A.R.; SCHMITT, D. 1994. The kinetics of primate quadrupedalism: "Hindlimb drive" reconsidered. *J. Human Evol.* 26:353-374.
- DUBOST, G., 1968. Les niches écologiques des forêts tropicales sud-américaines et africaines, sources de convergences remarquables entre rongeurs et artiodactyles. *La terre et la vie* 22:3-28.
- ELFTMAN, H.O. 1929: Functional adaptations of the pelvis of marsupials. *Bull. Am. Museum of Natural History*. 63:189-232.
- ELISSAMBURU, A.; VIZCAÍNO, S.F. 2004. Limb proportions and adaptations in caviomorph rodents (Rodentia: caviomorpha). *J. Zool.* 262:145-159.
- ENDO, H.; SASAKI, M.; HAYASHI, Y.; KOIE, H.; YAMAYA, Y.; KIMURA, J. 2001. Carpal bone movements in gripping action of the giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*). *J. Anatomy*. 198:243-246.
- ESPINOSA, D.; VILLAMIZAR, A.; OSBAHR, K.; ACEVEDO, P. 2008. Caracterización del desplazamiento en cautiverio de dos especies de roedores histri-comorfos (*Cuniculus taczanowskii* y *Dinomys*

- branickii*) mediante el estudio morfofisiológico comparado de los miembros anterior y posterior de cada especie. Trabajo de grado, Fac. Medicina Veterinaria, U. Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A Bogotá. 72p.
- FERNÁNDEZ, B.A. 1988. *Agouti taczanowskii* En: Mamíferos en Venezuela. Lista y claves para la identificación. Primera Edición. ASOVEN. Maracay – Venezuela. p.129-130, 142, 183-185.
- FERNÁNDEZ, M.E.; VASSALLO, A.Y.; ZARATE, M. 2000. Functional morphology and palaeobiology of the Pliocene rodent *Actenomys* (Caviomorpha: Octodontidae): The evolution to a subterranean mode of life. *Biology J. Linnean Soc.* 71:71-90.
- FLEAGLE, J.G. 1979. Primate adaptation and evolution. New York: Academic Press. 486p.
- FLETCHER, T.F. 2007. Anatomical adaptations for cursorial locomotion and impact of diet. Disponible desde Internet en: <http://vanat.cvm.umn.edu/run> (con acceso 20/05/08).
- GARLAND, T. Jr. 1983. The relation between maximal running speed and body mass in terrestrial mammals. *J. Zoology. London.* 199:157-170.
- GINSBURG, L. 1961. Plantigradie et digitigradie chez les carnivores fissipedes. *Mammalia.* 25:1-21.
- GOELDI, E. 1904. On the rare rodent *Dinomys branickii* (Peters). *Proc. Zool. Soc. London.* 2:158-162.
- GOSLOW, G.E.; REINKING, R.M. Jr.; STUART, D.G. 1973. The cat step cycle: hindlimb joint angles and muscle lengths during a restrained locomotion. *J. Morphology.* 141:1-42.
- HILDEBRAND, M.; BRAMBLE, D.M.; LIEM, K.F.; WAKE, D.B. 1985. Digging in quadrupeds. In: Hildebrand, M.; Goslow, G. (eds.) *Functional Vertebrate Morphology.* Cambridge, MA, Belknap Press. p.89-109.
- HILDEBRAND, M.; GOSLOW, G. 2001. *Analysis of Vertebrate Structure.* 5th ed. New York. John Wiley & Sons. 660p.
- HOWELL, B.A. 1944. *Speed in animals. The specialization for running and leaping.* Chicago: University of Chicago Press. 270p.
- IRSCHICK, D.J. 2002. Evolutionary approaches for studying functional morphology: examples from studies of performance capacity. *Integ. Comp. Biol.* 42:278-290.
- KIMURA, T. 2003. Differentiation between fore - and hindlimb bones and locomotor behaviour in Primates. *Folia Primatologica.* 74(1):17-32.
- KINGDON, J. 1989. *East African mammals: An atlas of evolution in Africa.* The University of Chicago Press, Vol III-C (Bovids), 393p.
- LAMMERS, A.R.; GERMAN, R.Z. 2002. Ontogenetic allometry in the locomotor skeleton of specialized half-bounding mammals. *J. Zool. London.* 258:48-495.
- LESSA, E.P.; STEIN, B.R. 1992. Morphological constraints in the digging apparatus of pocket gophers (Mammalia: Geomyidae). *Biology J. Linnean Soc.* 47:439-453.
- LOGUERCIO, M.F. 2005. Desempenho e comportamento locomotor da capivara, *Hydrochaeris hydrochaeris* (Linnaeus, 1766) (Rodentia: Caviodea). Dissertação de Mestrado, Dept. Zool., U. do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, 108p.
- LÓPEZ, L.; LÓPEZ, I.; MORA J.; OSBAHR, K. 2000. Estudio preliminar del comportamiento de *Dinomys branickii* (Peters, 1873) en cautiverio. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 3(1):28-35.
- MOHR, E. 1937. Vom Pacarana. *Dinomys branickii* (Peters). *Der Zoologische Garten (Neue Folge).* 9:204-209.
- ONDOLFI, E. 1972. Mamíferos de Caza en Venezuela. La Lapa o Paca. *Defensa de la Naturaleza.* 2:4-16.
- NOWAK, R.M.; PARADISO, J.L. 1999. *Walker's mammals of the world.* 6th Edition. The Johns Hopkins University Press. 1936p.

- OSBAHR, K. 1998a. Guía para la conservación de la "guagua loba" o "pacarana" (*Dinomys branickii*). En: Bernal, H.Y.; Farfán, M. (eds). 1ª ed. SECAB, Ciencia y Tecnología. Convenio Andrés Bello. Bogotá. 65:1-43.
- OSBAHR, K. 1998b. Determinación de algunos parámetros sanguíneos útiles como herramienta para la evaluación del hábitat natural de *Agouti taczanowskii* y *Dinomys branickii*. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 1(2):68-76.
- OSBAHR, K. 2000. Determinación de patrones de comportamiento de un grupo de guaguas lobas (*Dinomys branickii*) mantenido en semicautiverio. Libro de Resúmenes. Primer Congreso Nacional de Zoología. Universidad Nacional. Santafé de Bogotá. Colombia. p.31.
- PINTO, M.; ZUÑIGA, H.; TORRES, O. 2002. Estudio Sistemático del Género *Cavia* Pallas, 1766 (Rodentia: Caviidae) en Colombia. Revisión del Registro Arqueológico Colombiano. Ed. Guadalupe Ltda. Bogotá Colombia. p.29-48.
- QUESADA, R.; GLOOBE, H. 1988. Osteología del Tepezcuinte (*Cuniculus paca*): cinturas y miembros. Anatomy, Histology, Embriology. 17: 60 - 71.
- ROCHA-BARBOSA, O.; RENOUS, S.; GASC, J.P. 1996. Adaptation à la course chez le cobaye *Cavia porcellus* (Mammifère, Rongeur, Caviomorphe). Bull. Soc. Zoologie, France, 121(1):121-123.
- ROCHA-BARBOSA, O.; RENOUS, S.; GASC, J.P. 1996. Comparison of the fore and hind limbs kinematics in the symmetrical and asymmetrical gaits of a caviomorph rodent, the domestic guinea pig, *Cavia porcellus* (Linné, 1758) (Rodentia, Caviidae). Ann. Scienc. Nat., Zoologie, Paris, 17(4):149-165.
- ROCHA-BARBOSA, O.; YOULATOS, D.; GASC, J.P.; RENOUS, S. 2002. The clavicular region of some cursorial Cavoidea (Rodentia:Mammalia). Mammalia, Paris, France. 66(3):413-421.
- ROCHA-BARBOSA, O.; DE CASTRO, M.F.; RENOUS, S.; GASC, J.P. 2005. Limb joint kinematics and their relation to increasing speed in the guinea pig *Cavia porcellus* (Mammalia: Rodentia). J. Zool. London 266:293-305.
- ROCHA-BARBOSA, O.; LOGUERCIO, M.F.; RENOUS, S.; GASC, J.P. 2007. Comparative study on the forefoot and hindfoot intrinsic muscles of some Cavoidea rodents (Mammalia, Rodentia). Zoology Jena, Alemania, 110:58-65.
- SANTORI, R.T.; ROCHA-BARBOSA, O.; VIEIRA, M.V.; MAGNAM NETO, J. A.B.; LOGUERCIO, M.F. 2005. Locomotion in aquatic, terrestrial, and arboreal habitat of thick-tailed opossum, *Lutreolina crassicaudata* (DESMAREST, 1804). J. Mammal. North Carolina, USA. 86:902-908.
- SANTORI, R.T.; VIEIRA, M.V.; ROCHA-BARBOSA, O.; MAGNAM NETO, J.A.B.; GOBBI, N. 2008. Water absorption of the fur and swimming behavior of semiaquatic and terrestrial Oryzomine rodents. J. Mammal. 89:1152-1161.
- SCHULTE-HOSTEDDE A.I.; MILLAR, J.S. 2002. Measuring sexual size dimorphism in the yellow-pine chipmunk *Tamias amoenus*. Can. J. Zoology. 78:728-733.
- TARABORELLI, P.; SASSI, P.; GIANNONI, S.M. 2007. Registro morfo-ecológico de *Microcavia australis* (Caviidae, Rodentia) en la puna de la provincia de San Juan, Argentina. Mastozool. Neotrop. 14(1):107-112.
- VIZCAÍNO, S.F.; FARIÑA, R.A.; MAZZETTA, G. 1999. Ulnar dimensions and fossoriality in armadillos and other South American mammals. Acta Theologica. 44:309-320.
- VIZCAÍNO, S.F.; MILNE, N. 2002. Structure and function in armadillo limbs (Mammalia: Xenarthra: Dasypodidae). J. Zoology. 257:117-127.
- WEISBECKER, V.; SCHMID, S. 2007. Autopodial skeletal diversity in hystricognath rodents: Functional and phylogenetic aspects. Mammalian Biology. 72(1):27-44.

WOODS, C.A. 1984. Hystricognath Rodents. In: Anderson, S.; Jones J.K. Jr. (Eds.) Orders and Families of Recent Mammals of the World. John Wiley and Sons. New York. p.389-446.

Recibido: Enero 9 de 2009
Aceptado: Abril 29 de 2009

***Brucella canis* EN MEDELLÍN (COLOMBIA), UN PROBLEMA ACTUAL**

***Brucella canis* IN MEDELLÍN (COLOMBIA), A CURRENT PROBLEM**

Carlos Andrés Giraldo Echeverri¹
Zulma Tatiana Ruiz Cortés²
Martha Olivera Ángel³

RESUMEN

La brucelosis canina tiene impacto en la producción canina y en la salud pública, a nivel mundial, ya que genera pérdidas económicas a los criadores por infertilidad y por abortos, y existe el riesgo de transmisión zoonótica a los trabajadores y a los propietarios de mascotas. En Colombia, se conoce muy poco acerca de la frecuencia de presentación de la enfermedad, además, no existen leyes sanitarias que la regulen. En el laboratorio Syngamia de la Universidad de Antioquia, se ofrece el diagnóstico desde 2005, con la prueba tamiz de aglutinación rápida, en placa con 2 β -mercaptoetanol y hemocultivo confirmatorio. A partir de los resultados obtenidos de los pacientes remitidos a este laboratorio, se halló una frecuencia de presentación del 11% de seropositividad, en el ámbito regional. Al analizar las historias clínicas, se encontró, por una parte, que los propietarios consultan muy poco al Médico Veterinario, y aquellos que consultan encuentran una diversidad de criterios sobre las acciones a seguir, cuando el criadero o la mascota

resultan positivos a la enfermedad. El objetivo de este estudio es mostrar la casuística de tres años de servicio diagnóstico y las aproximaciones que se propusieron para el posible control de la enfermedad.

Palabras clave: Brucelosis, criadero perros, urbano, zoonosis.

SUMMARY

Canine brucellosis has impact on kennels and worldwide public health, generating economic losses for breeders caused by infertility and abortions, and potentiating the risk of zoonotic transmission by pets and workers. In Colombia, little is known about the frequency of the disease and there are no regulations for control or prevention of the illness in animals or humans. At the Universidad de Antioquia in the "Syngamia" Laboratory the diagnosis is offered since 2005, with the agglutination probe with 2 β -mercaptoetanol and hemoculture for confirmation of the positives samples. Taking into account the results obtained in the lab, the frequency of seropositivity is 11% in the region; when the histories were analyzed it was found that breeders and pet owners do not use the veterinary service, and those that attend the clinic received a diversity of criteria about what to do when animals are positive. The objective of this study was to show the results of three years casuistic in our lab and to propose a protocol for control of the illness based on our experience and laws of other countries legislation.

Key words: Brucellosis, kennel, urban, zoonosis.

¹ M.V., MSc. Grupo Vericel, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. Carrera 75 # 65-87, Medellín, Colombia. Autor para correspondencia. e-mail: cargiraldo@gmail.com.

² M.V., MSc, PhD Grupo Biogénesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. e-mail: ztatiana@gmail.com.

³ M.V., MSc, Doctora en Ciencias Agrarias, Grupo Vericel. e-mail:syngamia@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

La industria canina en Colombia muestra un crecimiento del 5% anual en los últimos cinco años, con una población aproximada de 4.500.000 perros, incluidos los criaderos y los animales de compañía (información personal Purina S.A.). Este crecimiento trae consigo el aumento de problemas sanitarios, como la Brucelosis canina, lo cual, es un inconveniente de salud pública, por su potencial zoonótico. Aunque en el mundo solamente se hayan reportado alrededor de 40 casos de humanos positivos con aislamiento de *Brucella canis* (Olivera & Di-Lorenzo, 2009; Baldi *et al.* 1996) y, recientemente, en Argentina, se haya realizado un estudio, mediante ELISA, mostrando una baja incidencia (Lucero *et al.* 2005); a nivel de la ciudad de Medellín (Antioquia), se realizó el aislamiento de la bacteria de una persona conviviente con animales enfermos, sin que presente sintomatología de la enfermedad (Di Lorenzo & Olivera, 2008); sin embargo, el diagnóstico de la zoonosis por *B. canis* en humanos, a nivel mundial, ha sido difícil de estimar, debido a la falta general de pruebas serológicas, a las reacciones cruzadas con otras especies de *Brucella* spp., y a las ideas erróneas de su prevalencia (Lucero *et al.* 2005).

La Brucelosis canina está ampliamente distribuida en el mundo y se comporta, epidemiológicamente, como la enfermedad reproductiva más relevante en esta especie (Wanke, 2004; Carmichael & Shin, 1996; Myers & Varela-Díaz, 1980). *B. canis* fue aislada por Carmichael en 1967, quien la identificó como un pequeño cocobacilo intracelular gram-negativo, que forma colonias rugosas en cultivo, crece en agar tripticosa soya y no requiere mantenimiento en CO₂; aún así, una tasa de prevalencia mundial para esta enfermedad, no se conoce aún (Shin & Carmichael, 1999), a excepción de estudios en diferentes regiones (Ramírez *et al.* 2006; Marassi *et al.* 2003; Castillo *et al.* 2002; Almeida *et al.* 2004).

Los síntomas agudos de la brucelosis canina cursan con fiebre y decaimiento; sin embargo, son más notorios los síntomas relacionados con el tracto reproductivo (Wanke, 2004). En un 75% de las hembras infectadas, ocurre aborto entre el día 30 y el día 55 de gestación. Los cachorros abortados, se observan parcialmente autolisados, con edema y hemorragias subcutáneas en la región abdominal; luego del aborto, se presenta una descarga vaginal verde grisácea o marrón durante

varios días (Borie Polanco, 2005), que es altamente contaminante (Keid *et al.* 2007). Los abortos pueden ser recurrentes o pueden parir cachorros vivos, que mueren pocas horas después del nacimiento (Charmichael & Kenney, 1968); además, la leche de estas perras es una fuente de eliminación de brucelas (Di Lorenzo & Olivera M, 2008). Los cachorros, aparentemente sanos, pueden desarrollar la enfermedad con el tiempo (Nicoletti & Chase, 1987), o presentar el tipo congénito de la enfermedad, que cursa con discoespondilitis (Kerwin *et al.* 1992) y uveítis anterior (Saegusa *et al.* 1977). Otro de los síntomas en los criaderos es la pérdida embrionaria entre los diez y los 20 días pos-servicio, que se interpreta como “servicios no efectivos” (Shin & Carmichael, 1999).

En el macho, durante la fase aguda de la infección, los síntomas clínicos más frecuentes son epididimitis y prostatitis, que conducen a *impotentia generandi*. Debido al dolor que produce la inflamación, el perro se lame el escroto con frecuencia, lo que conlleva a que desarrolle una dermatitis que, comúnmente, se contamina con estafilococos no hemolíticos. En los primeros tres meses pos-infección, el cuadro espermático de machos infectados muestra teratospermia, con abundantes células inflamatorias (Shin & Carmichael, 1999). La fase crónica de la enfermedad cursa con atrofia del epidídimo, que termina en atrofia testicular (Wanke, 2004; Schoeb & Morton, 1978), con la consecuente azospermia (Shin & Carmichael, 1999). En el plasma seminal, se pueden encontrar anticuerpos antiespermatozoides (Serikawa *et al.* 1984).

En los criaderos, los problemas asociados a la reproducción (abortos, nacimientos prematuros -menos de una semana de la fecha prevista- y servicios no efectivos), se ha convertido en un problema de consulta frecuente entre los veterinarios clínicos (Jara *et al.* 2005; Flores-Castro *et al.* 1977).

El diagnóstico que se realiza en el laboratorio Syngamia de la Universidad de Antioquia es a partir de una prueba tamiz de aglutinación rápida en placa, con la cepa M(-), añadiendo 2β-mercaptoetanol (Myers & Varela-Díaz, 1980); además, se lleva a cabo la prueba de inmunofluorescencia indirecta (Mateu-de-Antonio *et al.* 1993), que detecta infecciones más tempranas. La prueba de oro para confirmar la presencia de *B. canis* es el aislamiento, posterior a un hemocultivo (Alton

GG *et al.* 1988). El área de cobertura diagnóstica de este laboratorio corresponde al Área Metropolitana del Municipio de Medellín, aunque, ocasionalmente, se procesan muestras de otro destino departamental y nacional.

El objetivo de este estudio fue el de mostrar los resultados de las serologías que se realizaron en el laboratorio, en muestras remitidas por los veterinarios particulares, por veterinarios asesores de criaderos y por particulares, entre 2005 - 2007 y proponer algunas medidas de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio es de tipo retrospectivo, con la finalidad de medir la frecuencia de presentación de seropositividad a *B. canis*, en caninos de la ciudad de Medellín y alrededores, entre 2005 y 2007.

Muestras procesadas: Para este estudio, no se realizó un muestreo de la población; se procesaron 1.467 sueros remitidos al Laboratorio Syngamia, (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia), que procedían de criaderos caninos locales (Área Metropolitana, Antioquia), de pacientes llevados por el propietario al Hospital Veterinario de la Universidad de Antioquia, o de clínicas veterinarias particulares. Las muestras ingresaron con una nota de remisión, la cual, incluía la siguiente información: nombre propietario, teléfono de contacto, nombre del paciente, raza, edad, sexo y el motivo por el cual se solicitaba la prueba diagnóstica, si era remitido por un veterinario, un criadero rural o urbano y si era animal de compañía; en caso de ser de criadero, indicar cuantos animales habían en el mismo. En algunos casos, esta información fue incompleta, por omisión de datos en la nota de remisión.

Métodos diagnósticos: El diagnóstico tamiz de seropositividad, se ejecutó con la prueba de aglutinación rápida en placa, con la cepa M (-) de *B. canis*, adicionando 2-β-mercaptoetanol (2ME-PARP): se mezclan 25μL del suero, 25μL de 2-β-mercaptoetanol y 50μL de antígeno. Se esperan hasta dos minutos observando las muestras en un aglutinoscopio, determinando como positivas aquellas que presentan aglutinación fina, similar al control positivo (Carmichael & Joubert, 1987). El antígeno es procesado en el laboratorio Syngamia, a un volumen celular de 6 a 8% de la cepa cultivada,

cosechada e inactivada, con un pH de 7,4 (Carmichael & Joubert, 1987).

A todos los pacientes positivos a 2ME-RSAT, se les solicitó una nueva muestra de sangre completa para realizar hemocultivo; no en todos los casos fue posible obtener esta segunda muestra. En muestra de sangre entera, se colectó inicialmente, en agar sangre; luego, se siembra en agar tripticasa soya y se cultiva a 37°C, por 48 horas (Carmichael & Joubert, 1987). Todos los aislamientos de los colonias que crecieron, se enviaron para certificación al Instituto Nacional de Referencia ANLIS "Doctor Carlos G. Malbran" (Buenos Aires, Argentina), en donde fueron confirmados para *B. canis*.

Análisis estadístico: Cuatro variables de la historia clínica (raza, sexo, edad y remitente) y los resultados de 2ME-RSAT (positivo o negativo) fueron procesados usando el programa SPSS (ver. 14,0), para establecer las frecuencias específicas de cada una y las asociaciones de estas variables con el resultado de la serología, mediante la prueba *chi-cuadrado* ($p < 0,95$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las frecuencias de seropositividad y seronegatividad a *B. canis*, según el remitente de la muestra, fueron: clínica veterinaria, 15% (14/93); propietario 9,1% (60/657) y veterinario de criadero 8,9% (64/717). No se encontró una correlación entre la seropositividad y quien la remite. Al revisar las notas de remisión, se determinó que la mayor parte de los servicios se hacen por monta natural, los reproductores se prestan o se alquilan entre los criaderos, que la mayoría de los criaderos son urbanos y que no contaban con asesoría profesional en los aspectos de salud, prevención de enfermedades y manejo genético (datos no mostrados). Los datos incompletos de los pacientes no permiten concluir acerca de la sintomatología relacionada con los seropositivos; sin embargo, el mayor porcentaje (48,9%) de las muestras remitidas (1.467) fue de criaderos, donde se habían reportado casos de abortos en el último tercio de la gestación, problemas de infertilidad de hembras o machos o por requerimiento del diagnóstico para servicio reproductivo por monta directa o inseminación artificial. Esto, posiblemente, se debe a las condiciones técnicas y de manejo reproductivo de los criaderos, anteriormente mencionadas, donde, principalmente, los servicios reproductivos se hacen por monta natural

y donde los perros seronegativos comparten espacios comunes con los seropositivos, aumentando el riesgo de infección, al estar en contacto estrecho con secreciones vaginales, prepuciales, sangre, orina y heces (Ramírez *et al.* 2006; Castillo *et al.* 2002; Carmichael & Shin, 1999).

Al igual que otros estudios de prevalencia de *B. canis* (Ramírez *et al.* 2006; Castillo *et al.* 2002; Almeida *et al.* 2004; Megid *et al.* 1999; Carmichael & Shin, 1999), no fue posible encontrar una asociación entre la raza y el diagnóstico sexológico; no obstante, se hallaron unas frecuencias de seropositividad importante, entre el 8,5 y el 17%, entre las principales razas de criadero (bulldog, poodle, pug, beagle, schnauzer, schitzú, labrador retriever, maltés) y, por lo tanto, mascotas, a nivel local.

Aunque se considera que la edad no es un factor predisponente a la enfermedad y que los caninos se pueden infectar en cualquier momento (Carmichael & Shin, 1999), se asoció esta variable con el resultado del 2ME-RSAT, pero no fue posible una clasificación precisa por edad de los animales, ya que los propietarios y los criadores no llevan un registro adecuado de la fecha de nacimiento de sus animales, por lo tanto, las edades estimadas, se agruparon en rangos. No se encontró una asociación entre la seropositividad o seronegatividad con el rango de edad del animal, lo cual, es similar a los hallazgos de otros estudios (Ramírez *et al.* 2006; Castillo *et al.* 2002; Almeida *et al.* 2004; Megid *et al.* 1999; Carmichael & Shin, 1999); sin embargo, se encontró un mayor número de muestras remitidas y mayor seropositividad, en los caninos hasta los tres años de edad, posiblemente, debido a que al ser jóvenes tienen una mayor actividad reproductiva, por lo tanto, los propietarios desean conocer el diagnóstico en este rango de edad, para comenzar a cruzarlos, y, a su vez, tienen mayor riesgo de infección.

Respecto a la frecuencia de presentación de la enfermedad, según el sexo, se obtuvieron resultados similares entre machos y hembras (10,9% hembras, 8% machos), sin una asociación significativa. En apariencia, no hay una predisposición por sexo y, por su carácter de transmisión venérea, no parece haber una discriminación de este tipo. Para este estudio, el número de muestras procesadas fue superior para las hembras, ya que son la población más común en los criaderos y por la remisión de muestras por parte de veterinarios con pacientes con síntomas de aborto, mucho más evidente, que los síntomas de infertilidad en machos.

Como se muestra en la tabla 1, el 11% de las muestras fueron positivas a la prueba 2ME-RSAT, la cual, es una frecuencia de presentación de esta enfermedad más baja, comparada con estudios similares, realizados en Bogotá (Colombia), con 20,3% de seropositivos (Castillo *et al.* 2002). En el ámbito mundial, se han encontrado otras frecuencias de presentación de la enfermedad, usando la técnica de inmunodifusión en agar, de la siguiente manera: en dos provincias de Callao (Perú), con 15,6% de seropositivos (Ramírez *et al.* 2006); en la ciudad de Alfenas (Brasil), con 14,2% (Almeida *et al.* 2004) y en Rio de Janeiro (Brasil), con 7,4% de seropositivos (Marassi *et al.* 2003).

A todos los remitentes de perros positivos a 2ME-PARP, se les solicitó una muestra de sangre entera, con el propósito de realizar un hemocultivo. Solamente, se logró recolectar 40 muestras, de las cuales, se aisló la bacteria en 16 de los hemocultivos (Tabla 1). Dos de los reproductores machos positivos a hemocultivo fueron perros recientemente introducidos al país, como animales de compañía que, a su vez, sirvieron de reproductores. La legislación sanitaria colombiana (Instituto Colombiano Agropecuario, 2004 y 2003), para ingreso y egreso de caninos como animales de compañía, o para importación o exportación de reproductores, no

Tabla 1. Sensibilidad y especificidad de la Resultados de 2ME-RSAT y hemocultivos.

Prueba (n)	Positivo (n)	Negativo (n)
2ME-RSAT (1467)	11% (166)	89% (1301)
Hemocultivo (40)	40% (16)	60% (24)

obliga a que los mismos sean negativos a *B.canis*. El hemocultivo es la prueba de oro en *B.canis*. ; sin embargo, su sensibilidad es baja, además que requiere un laboratorio de bioseguridad tres, para realizar esta prueba, así que se consideró que la 2ME-RSAT es una prueba de selección rápida y práctica para la región en estudio, para tomar decisiones sobre manejo sanitario en el criadero, al igual que Reisz (2006).

Como estrategia de control, se indicó a los Médicos Veterinarios el parámetro que sugieren Shin & Carmichael (1999): dos pruebas 2ME-RSAT consecutivas, con intervalo de 20 días, hemocultivo de los seropositivos y sacrificio para todos los perros positivos.

El contacto estrecho entre las personas y los perros infectados aumenta el riesgo de transmisión; aún así, su impacto sobre la salud pública es probablemente subestimado, debido a la falta de presentación de informes científicos y a la insuficiencia de servicios de diagnóstico (Zamora *et al.* 1980). El grupo de investigación Vericel fue el primero en reportar en Colombia un aislamiento de *B. canis* de una persona conviviente con un criadero infectado, sin sintomatología clínica, pero este hallazgo muestra que, posiblemente, se estaría subdiagnosticando el contagio con *B. canis*, como problema de salud pública urbana (Baldi *et al.* 1996).

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere la siguiente estrategia de control de esta enfermedad: (a) los caninos deben tener una identificación clara; (b) durante el proestro realizar 2ME-PARP a todas las hembras que van a ser servidas; (c) repetir una semana antes del servicio; (d) todos los reproductores machos deben tener 2ME-PARP, con resultado negativo, al menos dos veces por año si son usados como donantes de semen para inseminación artificial; (e) todos los machos que se usen en monta directa para el servicio deben tener, al menos, un examen negativo 20 días antes del servicio y el día anterior del servicio; (f) se debe recomendar a todos los propietarios, que desean reproducir, que solamente usen inseminación artificial, sin contacto entre el macho y la hembra; (g) cuando se introduce un animal nuevo a un criadero cerrado, éste debe permanecer en cuarentena al menos 30 días y practicar dos exámenes séricos durante este periodo, con 20 días de diferencia; (h) se recomienda el sacrificio de los animales 2ME-PARP positivos; (i) cuando los animales

salen a competencias de agilidad o exposiciones caninas, se debe hacer examen antes de ingresar al lugar y 20 días después de terminada la competencia y, finalmente, (j) en caso de criaderos positivos, se recomienda hacer 2ME-PARP a las personas de las unidades familiares que permanecen en contacto con los animales y, en caso de resultar positivos, remitirlos a los médicos expertos en zoonosis.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMEIDA, A.C.; SANTORELLI, A.; BRUZADELLI, R. 2004. Soroepidemiologia da Brucelose canina causada por *Brucella canis* e *Brucella abortus* na cidade de Alfenas, Brazil. Arq. Bras. Med. Vet. Zoo. 56:275-276.
- ALTON, G.G.; JONES, L.M.; ANGUS, R.D.; VERGER, J.M. 1988. Techniques for the brucellosis laboratory (Techniques et pratiques). Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) Publications, Paris, France. p.169-174.
- BALDI, P.C.; MIGUEL, S.E.; FOSSATI, C.A.; WALLACH, J.C: 1996. Serological Follow-up of human brucellosis by measuring IgG antibodies to lipopolysaccharide and cytoplasmic proteins of *Brucella* species. Clinical Infectious Diseases (Estados Unidos). 22:446-455.
- BORIE-POLANCO, C. 2005. Infertilidad canina por *Brucella canis*. En: Olivera, M.; Gobeló, C. (eds.) El Libro Latinoamericano de Reproducción canina y felina. Ed. Biogénesis (Colombia). p.249-265.
- CARMICHAEL, L.E.; SHIN, S.J. 1999. Bruselosis canina causada por *Brucella canis*. Am. J. Vet. Res. 37:220-223.
- CARMICHAEL, L.E.; SHIN, S.J. 1996. Canine brucellosis: a diagnostician's dilemma. Semin Vet Med Surg (Small Anim.) (Estados Unidos). 11(3):161-165.
- CARMICHAEL, L.E.; JOUBERT, J.C. 1987. A rapid slide agglutination test for the serodiagnosis of *Brucella canis* infection that employs a variant (M-) organism as antigen. Cornell Vet. (Estados Unidos). 77(1):3-12.

- CARMICHAEL, L.E.; KENNEY, R.M. 1968. Canine abortion caused by *Brucella canis*. J. Am. Vet. Assoc. 152:605-616.
- CARMICHAEL, L.E. 1967. Canine brucellosis: isolation, diagnosis, transmission. Proc. Annu. Meet. U. S. Anim. Health Assoc. 71:517-527.
- CASTILLO, V.; COTRINO, V.; MORENO, C. 2002. Encuesta serológica sobre *Brucella canis* en pacientes atendidos en la clínica de pequeños animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Arch. Med. Vet. (Chile) 13:22-25.
- DI LORENZO, C.; OLIVERA, M. 2008. Aislamiento de *Brucella canis* de leche de hembra canina infectada crónicamente. En: XXI Congreso panamericano de Ciencias Veterinarias (PANVET), Guadalajara, México.
- FLORES-CASTRO, R.; SUÁREZ, F.; RAMÍREZ-PFEIFFER, C.; CARMICHAEL, L.E. 1977. Canine brucellosis: bacteriological and serological investigation of naturally infected dogs in Mexico City. J. Clin. Microbiol. (Estados Unidos). 6(6):591-597.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2004. Resolución No. 003336, 28 de diciembre de 2004. Disponible desde internet en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/1620253f-caae-4546-bdb1-f1f598ace18e/3336.aspx> (con acceso 10/12/08).
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. 2003. Resolución No. 003382, 24 de noviembre de 2003. Disponible desde internet en: <http://www.ica.gov.co/getattachment/fe51aa3f-8ef4-427b-9f85-5731d95670fe/2003R3382.aspx> (con acceso 10/12/08).
- JARA, S.; PÉREZ, O.; DI LORENZO, C.; OLIVERA, M. 2005. Prevalencia de *Brucella canis* en una población canina de Medellín, Colombia. En: 12º simposio internacional de la asociación mundial de laboratorios de diagnóstico veterinario, Montevideo.
- KEID, L.B.; SOARES, R.M.; VASCONCELLOS, S.A.; CHIEBAO, D.P.; SALGADO, V.R.; MEGID, J.; RICHTZENHAIN, L.J. 2007. A polymerase chain reaction for detection of *Brucella canis* in vaginal swabs of naturally infected bitches. Theriogenology (Estados Unidos). 68(9):1260-1270.
- KERWIN, S.C.; LEWIS, D.D.; HRIBERNIK, T.N.; PARTINGTON, B.; HOSGOOD, G.; EILTS, B.E. 1992. Diskospondylitis associated with *Brucella canis* infection in dogs: 14 cases (1980–1991). J. Am. Vet. Med. Assoc. 201:1253-1257.
- LUCERO, N.E.; ESCOBAR, G.I.; AYALA, S.M.; JACOB, N. 2005. Diagnosis of human brucellosis caused by *Brucella canis*. J. Medical Microbiology (Inglaterra). 54:457-461.
- MARASSI, C.D.; MORAES, I.A.; LILENBAUM, W. 2003. Soroprevalência de brucelose canina no município do Rio de Janeiro pelo método de imunodifusão em gel agarose. Rev. Bras. Ciência Vet. 10(1):63-64.
- MATEU-DE-ANTONIO, E.M.; MARTÍN, M.; SOLER, M. 1993. Use of indirect enzyme-linked immunosorbent assay with hot saline solution extracts of a variant (M-) strain of *Brucella canis* for diagnosis of brucellosis in dogs. Am. J. Vet. Res. 54(7):1043-1046.
- MEGID, J.; BRITTO, A.; MORAES, C.; FAVA, N.; AGOTTANI, J. 1999. Epidemiological assessment of canine brucellosis. Arq. Bras. Med. Vet. Zoo. 51: 94-98.
- MYERS, D.M.; VARELA-DÍAZ, V.M. 1980. Serological and bacteriological detection of *Brucella canis* infection of stray dogs in Moreno, Argentina. Cornell Vet. (Estados Unidos). 70(3):258-65.
- NICOLETTI, P.; CHASE, A. 1987. An evaluation of methods to diagnose *Brucella canis* infection in dogs. Compend. Contin. Educ. Vet. (Estados Unidos) 9:1071-1073.
- OLIVERA, M.; DI-LORENZO, C. 2009. Aislamiento de *Brucella canis* en un humano conviviente con caninos infectados. Reporte de un caso. Revista Colombia Médica. En prensa.

- RAMÍREZ, H.; CALLE, S., ECHEVARRÍA, L.; MORALES, S. 2006. Prevalencia de brucelosis canina en dos distritos de la provincia constitucional del callao. *Rev. Inv. Vet. Perú.* 17(1):39-43
- REISZ, V. 2006. Evaluation of Bacteriological Cultures and Rapid Slide Agglutination Test with and without 2-Mercaptoethanol in diagnosis of canine brucellosis. Master Degree. Disponible desde internet en: http://www.fmvz.unesp.br/eng/postgraduate/VetMed/Dissertations_Theses/2006/pg_vm_an_health_m.php (con acceso 10/07/08).
- SAEGUSA, J.; UEDA, K.; GOTO, Y.; FUJIWARA, K. 1977. Ocular lesions in experimental canine brucellosis. *Japan. J. Vet. Sci.* 39:181-185.
- SCHOEB, T.R.; MORTON, R. 1978. Scrotal and testicular changes in canine brucellosis: a case report. *J. Am. Vet. Medicine Assoc.* 172:598-600.
- SERIKAWA, T.; KONDO, Y.; TAKADA, H.; YAMADA, J. 1984. Head-to-head type auto-spermagglutination with IgA antibody to acrosome induced by *Brucella canis* infection. *Japan. J. Vet. Sci.* 46:40-48.
- SHIN, S.J.; CARMICHAEL, L.E. 1999. Canine brucellosis caused by *Brucella canis*. En: Carmichael, L. (Ed.), *Recent Advances in Canine Infectious Diseases*. International Veterinary Information Service, Ithaca, NY. Disponible desde internet en: <http://www.ivis.org> (con acceso 10/07/08).
- WANKE, M.M. 2004. Canine brucellosis. *Animal Reproduction Science (Paises Bajos)* 82-83:195-207.
- ZAMORA, J.; ALONSO, O.; MARTIN, R. 1980. Brucelosis canina en Valdivia Chile. Estudio serológico y bacteriológico en perros de ciudad. *Zentralbl. Veterinar Med. (Alemania)*. 27:149-153.

Recibido: Octubre 8 de 2008

Aceptado: Marzo 31 de 2009

PRIMER REGISTRO DE *Heilipus elegans* Guérin-Ménéville (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) ATACANDO EL TALLO DE ÁRBOLES DE AGUACATE EN COLOMBIA

FIRST RECORD OF *Heilipus elegans* Guérin-Ménéville (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) ATTACKING THE AVOCADO TREE STEM IN COLOMBIA

José David Rubio G.¹
Francisco J. Posada F.²
Óscar Iván Osorio L.³
Luís Fernando Vallejo E.⁴
Juan Carlos López N.⁵

RESUMEN

En el municipio de Fresno, departamento del Tolima (Colombia), se evaluó el daño en campo y se registró la presencia de *Heilipus elegans* Guérin-Ménéville, 1844 (Coleoptera: Curculionidae) atacando el tallo de árboles de aguacate de las variedades Lorena, Choquette, Santana, Trinidad, Booth 8 y comunes o criollas. El daño, se caracteriza por la coloración rojiza y los exudados depositados en los orificios de penetración que las larvas realizan en la corteza. Por galería, se encontró una larva o pupa. Los adultos capturados, se hallaron refugiados en las grietas de la corteza de los árboles. El manejo

cultural realizado para el control de la plaga consiste en el descortezado de la planta, la extracción de las larvas y el cubrimiento de las heridas con una pasta cicatrizante. Se colectaron larvas, pupas y adultos y las muestras se depositaron en la colección de insectos de la Universidad de Caldas. Se ilustra, con fotografías, el daño, la larva, la pupa y los adultos, con el propósito de servir de guía de campo para el reconocimiento y el manejo de este insecto en el cultivo del aguacate.

Palabras clave: Picudo, variedades, reconocimiento, ilustración, daño, estados.

SUMMARY

The damage on avocado trees was evaluated in a field in Fresno, Tolima, Colombia and the presence of *Heilipus elegans* Guérin-Ménéville, 1844 (Coleoptera: Curculionidae) was registered attacking the avocado tree trunk. The varieties Lorena, Choquette, Santana, Trinidad, Booth 8 and native cultivars were affected by this pest. The damage is characterized by a reddish coloration and exudates from the galleries made by the larvae. A single larva or one pupa was found per gallery. Adults were located in the cracks of the trees bark. The control method of this pest in avocado is performed

¹ Ingeniero Agrónomo M.Sc. Disciplina Mejoramiento Genético – Cenicafé. josed.rubio@gmail.com

² Ing. Agrónomo Ph.D. IPM-Perennial Crop consultant. fjavierposada@hotmail.com

³ Ing. Agrónomo, Candidato a M.Sc. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. oscarosori@gmail.com.

⁴ Biólogo. Candidato a Ph.D. Universidad de Caldas. vallejofer@gmail.com

⁵ Microbiólogo, Disciplina Entomología – Cenicafé. juan-carlos.lopeznunez@gmail.com

by removing the larva from the galleries followed by an application of a healing paste onto the wounds. Samples of larvae, pupae and adults were collected and deposited in the entomological collection of the Universidad of Caldas, Manizales, Colombia. In this publication, the damage caused by *H. elengans* is illustrated as well as the characteristics of the larva, the pupa and the adult. These illustrations can serve as a field guide for the recognition and management of this insect pest in avocado orchards.

Key words: Weevil, varieties, survey, illustration, damage, stages.

INTRODUCCIÓN

El aguacate *Persea americana* Mill., es una especie nativa de América y pertenece a la familia Lauraceae, la cual, tiene una gran diversidad, representada en 50 géneros y un número estimado de 2.000 a 3.000 especies (Coder, 2007; Zipcodezoo, 2008). Esta familia de plantas alberga una gran diversidad de insectos fitófagos, muchos desconocidos para la ciencia e, igualmente, se desconoce el rango de hospedantes y la importancia económica que pueden alcanzar como plagas para plantas, de la misma familia, que se cultiven dentro del mismo ecosistema.

Por la pérdida y disturbios del hábitat de estas plantas y de insectos, algunas especies de insectos, asociados a Lauraceae silvestres, se pueden llegar a constituir en plagas limitantes de la producción del aguacate cuando el cultivo se establece en amplios monocultivos. Esto es probablemente lo que está ocurriendo en Colombia, donde en la última década se ha registrado la ocurrencia de nuevas especies de insectos fitófagos del aguacate, que pueden llegar a limitar su producción (Gagne *et al.* 2004; Gil *et al.* 2007).

En la actualidad, en el país, se cultivan diferentes variedades de aguacate en 17 departamentos del país y se estima que hay plantadas más de 18.000 hectáreas, siendo los principales productores: Bolívar (28%), Santander (24%), Tolima (14%) y Antioquia (12%). El cultivo representa el 3% del área frutícola sembrada a nivel nacional, con una producción total superior a las 176.000 toneladas (Velásquez, 2006). Actualmente, en el municipio de Fresno (Tolima), hay sembradas alrededor de 4.000ha, de las cuales, un 70% están en producción

y un 30% en desarrollo. Las principales variedades cultivadas en este municipio son las variedades Choquette, Lorena, Santana, Hass, Trinidad, Booth 8 y Semil 40 (Umata Fresno, Comunicación personal 2008). Usualmente, las variedades comunes o criollas, se emplean como porta injerto para conferir a la planta adaptación o resistencia a enfermedades (Federación Nacional Cafeteros de Colombia, 2004).

Dentro de los insectos considerados plagas de importancia económica del aguacate, se encuentran los escarabajos del género *Heilipus* (Coleoptera: Curculionidae). Este género es de ocurrencia en el continente Americano (Neotropical) y es muy diverso. Mientras Woodruff (1963), registra 328 especies en Centro y Suramérica, Zipcodezoo (2008) menciona 246 especies. De muchos de los registros todavía hay sinonimias e identificaciones con estatus condicional. Castañeda-Vildózola *et al.* (2007) indican que este género tiene 85 especies, de las cuales 39 se distribuyen en Norte y Centro América, mientras que 52 tienen ocurrencia en Suramérica, con la existencia de algunas pocas especies, a través de todo el continente. De estas, se registran ocho que causan daño al aguacate, con distribución en los países de América (Castañeda-Vildózola *et al.* 2007). Entre ellas, se observa que *H. pittieri* Barber sólo perfora los frutos, mientras que las demás pueden atacar diferentes partes de la planta, como hojas, tallo, frutos o raíz (Tabla 1).

En Colombia, atacando aguacate, se han reconocido tres especies del género *Heilipus*: *H. pittieri* Barber, *H. lauri* Boheman y *H. trifasciatus* (Fabricius) (= *H. perseae* Barber) (Urueta, 1976; García *et al.* 1983; Cárdenas, 1984 a, b, c; Posada, 1989). La especie predominante es *H. lauri* Boheman, que ataca, generalmente, los frutos y, en ocasiones, las ramas. Su presencia ha sido reportada en Antioquia, Caldas, Risaralda, Santander y Valle del Cauca (Tabla 2). De las otras dos especies sólo hay un registro de su identificación y de su ocurrencia (Urueta, 1976; Cárdenas, 1984 c) (Tabla 2). La identificación de todas las especies de *Heilipus* que atacan aguacate en Colombia, la realizó el Dr. D. R. Whitehead, del SEL IIBIII-USDA (Urueta, 1976; Cárdenas, 1984 b; García *et al.* 1983). En las comunicaciones sobre la identificación para *H. lauri*, el especialista indicó que ésta ocurre sólo en México y que la presencia en Colombia, probablemente, se deba a una inmigración reciente.

El objetivo del presente trabajo fue realizar el reconocimiento, describir el daño y obtener la

Tabla 1. Lista de las especies de *Heilipus* registrados asociados a aguacate en América.

Especie	Daño*					Distribución	Referencia
	H	Ra	T	F**	Rz		
<i>H. albopictus</i> Champion				X*		México	Morrone, 2003 Aphis, 2006 Castañeda <i>et al.</i> 2007
<i>H. apiatus</i> (Oliver, 1807) (= <i>H. squamosus</i> (Le Conte, 1824))	X	X	X	X		Estados Unidos	Wolfenbarger, 1948 Woodruff, 1963 Lourenção <i>et al.</i> 1984 BugGuide, 2008
<i>H. catagraphus</i> Germar			X	X		Brasil	Lourenção <i>et al.</i> 1984
<i>H. elegans</i> Guérin-Ménéville, 1844			X	X		Jamaica Brasil Costa Rica	Barber, 1912 Lourenção <i>et al.</i> 2003 González, 2008
<i>H. lauri</i> Boheman			X	X		México Centro América Colombia Perú	Barber, 1912 Wolfenbarger & Colburn, 1966 Posada, 1989 Aphis, 2006
<i>H. trifasciatus</i> (Fabricius) (= <i>H. perseae</i> Barber)	X		X	X		México Centro América Colombia	Dietz & Barber, 1920 Wolfenbarger & Colburn, 1966 Lourenção <i>et al.</i> 2003 Cárdenas 1984c
<i>H. pittieri</i> Barber				X		México Centro América	Wolfenbarger, 1948 Wolfenbarger & Colburn, 1966
<i>Heilipus rufipes</i> Perty			X		X	Brasil	Lourenção <i>et al.</i> 2003

* H= hoja, Ra= rama, T= tallo, F= Fruto, Ra= Raíz.

**No en todas las referencias los autores, cuando mencionan fruto, indican que el daño es sobre la semilla. Es muy probable que cuando *Heilipus* ataca el fruto, igualmente, ataca la semilla, debido a que ésta es la parte del aguacate que dura más tiempo y ofrece sustrato para completar el ciclo de vida que, por lo general, es largo en este grupo de insectos.

Tabla 2. Registro y distribución de las especies de *Heilipus* atacando aguacate en Colombia.

Especie	Daño	Distribución	Referencia
<i>Heilipus</i> sp. cerca <i>pittieri</i> Barber	Fruto	Retiro (Antioquia)	Urueta, 1976
<i>Heilipus trifasciatus</i> (Fabricius)	Fruto	Mistrató (Caldas)	Cárdenas, 1984c
<i>Heilipus lauri</i> Boheman	Fruto, semilla	Puente Nacional (Santander)	Vergara & Varela, 1980
		Pereira (Risaralda)	Nuñez, 1983
		Sonsón (Antioquia)	Bustillo, 1983
		Albán (Valle)	Cárdenas, 1984a
		Mistrató (Caldas)	Cárdenas, 1984b
		Bello (Antioquia)	Bustillo <i>et al.</i> 1985
		La Cumbre (Valle),	García <i>et al.</i> 1987
Amaga (Antioquia)	Bustillo, 1999		

identificación de una especie de insecto Curculionidae, que se manifiesta atacando el tallo de árboles de aguacate, en el Municipio de Fresno, departamento del Tolima.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de establecer qué tipo de insecto estaba causando perforaciones en los tallos y en las ramas en árboles de aguacate, de las variedades Lorena, Choquette, Santana, Booth 8, Trinidad y aguacates comunes, se realizaron tres visitas a cinco plantaciones de aguacate, en mayo y junio de 2007, en el municipio de Fresno, departamento de Tolima, en las veredas La Sierra y Aguas Claras, ubicadas a los 5° 9' Latitud N, 75° 0' Longitud W, en la cuenca del río Gualí, a una altitud entre 1.369 y 1.269msnm, con una topografía entre ondulada y pendientes mayores del 50%.

Ecológicamente, la región está ubicada en la zona de vida bosque húmedo premontano (bhPM) (Espinal & Montenegro, 1963); tiene una precipitación anual acumulada de 3.100mm; temperatura promedio anual de 21,5°C; humedad relativa promedio anual de 84,7%; brillo solar anual acumulado de 1.800 horas; dirección diurna del viento SE en un 91% y dirección nocturna del viento NW y SW, en un 45 y 22%.

Se registraron los métodos de control que se vienen realizando en las plantaciones y se tomaron fotografías del daño generado por los diferentes estados de desarrollo del insecto. En cada finca visitada, se evaluó un total de 30 árboles en etapa productiva, revisándolos para constatar el daño y establecer cuáles variedades presentaban daño causado por larvas de picudo. En las zonas del tallo donde se visualizaban perforaciones y exudados, se llevaron a cabo cortes y se buscó la dirección de la galería de donde se extrajeron los estados inmaduros del insecto. Los insectos colectados, se depositaron en recipientes que contenían glutaraldehído al 2% en fosfato buffer (PSB), pH 7,0, con el propósito de preservarlos, para realizar su posterior descripción e identificación en el laboratorio de entomología de la Universidad de Caldas.

Para corroborar la identificación del escarabajo barrenador del tallo del aguacate, se visitaron diferentes colecciones que contaran con especímenes del género *Heilipus*: Museo Entomológico Francisco Luís Gallego,

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (MEFLG), Colección de Agronomía de la Universidad de Caldas (UC), Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá (INCB), Colección Taxonómica Nacional Luis María Murillo (MCTNLMM), Museo Entomológico de Cenicafé (MEC). Además, se consultaron bases de datos disponibles en Internet y se enviaron fotografías y muestras del insecto al doctor Jens Prena, del Instituto Smithsonian de Washington, D.C. (Estados Unidos), taxónomo de Curculionidae y al doctor. Allan González-Herrera, de la Universidad Nacional de Costa Rica.

Posterior a la posible identificación del insecto plaga, se realizó una consulta bibliográfica sobre los reportes de daño, cultivos que afecta y distribución geográfica, ayudando a establecer la zona de vida y las condiciones ecológicas del cultivo, donde se presenta el ataque del picudo barrenador del tallo del aguacate.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reconocimiento y evaluación de daño en campo: Las variedades de aguacate sembradas y evaluadas fueron: Lorena (Papelillo), Choquette, Santana, Booth 8, Trinidad y aguacates comunes (criollos) de la zona. Casi todas las variedades introducidas a la zona, se encuentran injertadas sobre aguacates comunes. El cultivo sembrado en esta zona presenta crecimiento, tanto vegetativo como reproductivo, durante todo el año y los picos de cosecha, ocurren en junio - julio y diciembre - enero.

Los aguacates comunes de la zona son árboles de más de 30 años y de una altura superior a los 15 metros; a éstos no se les realiza ninguna práctica de manejo agrícola, como podas, fertilización o control de plagas.

Descripción del daño: En general, todas las variedades cultivadas reflejaron ataques severos por este picudo barrenador del tallo del aguacate y mostraron síntomas de defoliación y marchites (Figura 1.1). El daño causado por el insecto, se reconoce por la presencia de exudaciones en la base del árbol y coloraciones rojizas en el orificio de entrada de las galerías. Los ataques se presentan, generalmente, en las áreas sombreadas del tallo y de las ramas. En ataques severos, se encuentran perforaciones en las ramas terciarias (ramas jóvenes), en las cuales, se interrumpe la conducción por el xilema y ocurre la defoliación y muerte de la rama.

En los aguacates comunes, se observó el mayor ataque de la plaga y se alcanzó a encontrar, en un solo tronco, hasta 30 larvas del barrenador, en diferentes instares larvales.

En las fincas visitadas, se seleccionaron un total de 150 árboles en etapa productiva, registrándose 74 de ellos (49,1%) con presencia de perforaciones en el tallo. Dentro de las variedades de aguacate cultivadas que

mostraron daño, éste fue mayor en la variedad Lorena, en la que se llegó a recolectar hasta once larvas, con un promedio de cinco larvas/árbol; seguido en orden descendente por las variedades Choquette (tres larvas/árbol) y Santana (tres larvas/árbol). Adicionalmente, se colectaron adultos, los cuales, se encontraron refugiados en regiones agrietadas de la corteza de los árboles de aguacate (Figura 1.2).

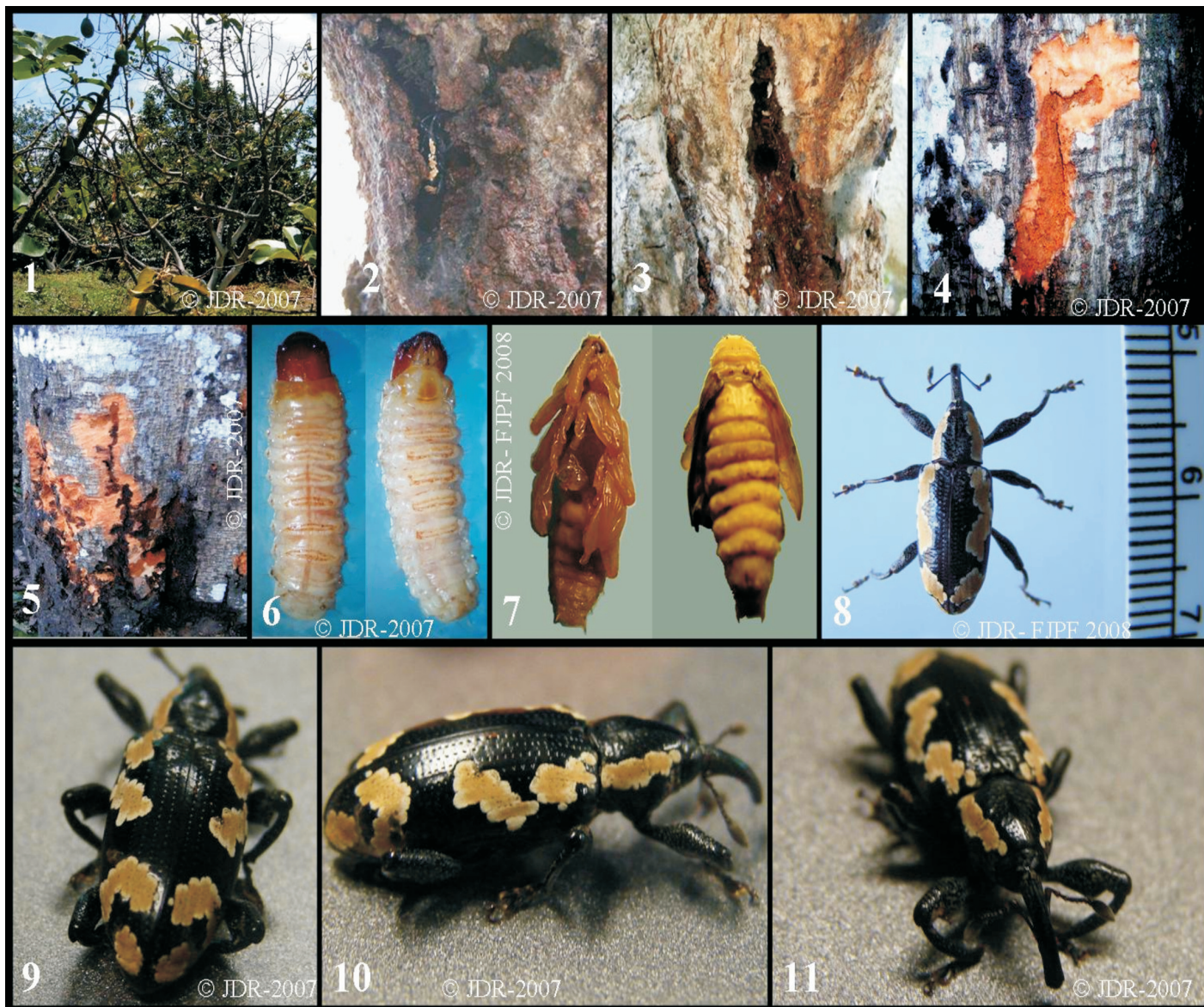


Figura 1. Daño, larva, pupa y adulto de *Heilipus elegans* sobre tallo de aguacate. 1.1. Árboles en campo con síntomas de daño severo por el ataque de *H. elegans*. 1.2. Adulto refugiado en las grietas de la corteza de árboles de aguacate. 1.3 Vista del daño mostrando el orificio de entrada y los restos del daño sobre el tallo del árbol del aguacate. 1.4, 1.5. Remoción de la corteza para descubrir la galería y remover la larva. 1.6. Vista de la larva dorsal y ventral. 1.7. Vista de la pupa dorsal y ventral. 1.8 - 1.11. Vista del tamaño del adulto y vista posterior, lateral y frontal.

En cada perforación, se halló una larva, que a medida que se alimenta taponan la galería con las excretas (Figura 1.3); éste comportamiento, se debe tener en cuenta cuando se realizan medidas de manejo de esta plaga. El taponamiento de las galerías puede indicar que los métodos convencionales de aplicación de insecticidas, por aspersión, no van a ser efectivos para su control. Adicionalmente, se puede interpretar que el insecto usa este comportamiento como un método de protección contra la acción de los enemigos naturales, lo cual, está ampliamente documentado para otros insectos que, incluso, bloquean las galerías con su propio cuerpo para proteger la progenie de la acción de los enemigos naturales (Schiefer & Bright, 2004). En las evaluaciones no se apreció mortalidad del insecto por enemigos naturales. Por la importancia del tipo de daño de la plaga es recomendable iniciar reconocimientos de los posibles agentes naturales de control, con el propósito de estimar su importancia y tomar medidas de protección, cuando se utilicen otras prácticas de control, que puedan afectar la fauna benéfica.

El control que ejecutan en la finca consiste en raspar el tallo desde el orificio de entrada de la galería hasta encontrar la larva (Figura 1.4, 1.5). Después de retirar las larvas de las galerías, inmediatamente, sobre la herida, adicionan una pasta cicatrizante que preparan con cal, un insecticida y un fungicida. Ampliar la herida, puede ser contraproducente, si no se comete con cuidado, porque puede generar un daño irreparable, tanto al tallo principal como a las ramas, pues el raspado que realizan para retirar las larvas, cuando es muy drástico, puede generar un bloqueo de translocación de nutrientes en la planta. En la plantación, se observaron árboles muertos; sin embargo, no se logró determinar si la causa fue por la acción de la plaga o como consecuencia del raspado del tallo. Sobre los riegos y los cuidados para efectuar esta práctica, a los agricultores, se les recomendó desinfectar, adecuadamente, las herramientas y enfatizar en el cuidado de no causar más daño con las heridas para extraer las larvas, puesto que por éstas o por las herramientas que utilizan se puede transmitir patógenos al árbol.

Identificación del barrenador del tallo del aguacate:

El picudo, se identificó como *Heilipus elegans* Guérin-Méneville, 1844, por comparación con fotografías de especímenes presentes en las bases de datos de Harvard Entomology (2008) y BugGuide (2008). Muestras

enviadas al doctor Prena permitieron establecer que existe cierta similitud con las colectadas en Paraguay y en Honduras, pero el estado de preservación no permitieron establecer que sea *H. elegans*. Simultáneamente, se le enviaron fotografías al doctor González-Herrera, curador del Museo y experto en plagas de aguacate de la Universidad Nacional de Costa Rica, quién confirmó que se trata de *H. elegans*.

Esta situación indica que hay dificultades para obtener la identificación taxonómica adecuada, por la carencia y la preservación de tipos, en un grupo tan importante como *Heilipus*. Es por esto, que se hace necesario ampliar la colección de estos insectos y preservarlos, adecuadamente, en una colección de referencia. Además, se debe revisar su clasificación, realizar su descripción, utilizando los caracteres morfológicos y las técnicas moleculares, para establecer su filogenia y obtener la identificación adecuada de los picudos asociados a la familia Laureaceae. Estos picudos muestran patrones de coloración y de hábitos de alimentación muy similares, lo cual, a veces conlleva a crear confusión en su identificación (Cárdenas, 1984a); igualmente, lo indicó Woodruff (1963) quien señala que entre dos especímenes de *H. apiatus* el patrón de coloración no es exactamente el mismo. La coloración, probablemente, no es un carácter para separar especies, por lo que se requiere profundizar en la descripción de *H. elegans* y conducir estudios de morfología comparada y de biología molecular para establecer su correcta identificación.

La especie *H. elegans*, se ha registrado en Brasil, en Centro América, en Costa Rica, en Ecuador, en Jamaica, en México y en Panamá (Barber 1912; Wolda *et al.* 1998; Lourenção *et al.* 2003; Harvard Entomology, 2008, Global Biodiversity Information Facility, 2008). En Costa Rica es, probablemente, donde mejor se conoce la distribución de *H. elegans*, ya que ha sido colectado 137 veces, a través del país, dentro del proyecto de biodiversidad; Sin embargo, no se indica la planta hospedante (Global Biodiversity Information Facility, 2008). González-Herrera (2008) menciona que en Costa Rica, *H. elegans* es una plaga de aguacate y ataca frutos (Tabla 1).

En los catálogos de las colecciones y en las visitas a los museos de insectos en Colombia, sólo en la colección de Curculionidae del Museo Francisco Luís Gallego de

la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se encontró especímenes muy similares, por comparación, a los colectados en Fresno (Tolima), pero no están identificados. Estos especímenes, se colectaron en el Bajo Calima (Valle del Cauca), en 1960 y los rótulos no indican el tipo de colecta o la planta hospedante.

El insecto, se registró en Panamá, en 1912, cuando era parte de Colombia por el doctor Champion, el mayor experto en Curculionidae, en la época, quien lo identificó como *H. elegans* atacando aguacate en las estribaciones del volcán Chiriqui (Harvard Entomology, 2008); no obstante, técnica y geográficamente, de acuerdo a la división política del mundo y para propósitos sanitarios, el primer registro en Colombia corresponde a este artículo e, igualmente, es el primero donde se establece como plaga atacando el tallo del aguacate.

En la base de datos de Harvard Entomology (2008), se encontró un grupo de fotografías que presentan a *H. elegans* colectados en Panamá y la comparación con los especímenes hallados en Colombia guarda una estrecha correspondencia con el patrón de las manchas, el color y el esculpido de los élitros.

Recientemente, en Panamá, se registró la captura de *H. elegans* en trampas de luz, pero sólo se capturó un individuo en un muestreo, llevado a cabo en siete localidades (Wolda *et al.* 1998). Esta respuesta, no permite considerar la posibilidad de utilizar este tropismo en su manejo, sin antes profundizar en la investigación.

Como plantas hospedantes de *H. elegans*, se registra el árbol del alcanfor (*Cinnamomum camphora*) (Laureaceae) en Jamaica, donde se encontró atacando el tallo (Howard, 1906) y, el aguacate, en Panamá y en Costa Rica, atacando el fruto (Harvard Entomology, 2008; González-Herrera, 2008). Si bien estos registros son importantes es básico dedicar esfuerzos en establecer las plantas silvestres hospedantes, con el propósito de investigar los factores que están en desequilibrio y han propiciado que las poblaciones de *H. elegans* estén alcanzando explosiones que lleguen a afectar, severamente, los cultivos de aguacate. Con la identificación de las plantas hospedantes y el conocimiento del hábitat, en el cual ocurren, es posible realizar investigación sobre los enemigos naturales que regulan naturalmente a este insecto en estos lugares y,

de este modo, poder evaluar su potencial en el control de este insecto en las plantaciones de aguacate.

Descripción del insecto

Larva: Es típica barrenador de tallo, se encuentra dentro de los tallos y son vermiformes, apodas y planas, tanto ventral como dorsalmente. El color es crema y el cuerpo exterioriza setas finas hialinas. En los segmentos, en la parte ventral y dorsal presentan rugosidades, fuertemente esclerotizadas, de color marrón, cuya función, probablemente, es contribuir a facilitar el movimiento dentro de las galerías. La cabeza es fuertemente esclerotizada y de color marrón oscuro (Figura 1.6).

Pupa: Típica exarata, de color amarillo, en la cual son fácilmente reconocibles los apéndices, como patas, élitros, rostrum y alas (Figura 1.7). Estos apéndices, se tornan de color oscuro a medida que la pupa madura, lo que facilita el reconocimiento de los ojos compuestos, que son más oscuros. Estas pupas fueron encontradas dentro de la corteza al final de la galería realizada por la larva. Estos resultados indican que *H. elegans* cumple el ciclo de vida asociado a los tejidos de la planta e implica que el aguacate es una planta hospedante primaria de este picudo.

Adulto: Los adultos son de color negro brillante, con una banda longitudinal discontinua, de puntos blancos en la región subdorsal y que se extiende desde el pronoto hasta la parte posterior de los élitros. Tanto el pronoto como los élitros son lisos y presentan bandas longitudinales de puntos fuertemente esculpidos y en el interior, de los cuales, se presenta una seta (Figura 1.8 a- 1.11).

El patrón de coloración de este insecto difiere de las otras especies de *Heilipus* registradas atacando aguacate, porque la banda de puntos blancos es más dispersa sobre los élitros (BugGuide 2008; Harvard Entomology 2008; Lourenção *et al.* 2003). Al comprar el patrón de coloración y el esculpido del pronoto y élitros de *H. elegans* con fotografías de *H. apiatus* Oliv. y *H. squamosus* Lec., se observó que estas últimas especies tienen colores muy similares entre sí, pero al compararlas con *H. elegans*, se halló que los caracteres son diferentes, ya que las manchas blancas son más abundantes y el pronoto y élitros son esculpidos en forma granular e irregular (Wolfenbarger, 1948; BugGuide, 2008).

RECOMENDACIONES

Las especies de *Heilipus*, asociadas como insectos fitófagos del aguacate, son un grupo que requiere mayor investigación y la realización de reconocimientos de sus plantas hospedantes. Específicamente, respecto a *H. elegans*, se sugiere iniciar estudios para determinar los factores que favorecieron la explosión de sus poblaciones en Fresno y conducir reconocimientos más detallados y establecer el riesgo de distribución a otras áreas productoras del país. Los aspectos taxonómicos necesitan la cooperación de investigadores en los diferentes países interesados en el manejo de esta plaga. Se requiere depositar los especímenes colectados en colecciones de referencia y realizar la descripción de los estados de desarrollo. Por la importancia de este género es urgente la elaboración de claves de identificación, que incluyan la comparación de la genitalia y establecer el dimorfismo sexual. Especial atención se le debe asignar al reconocimiento de los enemigos naturales y los aspectos de atrayentes, ya sean feromonas o kairomonas, que permitan generar estrategias de control de bajo impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores expresan sus agradecimientos a la CIMATA-Fresno e, igualmente, al doctor Jens Prena del Instituto Smithsonian, de Washington, D.C. y al doctor Allan González-Herrera, de la Universidad Nacional de Costa Rica, por las observaciones y comentarios sobre la identificación de este picudo que ataca el tallo de los árboles de aguacate en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- APHIS – USDA. 2006. Importation of ‘Hass’ Avocado (*Persea americana*) Fruit from Peru into the Continental United States. Plant Epidemiology and Risk Analysis Laboratory. Center for Plant Health Science and Technology. Plant Protection and Quarantine. Raleigh, NC. 87p. Disponible desde Internet en: http://www.aphis.usda.gov/peer_review/downloads/APHIS-2006-0072-0002%5B1%5D.pdf. pdf (con acceso 06/18/07).
- BARBER, H.S. 1912. Note on the avocado weevil (*Heilipus lauri* Boheman). Proc. Ent. Soc. Washington. 14(3):181-183.
- BUGGUIDE. 2008. Ironclad Weevil - *Heilipus apiatus*. Disponible desde Internet en: <http://bugguide.net/node/view/174980> (con acceso 18/09/08).
- BUSTILLO P., A. 1983. Frutos dañados. Notas y Noticias Entomológicas. Julio - Agosto 1983.
- BUSTILLO P., A. 1999. Perforador de los frutos en aguacate. Notas y Noticias Entomológicas. 27. N° 5 – 6. Septiembre - Octubre, Noviembre - Diciembre. 1999.
- BUSTILLO P., A.; MEJÍA M., G.; POSADA F., F. 1985. Perforador de frutos. Notas y Noticias Entomológicas. Noviembre - Diciembre 1985.
- CÁRDENAS M., R. 1984a. Plagas en aguacate. Notas y Noticias Entomológicas. Mayo - Junio 1984.
- CÁRDENAS M., R. 1984b. Plagas del aguacate. Notas y Noticias Entomológicas. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Entomología. Bogota. Julio – Agosto, 1984.
- CÁRDENAS M., R. 1984c. Identifican Picudo. Notas y Noticias Entomológicas. Septiembre - Octubre, 1984.
- CASTAÑEDA-VILDÓZOLA, A.; VALDEZ-CARRASCO, J.; EQUIHUA-MARTÍNEZ, A.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H.; ROMERO-NÁPOLES, J.; SOLÍS-AGUILAR, J.F.; RAMÍREZ-ALARCÓN, S. 2007. Genitalia de tres especies de *Heilipus* Germar (Coleoptera: Curculionidae) que dañan frutos de aguacate (*Persea americana* Mill) en México y Costa Rica. Neotropical Entomology. 36(6):914-918.
- CODER, K.D. 2007. Taxonomy & Identification: Redbay (*Persea borbonia*). University of Georgia. Warnell School of Forestry & Natural Resources. Outreach Publication SFNR07-2. 10p. Disponible desde Internet en: http://www.fs.fed.us/r8/foresthealth/laurelwilt/resources/presentations/jekyll_island_jan2007/coder_redbay_taxonomy_identification.pdf (con acceso 18/09/08).
- DIETZ, H.F.; BARBER, H.S. 1920. A new avocado weevil from the Canal Zone. J. Agr. Res. 20(2):111-115.

- ESPINAL, L.S.; MONTENEGRO, E. 1963. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa de ecológico. IGAC, Bogotá. 201p.
- FEDERACIÓN NACIONAL CAFETEROS DE COLOMBIA. 2004. El Cultivo del Aguacate. Octava edición. Ed. Produmedios. Manizales, Colombia. p.24.
- GAGNE, R.J.; POSADA, F.; GIL, Z.N. 2004. A new species of *Bruggmanniella* (Diptera: Cecicomyiidae) aborting young fruit of avocado, *Persea americana* (Lauraceae), in Colombia and Costa Rica. Proc. Ent. Soc. Washington. 106(3):547-553.
- GARCÍA R., F.; DE GUTIÉRREZ, B.; PULIDO J. 1983. Más sobre un picudo. Notas y Noticias Entomológicas. Enero - Febrero 1983.
- GARCÍA R., F.; PULIDO F., J.; LEÓN M., G. 1987. Todos se cayeron. Notas y Noticias Entomológicas. Mayo - Junio 1987.
- GIL P., Z.N.; POSADA F., F.J.; PÉREZ S., M.; CÁRDENAS M., R. 2007. Registro y notas bionómicas de una nueva plaga del aguacate *Laurencella colombiana* (Hemiptera: Margarodidae) en Colombia. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 10(2):43-50.
- GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY 2008. Species: *Heilipus elegans* Guérin-Méneville, 1844. Disponible desde Internet en: <http://data.gbif.org/species/14642266/> (con acceso 06/18/08).
- GONZÁLEZ H., A. 2008. Biología y recomendaciones para el manejo integrado de los picudos del aguacate (caso Costa Rica). Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Laboratorio de Entomología. 17p. (En prensa).
- HARVARD ENTOMOLOGY. 2008. Curculionidae: Molytinae: *Heilipus elegans* Guerin. Caribbean Plants & Insects Database. Disponible desde Internet en: http://insectdatabases.oeb.harvard.edu/Caribbean/Mantisweb/FMPro?-DB=Species.DRDE&-Lay=web& Format=description_DR.htm&Species_ID=35084&-Find (con acceso 18/09/08).
- HOWARD, L.O. 1906. Insect pests. In. Fawcett, W. Bulletin of the Department of Agricultura. Jamaica Vol IV. Part 2..1906. p.116. Disponible desde Internet en: <http://books.google.com/books?id=x-NIAAAAMAAJ> (con acceso 29/11/08).
- LOURENÇÃO, A.L.; ROSSETTO, C.J.; SOARES. N.B. 1984. Ocorrência de adultos de *Heilipus catagraphus* Germar, 1824 (Coleoptera: Curculionidae) danificando frutos de abacateiro. Bragantia. 43:249-253.
- LOURENÇÃO, A.L.; SOARES, N. B.; ROSADO-NETO, G.H. 2003. Ocorrência e danos de larvas de *Heilipus rufipes* Perty (Coleoptera: Curculionidae) em abacateiro (*Persea americana* Mill.) no Estado do Ceará. Neotropical Entomology. 32(2):363-364.
- MORRONE, J.J. 2003. *Heilipus albopictus* (Champion, 1902) Coleoptera: Curculionidae: Molytinae: Molytini. Dugesiana. 10:35-36.
- NUÑEZ B., L. 1983. Le gustan todas. Notas y Noticias Entomológicas. Enero - Febrero 1983.
- POSADA O., L. 1989. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bogotá. Instituto Colombiano Agropecuario, Boletín Técnico No. 43. 662p.
- SCHIEFER, T.L.; BRIGHT, D.E. 2004. *Xylosandrus mutilatus* (Blandford), an exotic ambrosia beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae: Xyleborini) new to North America. The Coleopterists Bull. 58(3):431-438.
- URUETA E. 1976. Registro de nuevas plagas en Antioquia. Notas y Noticias Entomológicas. Enero - Febrero 1976.
- VELÁSQUEZ P., J.A. 2006. Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de Productividad y Competitividad Gobernación de Antioquia. 103p.

- VERGARA, R.; VARELA, A.L. 1980. Pasador de frutos. Notas y Noticias Entomológicas. Julio - Agosto 1980.
- WOLDA, H.; O'BRIEN, C.W.; STOCKWELL, H.P. 1998. Weevil Diversity and Seasonality in Tropical Panama as Deduced from Light-Trap Catches (Coleoptera: Curculionoidea). Smithsonian Institution Press Washington, D.C. Smithsonian Contributions to Zoology; no. 590. 79p.
- WOLFENBARGER, D.O. 1948. *Heilipus squamosus* Lec., a new enemy of the avocado. California Avocado Society 1948 Yearbook 33:98-102. Disponible desde Internet en: http://www.avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_33_1948/CAS_1948_PG_98-102.pdf (con acceso 18/09/08).
- WOLFENBARGER, D.O.; COLBURN, B.E. 1966. Recent observations on some avocado pests in México and El Salvador. Proc. Fla. State Hort. Soc. 79:335-337. Disponible desde Internet en http://www.avocadosource.com/Journals/FSHSP/FSHSP_VOL_79_PG_335-337_1966.pdf (con acceso 18/09/08).
- WOODRUFF, R.E. 1963. An avocado weevil (*Heilipus apiatus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae). Florida Dept. Agr., Div. Plant Industry. Entomology Circular 11, 1p.
- ZIPCODEZOO. 2008. *Persea americana*. Disponible en Internet en http://zipcodezoo.com/Plants/P/Persea_americana/ (con acceso 18/09/08).

Recibido: Diciembre 2 de 2008

Aceptado: Abril 1 de 2009

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL EFECTO DE LOS EXTRACTOS ETANÓLICOS DE CINCO PLANTAS MEDICINALES SOBRE LA MOSCA DE LOS CUERNOS *Hematobia irritans* L. (DIPTERA: MUSCIDAE)

PRELIMINARY SCREENING OF ETHANOLIC EXTRACTS OF FIVE MEDICINAL PLANTS AGAINST *Haematobia irritans* L. (DIPTERA: MUSCIDAE)

Mauricio Ramírez A.¹
Anastasia Cruz Carrillo²
Carlos Rodríguez Molano³

RESUMEN

El uso de plantas medicinales hace parte tanto de la historia de la medicina en todas las culturas del mundo como de las costumbres populares, convirtiéndose en el punto de partida para el desarrollo de medicamentos tradicionales. En respuesta a los altos niveles de resistencia y a la presencia de residuos de plaguicidas en el ecosistema, se ha buscado en las plantas nuevas alternativas para el control de insectos. A partir del conocimiento popular de algunas plantas reconocidas por su acción insecticida, con esta investigación, se buscó determinar, experimentalmente, si *Nicotiana tabacum*, *Brugmansia arborea*, *Sambucus nigra*, *Bidens pilosa* y *Ambrosia cumanenses* tienen efecto contra los adultos de la mosca de los cuernos, *Haematobia irritans*, plaga de importancia que afecta el ganado vacuno. Utilizando el método de lixiviación en frío, se preparó el extracto de las hojas de cada una de las plantas. La evaluación del efecto insecticida, se realizó *in Vitro*, haciendo una aspersión topical de los extractos sobre las moscas.

Todas las plantas mostraron efecto insecticida, aunque en diferentes grados de intensidad, siendo la más efectiva la *N. tabacum*. Con estos resultados, se sustenta el conocimiento popular y se resalta la necesidad de utilizar altas concentraciones del extracto para obtener efecto insecticida.

Palabras clave: Sauco, tabaco, almatisa, borrachero, chipaca, mosca de la paleta, plaga ganado vacuno.

SUMMARY

The use of medicinal plants forms part of the medical history in every world culture, as well as of the popular customs, being also the starting point of traditional drugs. Responding to the high levels of resistance to chemical pesticides and the presence of their residues in the ecosystem, in plants, new alternatives for insect control have been searched. Based on the popular knowledge about some plants, recognized for their insecticidal action, with this research it was proposed to determine experimentally if *Nicotiana tabacum*, *Brugmansia arborea*, *Sambucus nigra*, *Bidens pilosa* and *Ambrosia cumanenses* have some action against and the fly, *Haematobia irritans*, cattle pest of importance. Leaf extracts were prepared by lixiviation in cold and the insecticidal effect was evaluated *in vitro* making topical aspersion of the extracts on the flies. All plants show insecticidal effect but at different intensity levels. The extract of *N. tabacum* was the most effective one.

¹ MVZ, UPTC, maomvzsi@yahoo.es

² MV, Esp UN, Docente UPTC, Programa de MVZ. Coordinador grupo GICIVET. Dirección para correspondencia: anicata22@hotmail.com

³ Z, UN Esp UPTC. Docente UPTC, Programa MVZ Coordinador grupo GIBNA. ceromol@gmail.com

With these results the popular knowledge is supported, however the need of using high concentrations of the extract for obtaining insecticide effect is pointed out.

Key words: Elder, tobacco, almatisa, datura, chipaca, horn fly, cattle pest.

INTRODUCCIÓN

La mosca *Haematobia irritans*, conocida como “mosca de los cuernos” o “de la paleta”, es un díptero hematófago que impacta negativamente la salud y la producción bovina. Dentro de los efectos adversos producidos, se destaca la transmisión de enfermedades y de otros organismos de los cuales es vector, como el caso de la transmisión de larvas de *Dermatobia hominis*, del *Anaplasma marginale* y del virus de la leucosis bovina; así mismo, induce anemia, daño de la piel, estrés, poca ganancia de peso por bajo consumo de alimento y mala conversión de alimentos. Se ha calculado que una infestación de 1000 moscas en un animal ocasiona pérdidas de 0,14g de carne por mosca presente al día, conduciendo a reducciones de 8 hasta 22% del peso corporal y disminución de la ganancia de peso de 14% en novillos, efectos que traducen en pérdidas económicas considerables (Torres *et al.* 2008; Alonso-Díaz *et al.* 2007; Yepes, 2007; Leite *et al.* 1998).

De manera similar como se realiza para controlar otros ectoparásitos, el manejo de la mosca, entre otras acciones, incluye el uso de piretroides, organofosforados, carbamatos, así como fenilpirazol, fipronil y las lactonas macrocíclicas. Sin embargo, el empleo indiscriminado de estos fármacos generó el desarrollo de resistencia por parte del insecto, así como efectos indeseados en el medio ambiente (Suárez *et al.* 2006; Quijada *et al.* 2002; Flores *et al.* 2001). En respuesta a esta problemática y atendiendo a los resultados obtenidos en estudios de etnobotánica y a la medicina popular, se buscan alternativas en los extractos de plantas medicinales, para el control de parásitos externos o para el manejo de diferentes patologías, de acuerdo con los componentes que éstas tengan (De Geyter *et al.* 2007; López, 2002).

De acuerdo con los registros encontrados en Colombia, se destacan dentro de las plantas con efecto insecticida, la *Azadirachta indica* (Meliaceae), contra garrapatas; la *Mammea americana* (Clusiaceae), contra mosquitos;

la *Cyperus prolyxus* (Cyperaceae); la *Bidens pilosa* (Asteraceae), cuya acción insecticida se ha demostrado sobre el gorgojo del maíz y sobre estados adultos y larvarios de algunos dípteros (Iannacone *et al.* 2005; Gruben, 2004). La *Brugmansia arborea* (Solanaceae), a pesar que en la zona del Pantano de Vargas, Boyacá, se reconoce como insecticida, la literatura la destaca por su capacidad de actuar sobre los receptores serotoninérgicos, dopaminérgicos y noradrenérgicos, a nivel de sistema nervioso central, constituyendo una planta sicoactiva aunque con algunos efectos indeseados (Capasso & Vicenzo, 2007; Gil *et al.* 2006; Kvist & Moraes, 2006). Así mismo, se incluyen, como promisorios, a *Sambucus nigra*, *Nicotiana tabacum*, *Borago officinalis*, *Equisetum bogotense*, *Salvia officinalis*, *Poligonum spp.*, *Urtica dioica* y *Ruta graveolens* (Edafón, 2006; Gruben, 2004).

En el 2007, los grupos de investigación GICIVET y GIBNA, pertenecientes al Programa de MVZ de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, desarrollaron un trabajo que permitió conocer cuáles eran las plantas de uso medicinales que la población reconocía y utilizaba con mayor frecuencia en la región de Paipa, Boyacá (Cruz & Rodríguez, 2007). A partir de estos resultados, se seleccionaron las cinco plantas de hallazgo más comunes en la zona y que son utilizadas por sus habitantes, para el control de parásitos externos, moscas y pulgas, principalmente, sin importar si estas plantas fueran o no nativas de la región. Partiendo de lo anterior, el propósito de este estudio fue evaluar la eficacia *in Vitro* de los extractos etanólicos de *Nicotiana tabacum*, *Brugmansia arborea*, *Sambucus nigra*, *Bidens pilosa* y *Ambrosia cumanenses* de ocurrencia común en el departamento de Boyacá, contra la mosca de los cuernos *H. irritans* (Diptera: Muscidae).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue de tipo experimental *in Vitro* y se desarrolló en tres fases: la primera consistió en hacer la colecta de las plantas en los municipios de Tunja y de Rondón, en el departamento de Boyacá, Colombia, así como la elaboración de los extractos, que se llevó a cabo en el Laboratorio de Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), sede Tunja; la segunda fase, se relacionó con la captura de las moscas en el municipio de Tunja y el mantenimiento de las mismas,

en un espacio adaptado para tal fin, en el laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Medicina Veterinaria-Zootecnia de la UPTC y la tercera fase, consistió en evaluar el efecto de los extractos y de sus diluciones, sobre adultos de la *H. irritans*.

Colecta de las plantas y elaboración de los extractos.

Se seleccionadas las cinco plantas más reconocidas por los habitantes del Pantano de Vargas, como plantas con efectos insecticidas y fueron ellas, *Ambrosia cumanenses* (altamisa), *B. pilosa* (chipaca), *B. arborea* (borrachero), *S. nigra* (sauco) y *N. tabacum* (tabaco). En todos los casos, las hojas se cortaron con tijeras en cantidad superior a 200g y se transportaron en sobres de manila para evitar la humedad, hasta el laboratorio, donde se dispusieron en una superficie plana, separadas unas de otras para realizar el secado, a temperatura ambiente, en un lugar cubierto y seco.

El método escogido para la obtención de los extractos de cada una de las plantas analizadas fue el de lixiviación en frío (Sharapin, 2000), utilizado como método de extracción de metabolitos de las plantas medicinales, que permite extraer todos los componentes liposolubles afines a solventes alcohólicos. Para ello, se empleó una columna de extracción de PVC con mangueras conectadas, conformando un circuito cerrado, que permitió re-utilizar el solvente. Fue así como de cada planta se tomaron 200g de hojas secas maceradas y se colocaron en la columna, empacando las dos terceras partes de su capacidad. Posteriormente, se llenó la columna con una solución de etanol 20% y se conectó el motor para mantener constante el flujo del solvente, durante 24 horas.

Cumplido el tiempo, una de las mangueras se desconectó y el contenido eluido fue recogido en un Erlenmeyer; a continuación, se adicionó más solvente, repitiendo el procedimiento varias veces, hasta que el solvente saliera traslúcido. Cada proceso culminó con la evaporación del solvente del respectivo extracto recogido, mediante un baño maría, obteniendo así, el extracto bruto 100%, el cual, se conservó a 4°C (Davicino *et al.* 2007; Edafón, 2006; Lock *et al.* 2006; Ferro & de Alvarenga, 2000). Todos los extractos fueron evaluados por observación directa para determinar características de olor, de color, de consistencia y de volumen obtenido.

El extracto, así preparado, sirvió para elaborar las diluciones correspondientes utilizando agua destilada.

Finalmente y en búsqueda de corroborar la presencia de compuestos químicos en cada uno de los extractos puros obtenidos, se realizó una cromatografía en capa fina con lámina de sílica, para observar los compuestos eluidos, por fluorescencia.

Captura y mantenimiento de las moscas.

Las moscas, se capturaron con una red entomológica, a partir de bovinos infestados con éstas, en las instalaciones de la UPTC y se ubicaron en jaulas de 30x30x30cm, elaboradas para el estudio con balsa y tela mosquitera. Una vez transportadas al laboratorio de Parasitología para su identificación, fueron divididas en grupos de diez y ubicadas en las jaulas sobre los mesones del laboratorio, bajo iguales condiciones medioambientales. Para la alimentación de las moscas, se dispuso diariamente, en cada una de las jaulas, una toalla sanitaria impregnada en sangre fresca de bovino con citrato, como anticoagulante y kanamicina, para evitar la contaminación bacteriana. En todos los casos, se comprobó por observación directa que las moscas se alimentaban (Gallardo, 2000).

Evaluación del efecto insecticida de los extractos diluidos.

Para la evaluación de cada uno de los extractos así como de las diluciones preparadas a partir de éstos, se utilizaron dos grupos de moscas de diez individuos cada uno, constituyendo así, el grupo tratado y su réplica.

A pesar que en el planteamiento inicial del estudio se propuso la evaluación del efecto insecticida de los extractos puros a través de la aspersión de los mismos sobre las moscas fue imposible realizarlo debido a su viscosidad y, por ello, en todos los casos, se inició con una dilución 5:10 en agua destilada. La aplicación de los extractos, se hizo por aspersión utilizando un atomizador comercial del mismo calibre, para todos los grupos, aplicando un disparo completo, para cada grupo de diez moscas.

Las diluciones preparadas no fueron necesariamente las mismas para todos los extractos, puesto que en este trabajo, se aplicó el método de máximas y mínimas, empleado en farmacología, para hallar dosis efectivas de moléculas nuevas. Bajo esta premisa, la concentración de los extractos se aumentó o disminuyó, aproximadamente 50% respecto a la anterior, de acuerdo con los resultados obtenidos. Así, cuando hubo mortalidad de las moscas, se preparó el extracto en mayor dilución hasta encontrar

la concentración mínima eficaz y al no observar efecto, se trabajó con preparaciones más concentradas, hasta encontrar la que mostrara eficacia.

Con el fin de dar mayor confiabilidad a los resultados, se trabajó un grupo control positivo, el cual, se enfrentó a un insecticida piretroide comercial a base de cipermetrina, al 15%, preparado según las indicaciones de la etiqueta (dilución 1:1000 en agua corriente); se asperjó sobre las moscas, de la misma forma como se efectuó con las diluciones de los extractos. Igualmente, se dispuso de un grupo control, donde las moscas fueron asperjadas con agua destilada de la misma procedencia de la que se utilizó para preparar las diluciones. Durante todo el estudio, se mantuvo un grupo de moscas (control negativo), que no estuvo expuesto a ninguna sustancia insecticida, con el fin de garantizar que las condiciones medioambientales del laboratorio eran adecuadas, para el mantenimiento de las moscas.

La mortalidad de las moscas, se determinó por ausencia de movimiento de las patas y las alas, al ser tocadas una a una con un objeto de punta roma. Este procedimiento, se efectuó al cabo de 24 horas de la exposición a cada uno de los tratamientos, tanto en los grupos tratados como en las réplicas. Se consideró como valor mínimo de eficacia insecticida, una mortalidad de 60%, por lo que, valores por debajo de éste se interpretaron como ineficacia (Gallardo, 2000). Los porcentajes de mortalidad, se compararon entre grupos para cada una de las diluciones y se determinó el grado de eficacia, a través del programa EPIDAT, para el análisis epidemiológico de datos tabulados versión 3.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el método de extracción, se obtuvieron los extractos que mostraron similares características de color, volumen obtenido y consistencia (Tabla 1). Para todos los tratamientos valorados, se observó el mismo comportamiento entre el grupo tratado ($n=10$) y su réplica ($n=10$), sin diferencias significativas entre ambos, por lo que los resultados porcentuales corresponden al promedio obtenido entre ambos, es decir, a 20 moscas expuestas a cada uno de los tratamientos.

A. cumanenses (altamisa, artemisa, ajeno, madra, tomajaras). De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, para esta planta, se evaluaron cuatro diluciones, 5:10, 2,5:10, 1,2:10 y 0,6:10. Con la primera, se obtuvo 100% de mortalidad de las moscas; con la segunda, tercera y cuarta dilución las mortalidades fueron de 65, 60 y 10%, respectivamente, por lo cual, con concentraciones inferiores a 1,2:10, se pierde la eficacia del extracto de esta planta contra la mosca *H. irritans*.

La altamisa, a pesar de ser una planta originaria de regiones templadas de Europa, fue introducida a América y se adaptó fácilmente en diferentes tipos de suelos en Colombia (Jiménez *et al.* 2005; Bermúdez & Velásquez, 2002). Los estudios de etnobotánica desarrollados en América Latina reportan múltiples usos, dentro de los que se destaca su utilización como analgésico, antiinflamatorio, antipirético, para el manejo de cefalea, hipertensión y estreñimiento y, con menor frecuencia, se encuentran reportes de su efecto

Tabla 1. Características físicas de las plantas evaluadas.

Nombre Científico	Volumen Obtenido (ml)	Color	Olor	Consistencia
<i>Ambrosia cumanenses</i>	65	Carmelito	Característico a la planta	Viscoso
<i>Bidens pilosa</i>	70	Carmelito	Característico a la planta	Viscoso
<i>Sambucus nigra</i>	50	Carmelito	Característico a la planta	Viscoso
<i>Nicotiana tabacum</i>	45	Carmelito intenso	Característico a la planta	Muy viscoso
<i>Brugmasia arborea</i>	40	Verde	Dulzón	Viscoso

antiparasitario, contra nematodos y moscas (Toscano, 2006; Bermúdez & Velásquez, 2002; León *et al.* 2002; Peguero, 2002). Dentro de los componentes reportados, se destaca el felandreno, el acetato de linalilo y el ocimeno, alcaloides presentes en las hojas, con acción antihelmíntica y repelente demostradas (Carrillo-Rosario & Díaz, 2005); en este estudio, lo que se observó fue acción insecticida en corto tiempo. El efecto disminuyó de manera proporcional a la concentración del extracto, perdiendo eficacia en altas diluciones. Considerando la ausencia de literatura científica que indique el efecto aquí encontrado, este sería el primer reporte de la acción insecticida de la *A. cumanenses* que valdría la pena seguir estudiado, para determinar cuál de los alcaloides que posee, le confiere esta característica.

B. pilosa (chipaca, romerillo blanco, amor seco, cadillo rosero, margarita silvestre). El extracto de chipaca fue evaluado en cuatro diluciones; se inició con la dilución 5:10, que no mostró eficacia, por lo que se elaboraron dos diluciones de mayor concentración, 6,2:10 y 7,5:10 (Tabla 1). La chipaca es una hierba anual distribuida, principalmente, en regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo, cuyos análisis fitoquímicos indican que sus principales componentes activos se encuentran en los aceites obtenidos de las hojas y flores (Deba *et al.* 2008). A pesar que la medicina popular reconoce esta planta como medicinal para el tratamiento de aterosclerosis, malaria, hepatitis, infecciones

urinarias e infecciones causada por herpes, virus de las sustancias químicas que posee (taninos, esteroides, esteroides, flavonoides, glicósidos aurona y chalconas y polisacáridos, entre otros) y de la gran variedad de efectos medicinales, demostrados científicamente (antineoplásico, antioxidante, cicatrizante, antipirético, antibacteriano y antifúngico) (Deba *et al.* 2008; Arroyo *et al.* 2007; Sudararajan *et al.* 2006; Chiang *et al.* 2003; Lastra & Ponce De León, 2001), no se encuentran reportes que soporten la acción insecticida observada en el presente estudio, excepto por los estudios realizados sobre el gorgojo del maíz (Iannacone *et al.* 2005). Sin tener un soporte científico, se presume que los principios insecticidas que esta planta pueda contener, corresponden al grupo químico de los alcaloides, que se destacan como compuestos naturales con acción insecticida (Ferrero *et al.* 2004).

De acuerdo con los resultados hallados y comparando la chipaca con la altamisa, se puede indicar que la acción insecticida de esta última es más notoria, en razón a que mantuvo su eficacia en diluciones superiores a la lograda con la chipaca.

B. arborea (borrachero, floripondios). En este estudio y de igual forma que la altamisa, el borrachero se evaluó en cuatro diluciones 5:10, 2,5:10, 1,2:10 y 0,6:10 mostrando efecto satisfactorio contra la *H. irritans* hasta la dilución 1,2:10, a partir de la cual, ésta se perdió (Tabla 2).

Tabla 2. Mortalidad producida por diferentes diluciones de extracto etanólico de tres plantas medicinales en la mosca de los cuernos *Haematobia irritans*.

	<i>Bidens pilosa</i>	<i>Brugmasia arborea</i>	<i>Nicotiana tabacum</i>
Dilución	% Mortalidad		
7,5:10	100	-	-
6,2:10	95	-	-
5:10	55	100	100
2,5:10	25	100	100
1,2:10	-	75	100
0,6:10	-	20	100
0,3:10	-	-	100
0,15:10	-	-	100
0,1:10	-	-	90
0,05:10	-	-	65

Posiblemente, el borrachero es más conocido por sus efectos alucinógenos y tóxicos que medicinales, por la presencia de ciertas sustancias como la escopolamina, la hioscina y la atropina (Arango, 2008; Kvist & Moraes, 2006). A pesar que esta planta es reconocida popularmente en Boyacá y en otras regiones del país por sus efectos insecticidas, no se encuentran estudios científicos que demuestren esta acción. Bajo esas condiciones, la presente investigación constituye una de las primeras demostraciones que respaldan el conocimiento popular que indica el uso de esta planta como insecticida. Por otra parte y conociendo la forma de actuar de sus componentes, se puede inferir que la acción insecticida se genera por parálisis de la mosca, debida a la acción anticolinérgica ejercida por el bloqueo de los receptores colinérgicos en la placa neuromotora del insecto (Arango, 2008).

S. nigra (sauco, sauco blanco, canillero). El sauco bajo las condiciones planteadas en este estudio, mostró efecto insecticida en diferentes diluciones. Fue así como las diluciones evaluadas 7,5:10 - 6,2:10 - 5:10 y 2,5:10 indicaron eficacia con mortalidades de 100%, 95%, 60% y 70%, respectivamente. En dilución 1,2:10 el resultado obtenido, se interpretó como ineficacia, con mortalidades por debajo de 60%. A pesar que en todos los ensayos realizados para cada planta los extractos más concentrados mostraron mayor eficacia insecticida, en este grupo, la dilución 2,5:10 fue más eficaz que la dilución 5:10, lo cual, no concuerda con la relación directa, concentración eficacia, que se observó a lo largo del estudio. Otra posible explicación es que los extractos de alta viscosidad difícilmente pasan por el atomizador dificultando la dispersión; sin embargo, ello no ocurrió con las formas más concentradas que tuvieron mayor viscosidad. Sin tener otra explicación y considerando que el agua en que se preparó la dilución fue la misma así como las condiciones medioambientales, se asume que este resultado fue producto de la individualidad propia de los organismos vivos.

Esta planta de distribución mundial, se encuentra con frecuencia en el departamento de Boyacá (Cruz & Rodríguez, 2007). Los efectos hallados, se justifican por la presencia de gran cantidad de compuestos, dentro de los que se destacan flavonoides, aceites cafeíco y clorofénicos, ácidos ursólico y oleanólico, esteroides, glucósidos, alcaloides, triterpenos y taninos, distribuidos en diferentes partes, por lo que, a nivel de medicina

popular, se usan con diferentes fines. Aunque en este estudio el efecto observado fue de tipo insecticida, la literatura resalta la utilización del follaje como repelente de moscas en equinos, debido al intenso olor que libera. De manera similar a como sucede con otras plantas de uso por tradición cultural, se encuentran pocos hallazgos científicos que respaldan esas creencias; aún así, algunos autores demuestran efecto antioxidante, diurético, purgante y hemostático. Así mismo, se emplea en el tratamiento de diabetes, tos, bronquitis, hemorroides, fiebres e insomnio (Dawidowicz *et al.* 2006; Toscano, 2006; León *et al.* 2002; Gray *et al.* 2000) y, de manera similar a lo ocurrido con la chipaca, existen reportes de su eficacia contra el gorgojo del maíz, pero no contra ningún otro artrópodo (Iannaccone *et al.* 2005).

Con los resultados logrados en este estudio, se puede afirmar que el sauco tiene efecto insecticida contra la *H. irritans*, aunque no se encuentren otros reportes científicos con los que se puedan comparar estos hallazgos.

N. tabacum (tabaco). En este estudio, el extracto etanólico de tabaco fue el que mostró mayor eficacia contra la mosca de los cuernos, debido a que se observó mortalidad, en diluciones superiores a las que fueron eficaces para las otras plantas evaluadas. Para esta planta, se evaluaron las diluciones 5:10, 2,5:10, 1,2:10, 0,6:10, 1:10 y 0,5:10 (Tabla 2).

A diferencia de las especies anteriores, el tabaco ha sido reconocido, no solo a nivel popular sino también en estudios científicos, como planta con propiedades insecticida de contacto y de absorción; sin embargo, el uso sobre *H. irritans* no se había reportado. A pesar que el lapso determinado para evaluar la mortalidad en este estudio fue de 24 horas, se puede destacar que con esta planta la mortalidad ocurrió de manera casi inmediata para todas las diluciones que fueron eficaces, lo que soporta la alta efectividad observada, bajo las condiciones de este ensayo.

El tabaco posee componentes activos, como nicotina, cumarina, alontaína, pirrolidina, nicotelina, ácido nicotínico y nicotirina, que le confieren efectos narcóticos y alucinógenos, así como el efecto insecticida, demostrado en este estudio (Kvist & Moraes, 2006; Capasso & De Feo, 2003). Partiendo de que el principal componente del tabaco es la nicotina, se asume que el

efecto se debió a parálisis producida sobre la mosca por estímulo sostenido sobre los receptores nicotínicos de la placa motora. La eficacia de la molécula de nicotina ha conducido al desarrollo de derivados moleculares, los insecticidas neonicotinoides, que actúan de manera similar a la molécula natural y posiblemente son menos tóxicos para los mamíferos, constituyendo un nuevo grupo químico para la industria de los plaguicidas (Tomizawa & Casida, 2008).

Con relación a los resultados alcanzados con el grupo control positivo, se corrobora la eficacia del producto utilizado y del método aplicado, ya que hubo mortalidad de 100% en la dilución indicada por la etiqueta (1:1000). Con el grupo control negativo no se observó ninguna muerte así, como tampoco con las moscas que se mantuvieron en las jaulas sin ningún tipo de intervención. En consecuencia, se demuestra que la mortalidad lograda con los diferentes extractos, se debió a la acción insecticida de los mismos y no al agua utilizada para la dilución, a condiciones medioambientales o a la falta de alimento.

CONCLUSIONES

Todas las plantas aquí evaluadas mostraron, en algún grado, efecto insecticida, destacándose dentro de todas la *N. tabacum*. que mantuvo su efecto aún en bajas concentraciones. En todos los casos, se evidenció que la eficacia del extracto disminuye de manera progresiva, a medida que se aumenta la dilución del mismo, situación que se explica por la relación dosis-respuesta, que se observa en la mayoría de sustancias farmacológicamente activas (Goodman & Gilman, 2006). De manera complementaria y en razón a que las moléculas biológicamente activas producen efectos deseados, en ciertas dosis también pueden desencadenar reacciones adversas, que para el caso de los insecticidas de síntesis, han sido notorias en animales y en humanos, lo que hace necesario determinar no solo la eficacia de los productos naturales sino el grado de seguridad que ofrecen al ser aplicados en los animales.

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que los componentes activos presentes en las plantas varían por múltiples factores, se recomienda desarrollar trabajos similares, incluyendo algunas variables, como diferentes partes de la planta,

extracción acuosa, extracción alcohólica usando otros solventes y extracción en caliente, para finalmente llegar a identificar los principios activos con acción insecticida. Así mismo, una vez se demuestre *in Vitro* el efecto insecticida, se recomienda hacer valoraciones **in Vivo** para determinar su eficacia en los animales y estudios de toxicidad, que permitan conocer el riesgo del uso de las plantas promisorias en las especies animales de interés.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan sus agradecimientos a los funcionarios y directivos del Laboratorio de Control Biológico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la UPTC y a la doctora Astrid Martínez por su orientación en la obtención de los extractos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO-DÍAZ, M.A.; ACOSTA-RODRÍGUEZ, A.; MALDONADO-SIMÁN, E.; RAMÍREZ-VALVERDE, R., BERMÚDEZ-VILLANUEVA, L. 2007. Dinámica poblacional de *Haematobia irritans* en bovinos del trópico mexicano. Rev. Cient. (Maracaibo). 17(4):330-334. Disponible desde Internet en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php> (con acceso abril 10/04/08).
- ARANGO, A.G.J. 2008. Alcaloides y compuestos nitrogenados. Medellín, Colombia. 82p. Disponible desde Internet en: <http://farmacia.udea.edu.co/~ff/alcaloides.pdf> (con acceso 13/07/08).
- ARROYO, J.; BONILLA, P.; RAEZ, E. 2007. Phenolic compounds from *Bidens pilosa* methanolic fraction on induced gastric neoplasia in rats. Ann. Fac. Med. 68(2):105-112.
- BERMÚDEZ, A.; VELÁSQUEZ, E. 2002. Etnobotánica médica de una comunidad campesina del estado de Trujillo, Venezuela: un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. Rev. Facultad de Farmacia. 44:2-6.
- CAPASSO, A.; VICENZO, D. 2007. In vitro binding receptors study by *Valeriana ascendens*, *Iresini herbstii* and *Brugmansia arborea* extracts. Med. Chem. 3(6):599-604.

- CAPASSO, A.; DE FEO, V. 2003. Alkaloids from *Brugmansia arborea* (L.) reduce morphin withdrawal in vitro. *Phytother. Res.* 17(7):826-829.
- CARRILLO-ROSARIO, T; DÍAZ de R., A. 2005. Actividad antimalárica de extractos crudos de plantas en ratones infectados con *Plasmodium berghei*. *Rev. Facultad de Farmacia.* 47(1):2-9.
- CHIANG, L.C., CHANG, J.S., CHEN C.C., LIN, C.C. 2003. Antiherpes simplex virus activity of *Bidens pilosa* and *Houttuynia cordata*. *Am. J. Ch. Med.* 31(3):355-362
- CRUZ, C.A.; RODRÍGUEZ, M.C.E. 2007. Caracterización de la Riqueza Botánica del Pantano de Vargas, Paipa (Boyacá). Informe final de trabajo de investigación. Disponible en Biblioteca INIAG, UPTC-Tunja. 63p.
- DAVICINO, R.; MATTAR, M.A.; CASALI, Y.A.; CORREA, S.G.; PETTENATI, E.M.; MICALIZZI, B. 2007. Actividad antifúngica de extractos de plantas usadas en medicina popular en Argentina. *Rev. Peru Biol.* 14 (2): 247-252
- DAWIDOWICZ, A.L.; WIANOWSKA, D.; BARANIAK, B. 2006. The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *Lebensmittel - Wissenschaft + Technologie.* 39(3):308-315.
- DEBA, F.; TRANG, X.T.; YASUDA, M.; TAWATA, S. 2008. Chemical composition and antioxidant, antibacterial and antifungal activities of the essential oils from *Bidens pilosa* Linn. var. *Radiata*. *Food Control.* 19(4):346-352.
- DE GEYTER, E.G; SMAAGGHE, G. 2007. First results on the insecticidal action of saponins. *Commun Agric Appl Biol Sci.* 72(3):645-648.
- EDAFÓN, Fundación Agroecológica. 2006. Plantas para el control de ectoparásitos. Disponible desde Internet en: <http://www.controlbiologico.com/index.htm> (con acceso 03/08).
- FERRO, E.; DE ALVARENGA, N.C. 2000. Evaluación de la actividad antimicrobiana de *Aristolochi giberti*. *Revista de Ciencia y Tecnología (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay).* 1(2):71-77.
- FERRERO, A.A.; DESCAMPS, L; REVIRIEGO, M. 2004. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal. Cap. 10 "Estrategias para el control de insectos plaga" p.335-342. Disponible desde Internet en: http://www.inta.gov.ar/ediciones/2004/biotec/parte8_cap10.pdf (con acceso 12/12/08).
- FLORES, A.E.; BADI. M.H.; PONCE, G. 2001. Resistencia a insecticidas en insectos vectores de enfermedades con énfasis en mosquitos. *Rev. Salud Pública y Nutrición.* 2(4):34-37.
- GALLARDO, J. 2000. Mortalidad de la mosca de cuerno *Haematobia irritans* causada por el pigmento Floxin B.. *Tec Pecuaria, Méx.* 38:211-217. Disponible desde Internet en: www.tecnicapecuaria.org.mx (con acceso 25/03/08).
- GOODMAN, G. 2006. Las Bases Farmacológicas de la Terapéutica. 10 ed. Vol.1. McGraw. México.
- GIL, O.R.; CARMONA, A.J., RODRÍGUEZ, A.M.C. 2006. Estudio etnobotánico de especies tóxicas, ornamentales y medicinales de uso popular, presentes en el Jardín de Plantas Medicinales "Dr. Luis Ruiz Terán" de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de Los Andes. *Boletín Antropológico.* 24(68):463-481.
- GRAY, A.M.; ABDEL-WAHAB, Y.H.A.; FLATT, F.R. 2000. The traditional plant treatment, *Sambucus nigra* (elder), exhibits insulin-like and insulin releasing actions in vitro. *J. of Nutrition.* 130:15-20.
- GRUBEN, G.J. 2004. Plant Resources of Tropical Africa. Backhuys Publishers, O. A. Denton. Publicado por Prota 2. p.114-117. Disponible desde Internet en: <http://books.google.com.co> (con acceso 23/05/08).
- IANNACONE, J.; AYALA H.; AMID, R. 2005. efectos toxicológicos de cuatro plantas sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* Motschulsky 1855 (Coleoptera: Curculionidae) y sobre el gorgojo de las galletas *Stegobium paniceum* (Linnaeus 1761) (Coleoptera: Anobiidae) en Perú. *Gayana.* 69(2):234-240.

- JIMÉNEZ, O.A.M.; RAMOS, P.Y.A.; GARCÍA, C.F.; RÍOS, H.A.; ASPRILLA, P.J. 2005. El Chocó una fuente de oportunidades comerciales, a partir del conocimiento, valoración y manejo de su biodiversidad. Rev. Inst. U. Tecnológica del Chocó. 22:3-9.
- KVIST, L.P.; MORAES, R.M. 2006. Plantas sicoactivas. Botánica Económica de los Andes Centrales. 12:294-312.
- LASTRA, V.H.A.; PONCE DE LEÓN, R.H. 2001. *Bidens pilosa* Linné. Rev. Cubana de Plantas Medicinales. 6(1):28-33.
- LEITE, R.C.; RODRÍGUEZ, Z.; FACCINI, J.L.H.; OLIVEIRA, P.R.; FERNÁNDES, A.A. 1998. First Report of *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae) as vector of *Dermatobia hominis* (L.jr) (Diptera: Cuterebridae) in Minas Gerais, Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 93:761-762.
- LEÓN, H.J.; VALERO, H.; GIL, O.R. 2002. 23 Especies vegetales medicinales de uso frecuente en la población de Tabay. Rev. Facultad Farmacia 44:51-58.
- LÓPEZ, L.M.T. 2002. Formas de administración más habituales de plantas medicinales. Fitoterapia. 21(2):122-125.
- LOCK, O.; CABELLO, I.; DOROTEO, V.H. 2006. Analysis of flavonoids in plants. Universidad Católica del Perú, sección de Química. Disponible desde Internet en: www.iupac.org/publications/cd/medicinal_chemistry (con acceso 01/07/08).
- PEGÜERO, B. 2002. Estudio etnobotánico de las comunidades ubicadas dentro y en la periferia del Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier. Evaluación Ecológica Integrada del Parque Nacional Juan Bautista Pérez Rancier. Disponible desde Internet en: http://www.parksinperil.org/files/d_1_n_iii_libro_evaluacinecolgica_ii_parte.pdf (con acceso 20/12/07).
- QUIJADA, T.; MARCHÁN, V.; CARUSI, P.; JIMÉNEZ, M.; GARCÍA, M. 2002. Efecto del control químico sobre *Haematobia irritans* (Linnaeus 1758) (Diptera: Muscidae) durante un año en bovinos de la Parroquia Moroturo, municipio Urdaneta del estado Lara, Venezuela. Rev. Científica. 12(supl. 2):601-603.
- SHARAPIN, N. 2000. Fundamentos de Fitotecnología de Productos Fitoterapéuticos. Convenio Andrés Bello. 230p. Disponible desde Internet en: http://books.google.com.co/books?id=XH2HzSIJPywC&pg=PA68&lpg=PA68&dq=extraccion+alcoholica+plantas+vol.&source=web&ots=iRpuLYNI Fq&sig=Afh268RAmTa7UdKTzJmyGsQZy0&hl=es&sa=X&oi=book_result&resnum=1&ct=result#PPP1,M1 (con acceso 12/10/08).
- SUÁREZ, V.H.; CASTELLI, M.E.; AGUIRRE, D.H.; CAFRÚNE, M.M.; CETRÁ, B.; FADER, O.W. 2006. El uso de insecticidas para el control de *Haematobia irritans* (L.) (Diptera: Muscidae) en la Argentina. Rev. Invest. Agropec. 35(2):21-35.
- SUNDARARAJAN, P.; DEY, A.; SMITH, A.; DOSS, A.G.; RAJJAPAN, M.; NATARAJAN, S. 2006. Studies of anticancer and antipyretic activity of *Bidens pilosa* whole plant. African Health Science. 6(1):27-30.
- TOMISAWA, M.; CASIDA, J.E. 2008. Molecular recognition of neonicotinoid insecticides. The determinants of died of dead. Acc Chem Res en proceso de publicación. Disponible desde Internet en: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19053239?ordinalpos=2&itool=EntrezSystem2.PEntrez.Pubmed.Pubmed_ResultsPanel.Pubmed_DefaultReportPanel.Pubmed_RVDocSum (con acceso 12/12/08).
- TORRES, R.L.; ALMAZARÁN, C.; ROSARIO-CRUZ, R.; QUIROZ, R.H.; De La FUENTE, J. 2008. Identificación DE antígenos protectores contra *Haematobia irritans* mediante interferencia de ARN. Memorias del I Foro Universitario "Investigación, Sociedad y Desarrollo", Avances y Perspectivas: 65-69. Disponible desde Internet en: <http://www.turevista.uat.edu.mx/Volumen%203%20numero%202/PRIMER%20FORO%20UNIVERSITARIO/CA-13.swf> (con acceso el 12/12/08).

TOSCANO, G.J.Y. 2006. Uso tradicional de plantas medicinales en la vereda San Isidro, municipio de San José de Pare, Boyacá: Un estudio preliminar usando técnicas cuantitativas. Acta Biol. Colombiana. 11(2):137-146.

YEPES, M.L.Y. 2007. Fluctuación de *Haematobia irritans* L. (Diptera: Muscidae) en bovinos de clima cálido. Rev. Fac. Nal. Agronomía. 60(1):36-39.

Recibido: Agosto 4 de 2008

Aceptado: Febrero 4 de 2009

EVALUACIÓN DE DIETAS MERÍDICAS PARA LA CRÍA EN LABORATORIO DE *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE)

EVALUATION OF MERIDIC DIETS FOR REARING *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) UNDER LABORATORIO CONDITIONS

Helber Arévalo Maldonado¹
Ingeborg Zenner de Polanía²

RESUMEN

Spodoptera frugiperda es uno de los insectos omnívoros de mayor importancia en el neotrópico americano. Ataca una amplia variedad de cultivos, entre los cuales, se destacan el algodón y el maíz. De ambas especies existen cultivares transgénicos propuestos como herramientas en su control. Para evaluar su eficacia y monitorear la posible resistencia de insectos a través del tiempo a las toxinas incorporadas, se deben retomar las investigaciones de técnicas de cría con dietas meridicas, a las que se pueden incorporar toxinas del *Bacillus thuringiensis* y que, además, proporcionan las condiciones nutricionales requeridas y reducen los costos. Esta investigación buscó definir una dieta artificial adecuada para la cría del cogollero del maíz, útil para monitorear su posible resistencia a cultivares transgénicos. La población base, se colectó sobre maíz en el Municipio de Anolaima, Cundinamarca y su desarrollo, se llevó durante tres generaciones consecutivas, sobre las dietas ICRISAT Diet 3, Greene modificada y Shorey & Hale modificada y alimento natural, hojas de maíz. Con todas las dietas, se logró el desarrollo, pero se presentaron diferencias en la duración del ciclo, en la

supervivencia y en el peso de larvas y pupas. La dieta que presentó los mejores resultados fue la dieta ICRISAT, al proporcionar a las larvas una menor duración de desarrollo, un menor número de instares, los mayores pesos de larvas y de pupas, y una supervivencia cercana al 100%. Por esta razón, se sugiere el empleo de la dieta ICRISAT en estudios toxicológicos, donde se requiera la incorporación de las toxinas Cry.

Palabras clave: Cogollero del maíz, técnicas de cría, bioensayos, toxinas Cry, supervivencia.

SUMMARY

Spodoptera frugiperda is one of the omnivorous insects of major importance in the American neo-tropic, due to its attacks of many crops, specially cotton and corn. For both crops, transgenic cultivars are proposed as a tool of pest management. In order to determine the efficacy of Bt crops and to monitor possible insect resistance through time to the incorporated toxins, research regarding insect rearing on meridic diets, in which *Bacillus thuringiensis* toxins can be incorporated and furthermore provide the required nutritional conditions and reduce costs, has to be evaluated. This study sought to define an adequate artificial diet for rearing the fall armyworm, which meets the above mentioned characteristics. An initial *S. frugiperda* population was collected at Anolaima (Department of Cundinamarca) and its development was studied, through three consecutive generations, on ICRISAT Diet 3, modified Greene, modified Shorey & Hale diet and corn leaves as natural food. With all diets the insect's development was

¹ Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A Calle 222No. 54-37, Bogotá D.C. jelber2000@gmail.com

² I.A. Ph.D. Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A izenner@udca.edu.co

attained, but differences in life cycle duration, survival and larval and pupal weight were observed. Best results were obtained with the ICRISAT diet: larvae presented a shorter developmental time, a minor number of instars, and higher weights, for larvae and pupae. Its survival was nearly 100%. For this reason, the use of ICRISAT diet for toxicological studies, where the incorporation of a Cry toxin is required, is suggested.

Key words: Fall armyworm, rearing techniques, bioassays, Cry toxins, survival.

INTRODUCCIÓN

El gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es una de las principales plagas del maíz, sorgo, algodón y arroz en las zonas cálidas y templadas de Colombia (Álvarez & Sánchez 1983). Gallego, en 1946, reporta a esta plaga en el algodón, cuando aun era conocida como *Laphygma frugiperda* (Smith & Abbot, 1797) y menciona que, en 1914 y 1915, algunos agricultores la observaron afectando el cultivo de maíz, en forma devastadora, en Antioquia. De la misma forma, Álvarez (1991) en una reseña histórica de la plaga, se refiere a los primeros ataques reportados en el algodón en el Valle del Cauca, en el año 1962, causando pérdidas económicas, no cuantificadas. El mismo autor menciona que se encuentra en todos los pisos térmicos tropicales y subtropicales como plaga de importancia, desde los 0 a los 2000msnm y desde el norte de Argentina y Chile hasta el sur de Estados Unidos.

El alto costo socio-cultural del control y la dificultad para la obtención de cultivares resistentes incentivaron la búsqueda de alternativas eficientes, económicamente viables y ecológicamente correctas, como las descritas por Cruz *et al.* (1995) y Grützmacher *et al.* (2000). Kogan (1998) manifiesta que para que cualquier manejo, sea plenamente utilizable, es necesario conocer la biología de la plaga y, de esta forma entender cómo mantenerla en condiciones de laboratorio, para evaluar diferentes técnicas de control.

Una de las herramientas actualmente utilizadas dentro del manejo integrado de plagas (MIP) en Colombia son las plantas transgénicas, como el algodón Bollgard® y Bollgard II® o el maíz Yieldgard®, que expresan ϵ -endotoxinas del *Bacillus thuringiensis* (Bt) para el control

de algunas plagas de lepidóptera; sin embargo, estas herramientas, se deben monitorear y evaluar, para conocer su eficacia y la resistencia de las plagas objetivo, a través del tiempo (Zenner de Polanía *et al.* 2008). Una forma de evaluar y de monitorear la resistencia de estos cultivares y su relación con las distintas plagas es el empleo de las dietas merídicas, al permitir el desarrollo del insecto y la incorporación de las ϵ -endotoxinas, a distintas dosis.

Las dietas artificiales proveen un alimento fácil de manejar, eliminan el problema del cultivo de la planta huésped (Etzel & Legner, 1999 citado por Murúa *et al.* 2003), pueden disminuir los riesgos de contaminación (Murúa *et al.* 2003) y brindan los mismos nutrientes durante todo el desarrollo larval de la plaga. Además, permiten mantener constante la mayoría de variables, tales como temperatura, cantidad de alimento, humedad relativa, entre otras, lo cual, es ventajoso para el desarrollo de los respectivos bioensayos.

Entre las dietas más empleadas para la cría del cogollero está la propuesta por Shorey & Hale (1965), sugerida originalmente para la cría de *Trichoplusia ni* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) y otras especies de noctuidos, cuya fuente de proteína es el frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Esta dieta ha sido objeto de varios estudios y modificaciones. Bowling (1967) por ejemplo, cambió las relaciones de los ingredientes, mientras que Villacorta & Cobo (1978) modificaron la forma de prepararla. Nalim (1991), citado por Souza *et al.* (2001), la empleo, incluyendo levadura de cerveza y aumentando la concentración de formaldehído, con éxito para la cría de *S. frugiperda*. Esta dieta, comúnmente denominada de “frijol”, fue usada en el año 2006 por el grupo de investigación “Fitosanidad” de Colombia, para la cría del *S. frugiperda* y para la determinación de concentraciones letales, incorporando dosis seriadas de la toxina Cry1Ac del Bt. Sin embargo, se detectaron problemas de contaminación, básicamente por la bacteria “rosada” *Serratia* y los hongos *Aspergillus* y *Penicillium*, y una alta mortalidad de neonatos, lo que obligó a evaluar otras dietas, objetivo general de este estudio. Para que una dieta pueda ser usada en este tipo de bioensayos de susceptibilidad a Bt, Marçon *et al.* (2000) establecieron para *Ostrinia nubilalis* (Hübner), (Lepidoptera: Crambidae), los siguientes criterios: una mortalidad menor del 15%, al séptimo día de desarrollo larval; que las larvas se encuentren entre el tercer y cuarto instar y que, al décimo día, las larvas pesen más de 0,1mg.

La presente investigación buscó, por lo tanto, otra dieta más apropiada, basado en la evaluación de parámetros biológicos, como la duración de cada estado y de cada instar en particular, la supervivencia, el ciclo de vida, la fecundidad y los pesos de las larvas y pupas y la longevidad de los adultos. Además, se analizó el costo de la dieta y la contaminación microbiana, que en esta se puede desarrollar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se efectuó en el Laboratorio de Biotecnología Agrícola, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. Las condiciones ambientales de temperatura y de humedad relativa fueron $24 \pm 3^\circ\text{C}$ y $70 \pm 5\% \text{HR}$, respectivamente.

Larvas de *S. frugiperda*, consideradas F_0 , se recolectaron en un lote de maíz híbrido (CIMMYT), en el municipio de Anolaima, Cundinamarca, situado a $04^\circ 45' 15,3'' \text{N}$ y a $74^\circ 29' 46,7'' \text{E}$. Su cría en el laboratorio, se realizó sobre hojas de maíz, cambiadas cada segundo día, hasta la formación de la pupa. En pupa, se determinó el sexo, según But & Cantu (1962) citado por García *et al.* (2006) y se dejaron en el mismo recipiente de cría, vaso plástico de capacidad de 50mL, con tapa inyectada (Envapac Ltda., Bogotá), con una mota de algodón, humedecida con agua destilada. Cuando los adultos emergieron, se corroboró su sexo basado en la coloración de las alas anteriores, como lo sugiere Gallego (1946). Los adultos nacidos el mismo día, se dispusieron por parejas en una cámara de oviposición, para la cual, se adaptaron porrones de vidrio de 4,0L de capacidad (Peldar S.A., Soacha, Cundinamarca), cubierta con una tela tipo tole de color blanco, con tiras de papel de color blanco o beige, para poder observar fácilmente las posturas, colocadas desde el borde hasta el fondo de la cámara. Los adultos fueron alimentados diariamente, con una solución acuosa con 10% de azúcar y 1% de ácido ascórbico. De la segunda noche de oviposición, se separaron 160 huevos, tomando en cuenta lo mencionado por García *et al.* (2006), quienes encontraron que las posturas de esta noche son las más viables.

Al eclosionar estas posturas, se tomaron 40 larvas neonatas para cada tratamiento, las cuales, se dispusieron de manera individual, en las cuatro dietas: 1) ICRISAT Diet 3 a base de garbanzo (T2), preparada

de acuerdo a la fórmula proporcionada por el doctor H. Sharma, del Instituto Internacional de Investigación en Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT) Patancheru, Andhra Pradesh, India; 2) Greene *et al.* (1976) modificada por Parra (2001) (García *et al.* 2006) (T3); 3) Shorey & Hale (1965) modificada por Bowling (1967) y preparada según Villacorta & Cobo (1978) (T4) (Tabla 1) y, 4) el sustrato natural hojas de maíz (T1). Se emplearon los mismos vasos plásticos de 50mL de capacidad con tapa inyectada, arriba mencionados, llenados con 7mL de dieta, continuándose el desarrollo de los individuos sobrevivientes utilizando la metodología descrita anteriormente.

Los parámetros biológicos, se determinaron durante tres generaciones consecutivas. La duración de cada instar, de cada estado y del ciclo total de huevo a adulto, incluyendo la supervivencia, se contabilizó diariamente. Con estos datos, se construyó la curva de supervivencia y la tabla de mortalidad. Para comprobar las mudas, se separaron las cápsulas cefálicas una vez ocurría la ecdisis. A los adultos obtenidos, se tomaron los periodos de pre-oviposición, oviposición y pos-oviposición y la longevidad de éstos. La fecundidad, se estableció separando y contando diariamente los huevos colocados. Teniendo en cuenta las capas de huevos, de las cuales, consta cada postura de *S. frugiperda*, para contabilizar el número de huevos, se halló, inicialmente, el área de cada postura y, luego, se dividió por el área, previamente establecido, que ocupa cada huevo. Con base a los datos de supervivencia y oviposición de cada hembra, se construyeron las gráficas de fecundidad bruta (Mx). El peso larval, se tomó al décimo día, aceptando para los bioensayos con toxinas Cry, la recomendación de Marçon *et al.* (2000), quienes trabajando con *O. nubilalis* consideraron muertas las larvas con un peso menor a 0,1mg. Las pupas, se pesaron a las 24 horas de su formación.

El costo de cada dieta, se determinó basado en el valor comercial de los ingredientes y el consumo de cada larva hasta la formación de la pupa, 1,5mL de dieta según Murúa *et al.* (2003) y la supervivencia.

Las evaluaciones, se establecieron bajo un arreglo de bloques al azar donde las generaciones fueron los bloques y las dietas los tratamientos. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y de pruebas de Tukey, empleando el programa SAS Institute Inc.

Tabla 1. Ingredientes utilizados en la preparación de las dietas artificiales (ICRISAT Diet 3, Shorey & Hale modificada y Greene modificada).

Ingredientes para preparar 500mL	ICRISAT Dieta No. 3	Shorey & Hale (modificada)	Greene (modificada)
Fracción A			
Agua	112mL	200mL	200mL
Frijol blanco			29,2g
Frijol calima		100g	
Harina de garbanzo	75g		
Harina de soja			11,75g
Germen de trigo			23,5g
Levadura de cerveza			14,75g
Levadura	12g	15g	
Leche en polvo			8,9g
Metil paraben Nipagina	1,25g	1g	1,07g
Ácido ascórbico	1,17g	1,5g	1,4g
Ácido sórbico	0,75g	0,5g	0,7g
Tableta multivitamínica	1 tabletas		2 tabletas
Ambramicina	0,04g		
Tetraciclina			0,025g
Fracción B			
Formaldehído (38%)		1mL	1,4mL
Agar	4,37g	6g	5,45g
Agua	200mL	125mL	202mL

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del tiempo de desarrollo de los diferentes estados de *S. frugiperda*, obtenidos en cada una de las dietas y en el alimento natural, durante las tres generaciones, se consignaron en la tabla 2. Se observa que estos parámetros presentaron diferencias en el tiempo de desarrollo del estado de larva y del ciclo total de vida. Los menores tiempos en estado de larva y ciclo, sin importar la generación, se obtuvieron con la dieta ICRISAT y el alimento natural. Estos resultados, confirman la variación en la duración larval, la cual, se puede deber a la calidad y al tipo de alimento, encontrado con anterioridad por Álvarez & Sánchez (1983) y por Murúa *et al.* (2003). Es importante fijarse que la duración del estado larval varía de 13 a 37 días. El tiempo que el insecto pasa en el estado larval es variable. Etcheverry (1957) citado por Sarmento *et al.* (2002), obtuvieron una duración, bajo las mismas condiciones ambientales, entre los 12 a 24 días, mientras que Murúa *et al.* (2003) observaron una duración similar, con la dieta cuya fuente proteica es el frijol blanco y germen

de trigo, al tener un tiempo promedio de $25,85 \pm 0,53$ días. Todos las dietas ofrecidas en esta evaluación mostraron una menor duración, al compararlos con dietas empleadas por Murúa *et al.* (2003), a base de maíz colorado y germen de trigo, transcurrió de $37,4 \pm 6,3$ días y, a base de arroz, fécula de maíz y germen de trigo, duración larval de $43,5 \pm 3,37$ días, indicando, claramente, la influencia de la dieta alimenticia.

También es pertinente mencionar que esta duración depende de las características genéticas, que pueden variar por la existencia de diferentes biotipos o razas, como la que ataca a los cultivos de pastos y arroz y la que ataca al algodón y al maíz (Zenner *et al.* 2007, Busato *et al.* 2006). Estos datos, a su vez, corroboran que la larva puede prolongar o acortar el ciclo, dependiendo del alimento que disponga, como se mencionó, en observaciones de campo por Vélez (1979) citado por Vélez (1985), debido a que el cogollero prolonga su ciclo cuando se alimenta con algodón y lo reduce cuando se alimenta con maíz. El ciclo total del insecto estuvo

Tabla 2. Duración en días de los estados de huevo, larva, pupa, adulto y del ciclo completo del cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*.

Generaciones	Tratamientos	Estado de desarrollo Promedio (Días) \pm DS.				
		Huevo	Larva	Pupa	Adulto	Ciclo
F1	T1	3 \pm 0A (3) [40]	22,29 \pm 2,31A* (18-27) [24]	12,85 \pm 2,08A (10-17) [20]	8,66 \pm 2,95A (4-14) [18]	46,83 \pm 3,50AB (40-51) [18]
	T2	3 \pm 0A (3) [40]	19,55 \pm 1,17A* (19-22) [38]	14,68 \pm 0,96A (13-17) [38]	7,97 \pm 3,39A (0-13) [38]	45,21 \pm 3,62A (36-51) [38]
	T3	3 \pm 0A (3) [40]	23,27 \pm 2,57B* (15-28) [37]	10,94 \pm 1,17A (9-14) [37]	9,24 \pm 4,42A (0-19) [37]	46,45 \pm 5,29BC (34-57) [37]
	T4	3 \pm 0A (3) [40]	30,06 \pm 4,62B* (25-40) [15]	12,57 \pm 0,78A (11-13) [7]	6,42 \pm 3,73A (1-11) [7]	48,71 \pm 5,05C (41-54) [7]
F2	T1	3 \pm 0A (3) [40]	18,87 \pm 2,17A* (16-24) [31]	10,88 \pm 1,21A (8-13) [27]	9,59 \pm 7,30A (0-32) [27]	42,03 \pm 8,09AB (32-64) [27]
	T2	3 \pm 0A (3) [40]	18,97 \pm 2,32A* (16-26) [40]	11,75 \pm 1,12A (10-15) [40]	9,5 \pm 4,39A (0-16) [40]	43,22 \pm 5,76 ^a (30-53) [40]
	T3	3 \pm 0A (3) [40]	26,70 \pm 2,40B* (19-32) [37]	11,79 \pm 0,76A (10-13,5) [32]	8,51 \pm 3,56A (0-12) [32]	49,81 \pm 4,25BC (41,56) [32]
	T4	2 \pm 0A (3) [40]	24,3 \pm 2,93B* (15-27) [20]	13,4 \pm 1,77A (10-17) [10]	11,4 \pm 1,57A (9-13) [10]	51,1 \pm 2,72C (46-54) [10]
F3	T1	4 \pm 0A (3) [40]	18,5 \pm 2,81A* (13-24) [32]	11,13 \pm 1,05A (10-13) [29]	8,19 \pm 2,63A (2-11) [26]	41,84 \pm 3,83AB (33-47) [26]
	T2	4 \pm 0A (4) [40]	17,94 \pm 1,63A* (16-23) [36]	11,23 \pm 1,12A (9-14) [34]	9,05 \pm 3,69A (0-15) [34]	42,08 \pm 3,71A (32-48) [34]
	T3	3 \pm 0A (3) [40]	29,76 \pm 3,80B* (20-37) [34]	12,19 \pm 0,8A (10-14) [26]	7,76 \pm 3,61A (0-11) [26]	52,30 \pm 5,61BC (41-61) [26]
	T4	4 \pm 0A (3) [40]	22,73 \pm 5,18B* (17-31) [8]	12,75 \pm 0,88A (12-14) [8]	10 \pm 2,26A (6-13) [8]	49,12 \pm 4,18C (43-55) [8]

T1: Alimento natural (hojas de maíz); T2: Dieta ICRISAT; T3: Dieta Shorey & Hale modificada; T4: Dieta Greene modificada.

F1: primera generación; F2: segunda generación, F3: tercera generación (de laboratorio).

Los promedios con las mismas letras no presentan diferencias significativas, según prueba de Tukey.

Los valores entre paréntesis expresan el rango y entre los corchetes, el número de unidades experimentales.

* Las generaciones presentaron diferencias significativas $P \leq 0,05$.

determinado por su duración del estado larval, por lo tanto, se considera que la menor duración del ciclo, se dio con la dieta ICRISAT, que corresponde a la dieta de mayor valor nutritivo para la larva.

La duración de larva presentó diferencias significativas entre generaciones ($P=0,02$), debido a que todos los tratamientos, exceptuando el T3, redujeron su duración. Este fenómeno, se puede explicar por la adaptación

paulatina que tiene el insecto a diferentes sustratos alimenticios; en este caso, el tratamiento tres, podría carecer de algún elemento nutricional, que sólo se percibe a medida que avanzan las generaciones.

En el presente trabajo, se comprobó que el número de instares, no solo depende de la temperatura media, sino también de la calidad y del tipo de alimento. Es preciso anotar que no se presentaron más de ocho instares,

mientras que Murúa *et al.* (2003), obtuvieron hasta diez en la dieta a base de arroz, fécula de maíz y germen de trigo, donde, además, la duración de este estado, fue más prolongado. Las larvas en este estudio pasaron por seis a ocho instares, sin importar el sustrato alimenticio, aunque en promedio, durante las tres generaciones, el 89% de las larvas alimentadas con la dieta ICRISAT, presentaron seis instares.

Uno de los datos más importantes para estimar la calidad de dietas es el peso de las larvas, en un momento determinado, y el peso de la pupa, al día siguiente de su formación (Bustillo, 1979). Se asume que un mayor peso, en un momento dado, puede asegurar una mayor supervivencia. Con relación a este parámetro, se observa en la figura 1, que los pesos larvales al décimo día presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0,0001$) y significativas entre generaciones ($P = 0,02$); los mayores, se evidenciaron en todas las generaciones con la dieta ICRISAT. En todas las generaciones, los menores se observaron con la dieta Greene modificada, pero aún estos pesos fueron mayores a 0,1mg, uno de los parámetros para el uso de las dietas en bioensayos con ϵ -endotoxinas (Marçon *et al.* 2000).

En las tres generaciones, los mayores pesos de las pupas, a las 24 horas (Figura 1), se registraron con la dieta ICRISAT, pesos que incluso fueron mayores a los encontrados en el alimento natural. Pantoja *et al.* (1987) encontraron pesos de pupa entre $153,8 \pm 11$ y $197,2 \pm 17,5$ mg, al alimentar las larvas con hojas de arroz. Estos datos son similares a los obtenidos en el tratamiento uno, donde las larvas fueron alimentadas con hojas de maíz, lo cual, sugiere que éste es el peso de una pupa bajo condiciones naturales. La dieta que más se aproxima a estos valores es la del T3, dato muy provechoso, si lo que desea el investigador es tener una dieta que le brinde un peso similar al encontrado en el ambiente natural de la especie. Villacorta & Cobo (1978), encontraron pesos similares, 195mg, al alimentar las larvas con esta dieta. Los pesos encontrados en el tratamiento cuatro fueron menores a los reportados por Busato *et al.* (2006), al alimentar las larvas con la misma dieta, ya que variaron entre 254 ± 2 y 272 ± 2 mg.

Contrario a lo esperado, los periodos de oviposición (Tabla 3) no presentaron diferencias significativas, lo cual, muestra que el alimento de la fase larval no tuvo mayor efecto sobre su duración. Estos datos concuerdan

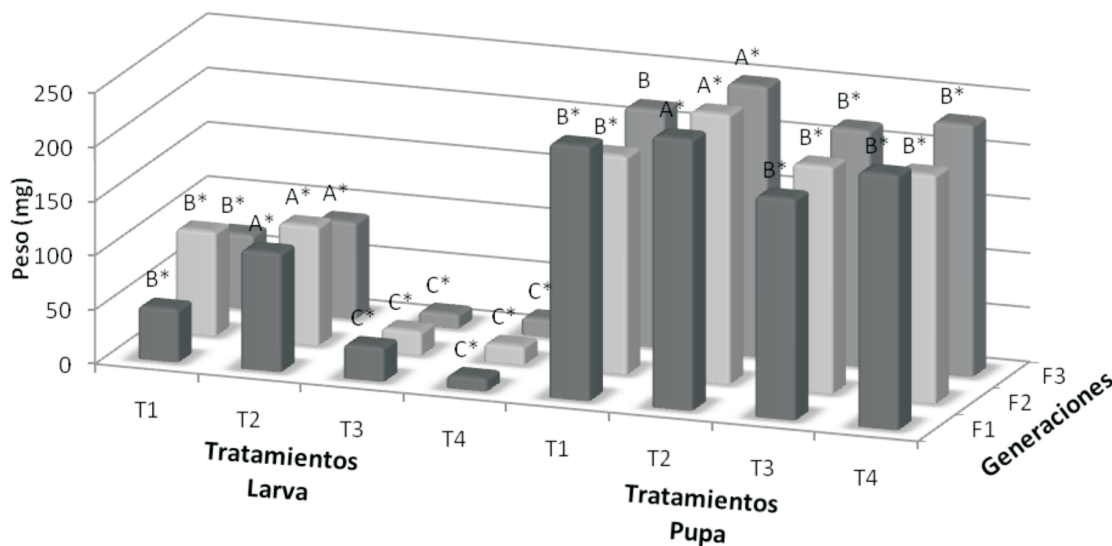


Figura 1. Peso de larvas *Spodoptera frugiperda* al décimo día y de pupas 24 horas después de su formación, en tres dietas merídicas y hojas de maíz, durante tres generaciones.

T1: Alimento natural (hojas de maíz); T2: Dieta ICRISAT; T3: Dieta Shorey & Hale modificada; T4: Dieta Greene modificada.

F1: primera generación; F2: segunda generación, F3: tercera generación (en laboratorio).

Los promedios con las mismas letras no presentan diferencias significativas, según prueba de Tukey

* Las generaciones presentaron diferencias significativas $P \leq 0,05$.

con los obtenidos por Smith (1921). En la tabla 3, también se observa la producción media de huevos por hembra, que tampoco arrojó diferencias significativas entre las tres dietas y el alimento natural; sin embargo, en todos los casos, la producción media de huevos fue menor a la encontrada por Busato *et al.* (2006), quienes contabilizaron 1565 huevos.

La tasa máxima de fecundidad bruta (Figura 2), se registró entre los 36 a 47 días. Exceptuando las hembras del T4 en la tercera generación, se cumplieron con las características: cópula normal, huevos viables en más

del 75% y progenie fértil. La ausencia de posturas de las hembras T4, se debió a la ausencia de cópula, por no coincidir los machos con las hembras y el bajo número de sobrevivientes hasta el estado adulto. Busato *et al.* (2004), encontraron resultados similares, con una tasa máxima de fecundidad, el día 35, para una población procedente de maíz, el día 36, para una población de maíz alimentada con arroz y, de nuevo, el día 35 para una población de arroz alimentada con maíz. Es importante observar que la población evaluada en esta investigación es más fecunda que la población evaluada por Busato *et al.* (2004), al producir más de 160 individuos en un día.

Tabla 3. Periodos de oviposición y fecundidad de *Spodoptera frugiperda* en tres dietas artificiales y alimento natural (hojas de maíz), durante tres generaciones consecutivas.

Generaciones	Tratamientos	PRE (días)	OVIPOSICIÓN (días)	POS (días)	FECUNDIDAD TOTAL
F1	T1	2,75±1,03A (2-4) [8]	3,75±2,25A (1-7) [8]	2,5±2,56A (0-7) [8]	742,9±639,8A (0-1810) [10]
	T2	2,63±0,8 A (2-4) [11]	4,63±1,5 A (2-7) [11]	1,54±1,63A (0-5) [11]	884,4±422,3A (23-1587) [11]
	T3	3±0,67A (2-4) [14]	5±1,88A (2-9) [14]	3±2 ^a (0-6) [14]	905,8±623,7A (0-2305) [16]
	T4	3±1A (2-4) [3]	4±1,1,73A (3-6) [3]	2,66±0,57A (2-3) [3]	672,6±501A (174-1176) [3]
F2	T1	2,37±0,51A (2-3) [8]	6,75±1,38A (4-9) [8]	3,37±3,37A (0-10) [8]	536,3±664,4A (0-2004) [16]
	T2	2,92±0,73A (2-4) [14]	4,57±2,27A (2-10) [14]	4,42±2,50A (0-10) [14]	1008,9±687,4A (0-2306) [15]
	T3	2,23±1,01A (1-4) [13]	3,69±1,49A (1-5) [13]	3,69±1,49A (1-5) [13]	705±515,9A (0-2024) [15]
	T4	2,75±0,95A (2-4) [4]	4±1,82A (2-6) [4]	4,5±1,29A (3-6) [4]	890±568,8A (320-1636) [4]
F3	T1	3,09±0,83A (2-4) [11]	4,36±1,62A (1-7) [11]	1,36±1,50A (0-4) [11]	614,7±470,2A (0-1407) [14]
	T2	2,63±0,67A (2-4) [11]	5,09±0,7A (4-6) [11]	2,36±1,56A (0-5) [11]	1008,6±788,4A (0-2294) [15]
	T3	2,44±0,72A (2-4) [9]	5±1,32A (2-6) [9]	1,66±1 ^a (0-3) [9]	1004,8±681,8A (0-1950) [11]
	T4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

T1: Alimento natural (hojas de maíz); T2: Dieta ICRISAT; T3: Dieta Shorey & Hale; T4: Dieta Greene.

F1: primera generación; F2: segunda generación, F3: tercera generación (de laboratorio).

Los promedios con las mismas letras no presentan diferencias significativas, según prueba de Tukey.

Los valores entre paréntesis expresan el rango y entre los corchetes, el número de unidades experimentales.

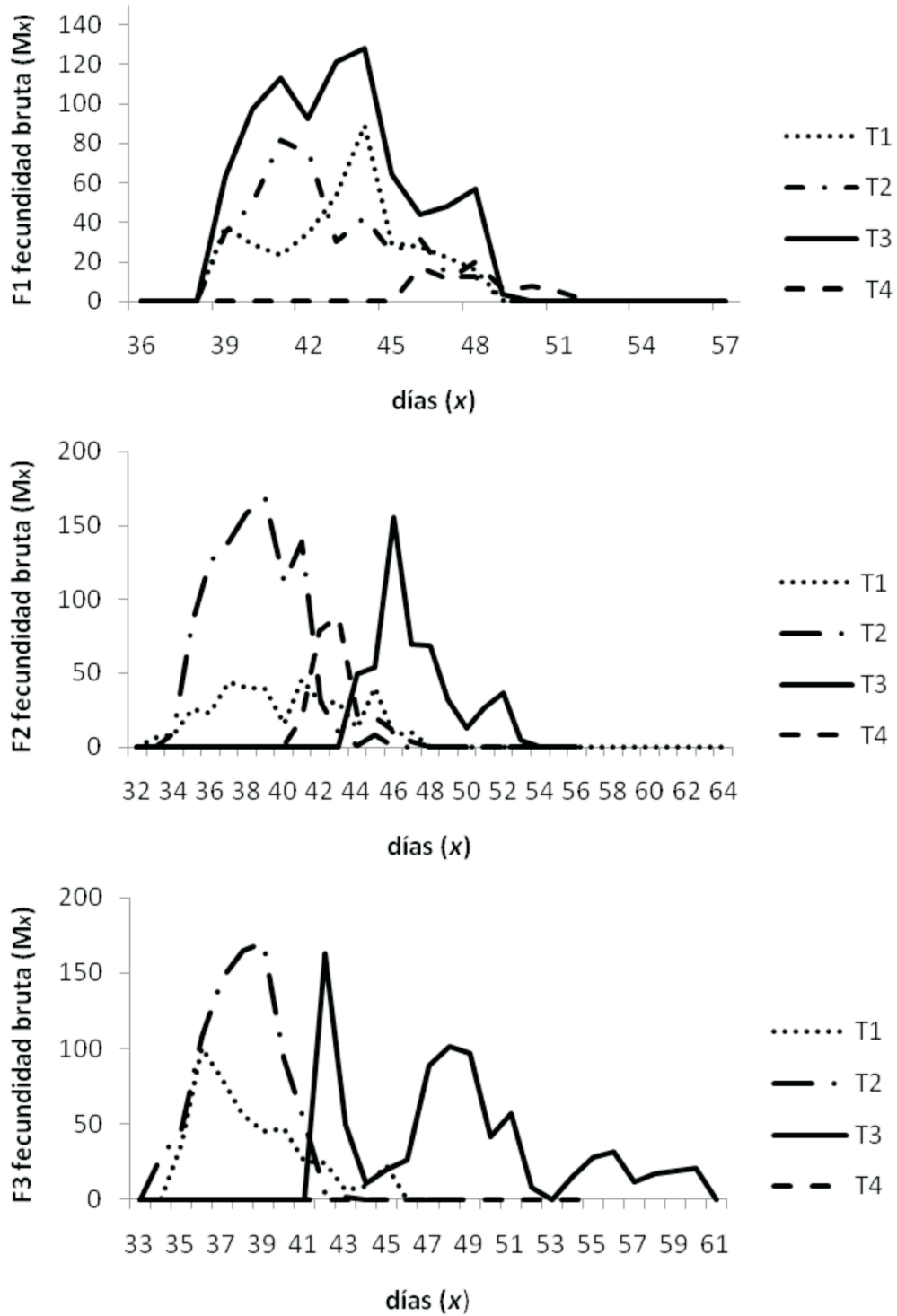


Figura 2. Fecundidad bruta (Mx), para *Spodoptera frugiperda*, en tres dietas artificiales y alimento natural (hojas de maíz), durante tres generaciones consecutivas.

T1: Alimento natural (Hojas de Maíz); T2: Dieta ICRISAT; T3: Dieta Shorey & Hale modificada; T4: Dieta Greene modificada.
 F1: primera generación; F2: segunda generación, F3: tercera generación (en laboratorio).

Con relación a las curvas de supervivencia (Figura 3), se observa que los tratamientos dos y tres describen una curva idealizada tipo I, de Deevey (1947) citado por Ravinovich (1980), en la primera generación, lo que indica que las poblaciones tuvieron una probabilidad constante y cercana al 100% de sobrevivir durante todos los estados de desarrollo, hasta prácticamente el final, ocurriendo la mortalidad en el estado adulto. Este comportamiento es el ideal, si el objetivo es una cría masiva o su empleo en bioensayos y, solo es posible encontrarlo, con el uso de una dieta y bajo condiciones controladas, ya que la dieta permite la regulación en nutrición del insecto y su aislamiento del ambiente natural. Lo anterior, contrario a lo obtenido en los tratamientos uno y cuatro, donde las curvas se aproximan a curvas de tipo II y III, las cuales, indican que la mortalidad se puede producir en cualquier estado de desarrollo o que la mayor mortalidad, se presenta en estados juveniles, respectivamente, algo indeseable. La mortalidad en estos casos ocurrió, en su mayoría, en el estado larval, en los instares próximos a la formación de la pupa y estuvo determinada por dos factores importantes: la contaminación de la dieta, por *Penicillium*, causando un efecto anti-alimentario y la no adaptación del insecto a los diferentes sustratos.

En cuanto a los ingredientes, la dieta más costosa es la de Greene modificada 8.600 pesos colombianos/500mL de dieta (US\$1,00=\$2300 pesos colombianos), haciéndola un 48% más costosa que la de Shorey & Hale modificada y en un 41% más cara que la dieta

ICRISAT. Es importante mencionar que el agar, en todos los casos, es el ingrediente con mayor participación en los costos. Por esto, trabajos como el de Abbasi *et al.* (2007), evaluaron con resultados positivos, el almidón de yuca como reemplazo, logrando reducir los costos en más del 50%.

Además, se debe tener en cuenta el número de ingredientes y su disponibilidad en el mercado local y, además, la ejecución de algún proceso, como moler el frijol, el garbanzo, la soya, o triturar el germen de trigo, lo que incrementa el costo por el aumento en la mano de obra. De allí, no solo es más costosa la dieta Greene, en cuanto al precio de los ingredientes, sino también por la consecución de todos los ingredientes y la adecuación previa del frijol blanco, harina de soya y la trituración del germen de trigo.

Los costos de producción de 100 larvas de III instar, de 100 pupas y 10.000 huevos, donde se tuvo en cuenta la supervivencia y el consumo de dieta de las larvas hasta este instar, se encuentra en la Tabla 4. La cantidad de dieta que se tomó fue 0,3mL/larva, reportada por Murúa *et al.* (2003). El menor costo, se evidenció con la dieta Shorey & Hale modificada, sin embargo, no presenta mayores diferencias con relación a la dieta ICRISAT.

El estado de pupa corresponde a otro parámetro importante para la producción de machos estériles (Alan & Robert, 1996). Para este caso, se tuvo en cuenta la

Tabla 4. Costo en pesos colombianos de las dietas para la producción de 100 larvas instar III, de 100 pupas y de 10.000 huevos de *Spodoptera frugiperda*.

	% de supervivencia			# larvas necesarias para			# adultos Hembra	Costo dieta		
	L	P	H	L	P	H		L	P	H
T2	98	93	83	102	107	13	11	355	1863	226
T3	96	79	70	104	126	18	12	316	1912	273
T4	74	21	20	135	476	100	20	696	12269	2577

En la columna número de larvas, se indica la cantidad de larvas que se requiere criar, para producir 100 larvas instar III, 100 pupas y 10.000 huevos.

El porcentaje de supervivencia, se refiere al acumulado de supervivencia.

\$2.300 pesos colombianos equivalen aproximadamente a US\$1,00, según el tipo de cambio de enero de 2009.

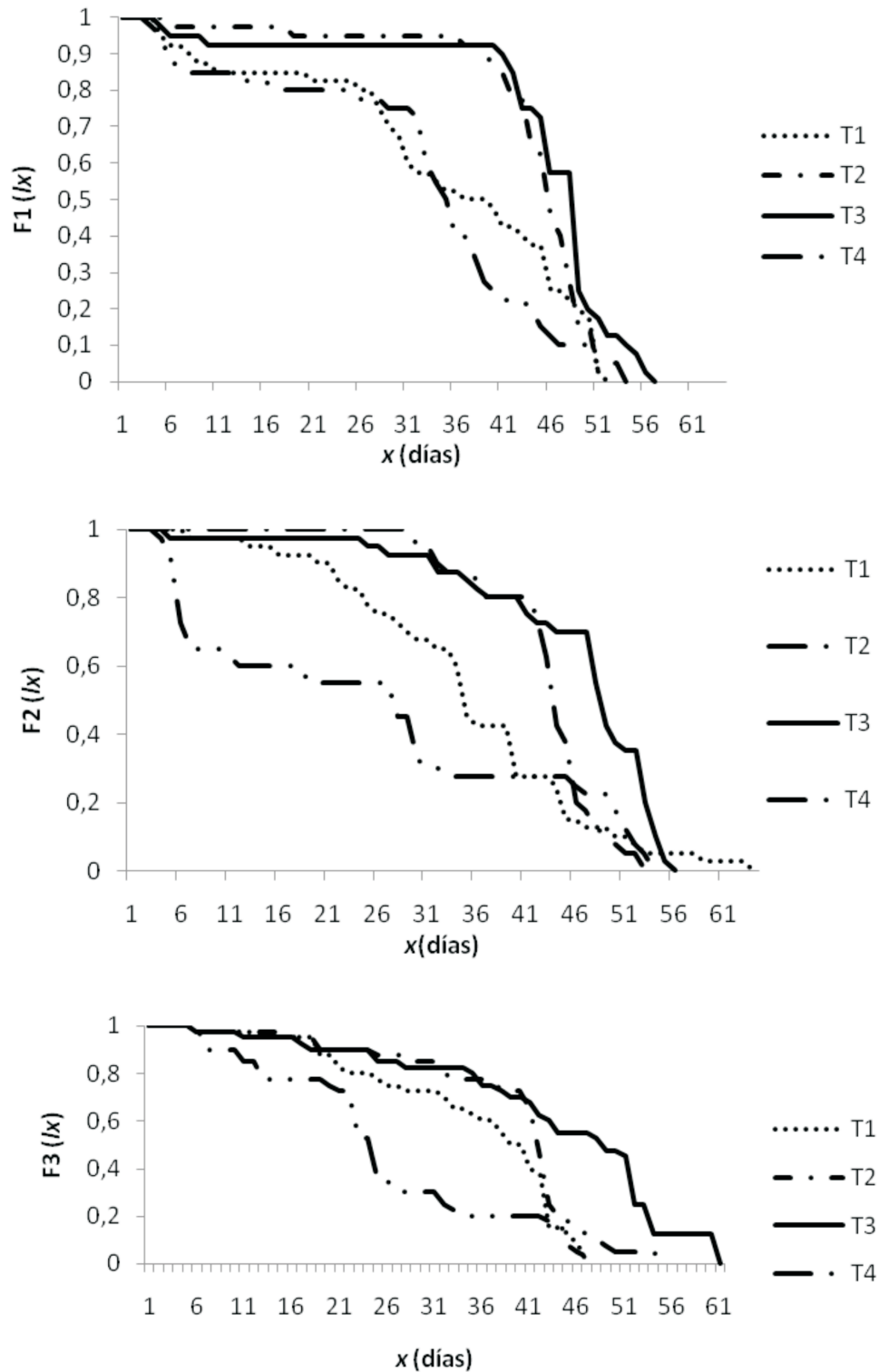


Figura 3. Curvas de supervivencia para *Spodoptera frugiperda*, en tres dietas artificiales y alimento natural (hojas de maíz), durante tres generaciones consecutivas. T1: Alimento natural (Hojas de Maíz); T2: Dieta ICRISAT; T3: Dieta Shorey & Hale modificada; T4: Dieta Greene modificada.

F1: primera generación; F2: segunda generación, F3: tercera generación (en laboratorio).

supervivencia hasta el estado de pupa y el consumo larval, el cual, es de 1,5mL/larva, según Murúa *et al.* (2003). El menor costo para la producción de 100 pupas, se logró con la dieta ICRISAT, menor en un 2,63%, respecto a la dieta de Shorey & Hale y 5,58 veces en relación a la dieta Greene.

Para el cálculo de los costos de las dietas para la producción de 10.000 huevos, se tuvo en cuenta la cantidad de alimento consumido por las larvas, hasta la formación de la pupa, 1,5mL, según Murúa *et al.* (2003) y la fecundidad de las hembras. En este caso, el menor costo, también se presentó con la dieta ICRISAT, debido a la baja mortalidad observada en esta dieta, principalmente.

CONCLUSIONES

S. frugiperda, se desarrolló satisfactoriamente sobre las dietas evaluadas; sin embargo, se observaron diferencias a nivel de supervivencia, de duración, de número de instares larvales y de pesos de larva y pupa y de costos. De las dietas evaluadas en ICRISAT Diet 3, el desarrollo de los individuos fue mejor, además, corresponde a la más económica. Para futuros bioensayos, el grupo de investigación empleará, por lo tanto, esta dieta.

Agradecimientos: Al grupo de investigación "Fitosanidad" de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A y a COLCIENCIAS, por la cofinanciación del presente trabajo. Al doctor José Alonso Álvarez Rodríguez (Q.E.P.D.), por su tutoría, idea inicial y enseñanzas. A Óscar Delgado, Corpoica, La Selva (Rionegro, Antioquia), por su colaboración en el análisis de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBASI, B.; AHMED, K.; KHALIQUE, F.; AYUB, N.; LIU, H.; KAZMI, S.; AFTAB, M. 2007. Rearing the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, on a tapioca-based artificial diet. *J. Insect Sci.* 7:35-42.
- ALAN, C.B.; ROBERT, T.S. 1996. El Método de la Liberación de Insectos Estériles y Otras Estrategias de Control Genético. Radcliffe's El texto mundial de MIP. Universidad de Minnesota. Disponible desde Internet en: <http://ipmworld.umn.edu/cancelado/Spchapters/bartlettSp.htm> (con acceso el 02/06/2008).
- ÁLVAREZ, J.A.; SÁNCHEZ, G. 1983. Variación en el número de instares de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Rev. Col. de Entomol.* 9:43-49.
- ÁLVAREZ, J.A. 1991. Reseña histórica y aspectos bioecológicos del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). En: Zuluaga, J. L.; Muñoz, G. eds. *Memorias Seminario Spodoptera frugiperda en sorgo, maíz y otros cultivos.* Socolen-Cis. Calí, Colombia. p.12-16.
- BOWLING, C.C. 1967. Rearing of two lepidopterous pests of rice on a common artificial diet. *Ann. Ent. Soc. Am.* 60(6):1215-1216.
- BUSATO, G.R.; GRÜTZMACHER, A.D.; GARCÍA, M.S.; GIOLO, F.P.; ZOTTI, M.J.; MAGALHAES, T.R. 2004. Tabela de vida de fertilidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. SMITH, 1797) (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) em folhas de milho e arroz irrigado. *Rev. Brás. Agrociencia.* 10(4):449-455.
- BUSATO, G.R.; GARCÍA, M.S.; LOECK, A.E.; ZART, M.; NUNES, A.M.; BERNARDI, O.; ANDERSSON, F.S. 2006. Adequação de uma dieta artificial para os biótipos "Milho" e "Arroz" de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bragantia, Campinas.* 65(2):317-323.
- BUSTILLO, A. E. 1979. La nutrición en insectos. *Sociedad Colombiana de Entomología. Medellín. Boletín de Divulgación. Número 2.* 43p.
- CRUZ, I.; WAQUIL, J.M.; VIANA, P. A. 1995. Pragas: diagnóstico e controle. *Arquivo do Agrônomo.* 2:10-14.
- GALLEGO, F.L. 1946. Plagas del maíz *Laphygma frugiperda* S. and A. Universidad Nacional de Colombia eds (Medellín). *Estudio Fundamental No. 5.* 60p.
- GARCÍA, M.S.; BUSATO, G.R.; GIOLO, F.P.; MANZONI, C.; BERNARDI, O.C.; ZART, M.; NUNES, A.M. 2006. Tabela de vida de fertilidade de *Helicoverpa*

- zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais. Rev. Bras. Agrociencia (Pelotas). 12(1):51-55.
- GREENE, G.L.; LEPLA, N.C.; DICKERSON, W.A. 1976. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. J. Econ. Entom. Lanham. 69(4):488-497
- GRÜTZMACHER, A.D.; MARTINS, J.F.; CUNHA, U.S. 2000. Da Insetos-pragas das culturas do milho e sorgo no agroecossistema de várzea. In: PARFITT, J.M.B. Produção de milho e sorgo em várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. p.87-102.
- KOGAN, M. 1998. Integrated pest management: historical perspective and contemporary development. Ann. Rev. Entomol. 43:243-270.
- MARÇON, P.C.R.G.; SIEGFRIED, B.D.; SPENCER, T.; HUTSCHISON, W.D. 2000. Development of diagnostic concentrations for monitoring *Bacillus thuringiensis* resistance in european corn borer (Lepidoptera: Cambrinae). J. Econ. Entomol. 93(3):925-930.
- MURÚA, M.G.; VIRLA, E.G.; DEFAGÓ, V. 2003. Evaluación de cuatro dietas para la cría de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) destinada a mantener poblaciones experimentales de himenópteros parasitoides. Bol. San. Veg. Plagas (Argentina). 29:43-51.
- PANTOJA, A.; SMITH, C.M.; ROBINSON, J.F. 1987. Development of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), strains from Louisiana and Puerto Rico. Environ. Entomol. 16(1):116-119.
- PARRA, J.R. 2001. Técnicas de criação de insetos para programas de controle biológico. Piracicaba: ESALQ 134p.
- RAVINOVICH, J.E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. CECSA. Comp. Edit. Continental. México. p.105-135.
- SARMENTO, R.A.; AGUIAR, R.W.; AGUIAR, R.A.; VIEIRA, S.M.; OLIVEIRA, H.G.; HOLTZ, A.M. 2002. Revisão da Biologia ocorrência e controle de *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA, NOCTUIDAE) em milho no Brasil. Bioscience J. 18(2):41-48.
- SHOREY, H.H.; HALE, R.L. 1965. Mass-Rearing of the larvae of nine Noctuid species on simple artificial medium. J. Econ. Entomol. 58:522-524.
- SMITH, B.R. 1921. Observations on the fall armyworm (*Laphygma frugiperda* Smith & Abbot) and some control experiments. J. Econ. Entomol. 14(4):300-308.
- SOUZA M.L., A.; ÁVILA J., C.; PARRA R.P., J. 2001. Consumo e utilização de alimento por *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lepidoptera:Pyralidae), *Heliothis virescens* (Fabr.) e *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera:Noctuidae) em duas temperaturas. Neotropical Entomology 30(1):11-17.
- VÉLEZ, R.A. 1985. Notas sinópticas de entomología económica colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. p.145-149.
- VILLACORTA, A.; COBO DE MARTÍNEZ, L.S. 1978. Efecto del modo de preparación de la dieta sobre el crecimiento y desarrollo de *Spodoptera frugiperda*. ICA (Colombia). p.96-103.
- ZENNER DE POLANÍA, I.; ÁLVAREZ, J.A.; ARÉVALO, H.M.; MEJÍA R.C.; BAYONA, M.R. 2008. Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. Rev. Col. Entomol. 34(1):41-50.
- ZENNER DE POLANÍA, I.; ARÉVALO, H.M.; MEJÍA C., R. 2007. El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) y algunas plantas transgénicas. Rev. Col. Cienc. Hortícolas. 1(1):103-113.

Recibido: Enero 5 de 2009

Aceptado: Abril 14 de 2009

PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (*Egeria densa*) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FÚQUENE

PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZERS WITH ELODEA (*Egeria densa*) PRESENT ON THE FUQUENE LAGOON

Iveth Caro Lara¹
Zulma Romero Otálora¹
Rodrigo Lora Silva²

RESUMEN

La elodea (*Egeria densa*), un problema para lagos y lagunas en Colombia, puede ser materia prima para la producción de abonos orgánicos de bajo costo y de buena calidad. Para emplearla en la obtención de abonos orgánicos, se elaboraron fertilizantes a partir de seis formulaciones, así: 1) Elodea 50%; cal dolomítica 20%; levadura 5%; melaza 5%; gallinaza 20%. 2) Elodea 60%; cal dolomítica 10%; levadura 3%; melaza 8%; gallinaza 19%. 3) Elodea 70%; cal dolomítica 15%; levadura 2%; melaza 3%; gallinaza 10%. 4) Formulación 1 + lombricompuesto; 5) Formulación 2 + lombricompuesto y 6) Formulación 3 + lombricompuesto. Para cada uno de los abonos, se determinó el contenido total de N, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, carbón oxidable total, coliformes y relación C:N. Bajo condiciones de invernadero, se evaluó el efecto de los abonos en un Andisol sobre el cultivo de lechuga e igualmente, se monitoreó la temperatura y el pH a través del periodo de producción de los abonos. En general, el contenido de los elementos analizados

y la relación C:N cumplen los requisitos para estos abonos. Hubo efecto significativo del contenido entre formulaciones y en el bioensayo para rendimiento entre formulaciones y dosis, siendo la formulación tres la de más alto rendimiento. De igual manera hubo efecto significativo de fuentes y de dosis en el contenido de N-P-K en la lechuga. El pH de los seis abonos fue de 7,00 a 7,30, considerado apropiado. Se demostró la factibilidad de producción de abonos orgánicos de buena calidad a partir de elodea.

Palabras clave: Fertilización orgánica, compostación, lombricompuesto, elodea, bioensayo.

SUMMARY

Elodea (*Egeria densa*), a problem in lakes and lagoons of Colombia, could be a raw material to produce cheap and good quality organic fertilizers. To evaluate the elodea for organic compost production, fertilizers were elaborated with six formulations: 1) Elodea 50%; dolomitic lime 20%; yeast 5%; melasse 5%; hene manure 20%. 2) Elodea 60%; dolomitic lime 10%; yeast 3%; melasse 8%; hene manure 19%. 3) Elodea 70%; dolomitic lime 15%; yeast 2%; melasse 3%; hene manure 10%. 4) Formulation 1 + earthworm fertilizer. 5) Formulation 2 + earthworm fertilizer. Formulation y 6) Formulation 3 + earthworm fertilizer. For each fertilizer the total content of N, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, total oxidised carbon, coliforms and C:N were analyzed. Under greenhouse conditions the effect of the fertilizers were evaluated in an Andisol and with

¹ Químico Industrial. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales - Corporación Tecnológica de Bogotá, Cra.21 No.53D – 35. Bogotá, D.C.

² Ingeniero Químico, M.Sc. Docente-Investigador. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A rodrigorasilva@yahoo.com Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 54-37, Bogotá, D.C.

lettuce as indicator. During production of the fertilizer temperature and pH were observed. The results showed significant effect of the elements among organic fertilizer. The composition of these fertilizers was according to the requisites for Colombian Organic Fertilizers. The greenhouse experiment showed significant effect of sources and levels on yield and N-P-K content of the lettuce. In general, the formulation three was the best. The pH of the fertilizers varied from 7.0 to 7.3, considered adequate. The feasibility to produce good quality organic fertilizers from elodea was demonstrated.

Key words: Organic fertilizer, compost, earth worm manure, elodea, bioassay.

INTRODUCCIÓN

La laguna de Fúquene tiene gran importancia para las poblaciones, quienes dependen del recurso hídrico para su alimentación, riego de los cultivos, agua para consumo y, en general, para resolver parte de sus necesidades. Actualmente, la cuenca de la laguna presenta problemas socioeconómicos y ambientales, tales como pérdida de volumen del cuerpo de agua; proliferación de plantas acuáticas (eutrofización); arrastre del suelo por la lluvia, debido a prácticas agropecuarias y mineras inadecuadas, que genera sedimentación en la laguna; pesca y cacería indiscriminada y contaminación del espejo del agua causada, principalmente, por la invasión de plantas acuáticas que crean problemas al ecosistema de la laguna, como la reducción de la capacidad de embalse y el deterioro de la calidad del agua por falta de oxígeno, por la descomposición del material vegetal que, puede producir sustancias tóxicas como el ácido sulfhídrico (JICA, 1999).

La laguna, se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, a los 50°28'12" de latitud Norte y 73°44'14" de latitud Oeste a 2543msnm, en la jurisdicción de los municipios de Fúquene, Ráquira, Guachetá, San Miguel de Sema y Susa (JICA, 1999; Valderrama & Mosquera, 1979; CAR, 2000). El río Ubaté, luego de reunirse con tributarios como Susa, Cucunubá y Lenguazaque, alimentan la laguna. Posee una área aproximada de 30km² y una área de drenaje de 992km²; la temperatura promedio es de 13°C, precipitación 638mm, con una humedad relativa promedio mensual de 75%. En cuanto al estado de conservación de la

laguna es posible observar en el tiempo un aumento de la invasión de plantas acuáticas, las cuales, en la actualidad, ocupan más del 70% de ésta, siendo el buchón de agua y la elodea las especies predominantes. En cuanto a los contaminantes principales, las aguas residuales vertidas sobre el río Ubaté y las zonas altas de la cuenca que caen por escorrentía a la laguna permiten la presencia de ácido sulfhídrico, generando problemas ambientales importantes. Las consecuencias del aumento de las plantas acuáticas, se reflejan en una reducción en la capacidad de almacenamiento de la laguna, un deterioro de la calidad del agua por eutrofización y anoxia, un bloqueo de la entrada (caños) y salida de agua (río Suárez) (JICA, 1999).

La elodea pertenece a la familia Hydrocharitaceae y se desarrolla con facilidad en aguas dulces y niveles adecuados de nutrientes (Mondragón & Parada, 1996). Por su competitividad desplaza a las especies nativas y prolifera de manera no deseada. Su contenido de nutrientes es alto y la planta se puede emplear para la producción de abonos y de forrajes (CAR, 2000; Mondragón & Parada, 1996; Nacif *et al.* 2007). Un exceso de hierro puede disminuir su población (Pinochet *et al.* 2004) y, posiblemente, la alta radiación solar logra eliminar la planta (Ramírez *et al.* 2006). Una contaminación por exceso de elementos menores la puede igualmente afectar (Lora, 2007).

Los abonos orgánicos suministran algunos elementos esenciales y mejoran algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Correa & García, 2000; Gómez, 2000; Rosas, 2002; Zapata, 2005). En el proceso de compostaje, se libera energía en forma de calor (Smith, 1997) y la elevación de la temperatura ocurre durante varias fases (Peixoto, 1988): mesofílica, termofílica, de enfriamiento y de maduración. De acuerdo a varios autores, el contenido óptimo de humedad durante el compostaje es de 40 a 60% (Cegarra, 1994; Wilson *et al.* 1983; Correa & García, 2000).

El suministro de aire en la pila de compostaje provisiona oxígeno a los microorganismos y elimina el anhídrido carbónico (Jacobsen, 1994). Mediante el volteado continuo de la pila de materiales durante el proceso, se produce una aireación más homogénea (González, 1995). En la etapa inicial, el pH es de 5 a 6 pero, posteriormente, se incrementa hasta valores de 7 a 8 y se estabiliza alrededor de 7,0 al final (Cegarra, 1994).

El mismo autor, indica que en relación a las materias orgánicas empleadas en la producción de compost es recomendable que contengan una relación C:N de 25:35.

La Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) (LRC) es la más conocida y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo. La humedad adecuada para su desarrollo es del 60-70%, el rango de temperatura es de 12-30°C, el pH óptimo es de cinco a ocho, la aireación es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices; el alimento principal es materia orgánica parcial o totalmente descompuesta, constituida por residuos vegetales, estiércoles, frutas, tubérculos y restos de aserraderos. El lombricompost es un fertilizante orgánico de buena calidad, cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da a lugar a fermentación o putrefacción. Se debe tener en cuenta que las temperaturas elevadas, los niveles de pH extremos, al igual que los gases tóxicos que emanan del estiércol durante los procesos de fermentación son letales para las lombrices, por lo cual, el material orgánico, empleado como alimento, debe estar total o parcialmente descompuesto (García & Solano, 2005).

Para saber la calidad y caracterizar un producto orgánico para uso agrícola como fertilizante, el INCONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas) en compañía del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) diseñaron métodos de ensayo para la determinación cuantitativa de macronutrientes, de micronutrientes y de otros en abonos orgánicos o fertilizantes. La norma NTC 5167 (INCONTEC, 1997b) tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas del suelo. De acuerdo con esta norma, los parámetros a caracterizar son: humedad máxima 20%, para materiales de origen animal y de máximo 35%, para material vegetal; carbono orgánico oxidable mínimo 15% y, N, P₂O₅ y K₂O totales cada uno mayor de 1%. Los parámetros a garantizar en base húmeda son: humedad máxima (%), N total (%) y otros como P₂O₅, carbono orgánico oxidable y K₂O.

El objetivo de la presente investigación fue producir seis abonos orgánicos a partir de la elodea presente en la laguna de Fúquene y evaluar estos materiales en un bioensayo, bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la población de Susa (Cundinamarca), a 2560msnm, se produjo el compost y el lombricompost y, además, se realizó el bioensayo, bajo condiciones de invernadero, para evaluar los abonos orgánicos producidos. Las materias primas empleadas fueron: elodea (*E. densa*), de la laguna de Fúquene; cal dolomítica, con 55% de CaCO₃ y 33% de MgCO₃; gallinaza de jaula de gallina ponedora; levadura de uso en panadería, que ayuda a degradar proteínas complejas y carbohidratos y producen sustancias bioactivas como vitaminas, hormonas y enzimas y, finalmente melaza o melote, procedente de la fabricación de panela, cuya función es activar el proceso de descomposición. La elodea recolectada, se secó a temperatura ambiente durante 24 horas y, posteriormente, fue reducida a un tamaño de 2cm. Para el montaje de las pilas de compostaje, se emplearon cajones de madera de 2m³ de capacidad, colocados en el piso del invernadero, aproximadamente, a 30cm de altura; como se obtuvieron tres abonos orgánicos por compostaje tipo Bocashi y tres abonos orgánicos tipo lombricompost, se procedió así:

Formulaciones 1,2,3 por compostación: En los cajones de madera construidos, se montaron las formulaciones por duplicado agregando capas sucesivas de cada materia prima. Formulación 1. Capas: 1) Elodea 25kg; 2) Cal dolomítica 10kg; 3) Levadura 2,5kg; 4) Gallinaza 10kg; 5.) Melaza 2,5kg; 6) Elodea 25kg; 7) Cal dolomítica 10kg; 8) Levadura 2,5kg; 9) Gallinaza 10kg y 10) Melaza 2,5kg. Formulación 2. Capas: 1) Elodea 30kg; 2) Cal dolomítica 5kg; 3) Levadura 1,5kg; 4) Gallinaza 9,5kg; 5) Melaza 4kg; 6) Elodea 30kg; 7) Cal dolomítica 5kg; 8) Levadura 1,5kg; 9) Gallinaza 9,5kg y 10) Melaza 4kg. Formulación 3. Capas: 1. Elodea 35kg; 2) Cal dolomítica 7,5kg; 3) Levadura 1kg; 4) Gallinaza 5kg; 5) Melaza 1,5kg; 6) Elodea 35kg; 7) Cal dolomítica 7,5kg; 8) Levadura 1kg; 9) Gallinaza 5kg y 10) Melaza 1,5kg.

Al final, se homogenizó la mezcla de cada cajón y se determinó el pH y la humedad inicial. Cada cinco días, se hicieron volteos para un total de cinco a ocho vueltas por pila; la temperatura y el pH, se midieron cada cinco días y la humedad, se mantuvo entre 40-60%, en cada formulación. Una vez maduros los compost (día 65), se extendieron y voltearon hasta obtener una humedad menor de 35%. Se molieron, se tamizaron, se empacaron y se sellaron en bultos. Se tomaron

muestras por duplicado de cada compost para realizar su análisis químico y el restante, se guardó para realizar el bioensayo. De acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC, 1997a) y los procedimientos implementados en el ICA, se realizó para cada compost el análisis de: N total (NTC-370); P total (NTC-234); K total (NTC-202); Ca y Mg (NTC-1369) (ICONTEC, 1996, 1997a; b; 1998, 2001); carbono orgánico oxidable total (NTC-5167); coliformes totales (LANIA-agrobiológicos). Para la producción de los tres lombricompuestos (formulaciones 4, 5 y 6), se adecuaron las camas, con una profundidad de 40cm y 1m² para proporcionar las condiciones adecuadas de espacio y de aire, para así garantizar el buen desempeño de la lombriz. El piso del cajón, se cubrió con lona verde para evitar el escape de las lombrices. Para la preparación de las formulación 1, 2 y 3, se llevó a cabo el procedimiento obteniéndose los sustratos para los tres lombricompuestos. La producción de cada formulación, se ejecutó por duplicado. Durante 40 días, se monitoreó el pH y la temperatura de cada muestra. La humedad, se ajustó adicionando una mezcla al 10% de agua y melaza. Obtenidas las condiciones requeridas de humedad y de temperatura, se agregaron los sustratos a su respectiva cama, esparciéndolos homogéneamente y, sobre éstos, se agregaron 4kg de LRC. Posteriormente, se cubrió con plástico negro, para evitar el contacto directo de la luz, debido a la fotosensibilidad de la lombriz (García & Solano, 2005) y para protegerlas de depredadores. La humedad, se mantuvo aproximadamente en 60%, con el fin de garantizar el buen desempeño de la lombriz. Una vez la estructura del sustrato se tornó granular y de coloración negruzca, a los cinco días siguientes, se suspendió la adición de agua para inducir un estado de estrés en la lombriz, se amontonó el lombricompuesto y, en el espacio vacío, se adicionó nuevo alimento; en los tres días siguientes, las lombrices migraron hacia el nuevo sustrato, dejando libre el producto. El producto recogido, se extendió sobre una lona verde, para retirar el exceso

de humedad; se pasó por una malla y se empacó en sacos plásticos, tomando muestras por duplicado para su análisis y el resto para el bioensayo. El contenido de N total, P total, K total, Ca y Mg totales y carbono orgánico oxidable total, se hizo de acuerdo con la metodología empleada para los abonos 1-2-3.

Bioensayo. En el invernadero, se evaluó la respuesta de la lechuga Simpson a la aplicación de los abonos orgánicos. El diseño estadístico empleado fue el de bloques al azar con dos repeticiones en bolsa negra plástica para 2kg de suelo derivado de cenizas volcánicas de baja fertilidad, con 75% de saturación de aluminio. Los tratamientos fueron 0, 2, 4, 6 y 8t/ha de cada abono. En cada bolsa, se sembraron cuatro semillas de lechuga y el suelo se mantuvo a capacidad de campo. A los diez días de la germinación, se dejó una planta por repetición. Posiblemente, debido a las características químicas del suelo, como 75% de saturación de aluminio intercambiable y bajos contenidos de nutrimentos, no hubo germinación en el testigo a fertilización (Lora *et al.* 2006). A los 70 días de la germinación, se hizo la cosecha por unidad experimental y se determinó el rendimiento en base húmeda. En el laboratorio, se secó el material a 75°C, se molió y se determinó el contenido de N, P y K total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la elodea y la gallinaza empleadas, la Tabla 1 muestra la humedad, densidad, nitrógeno, fósforo, potasio y carbono orgánico. La composición de los materiales en base seca es casi similar, sobresaliendo los contenidos, relativamente elevados, de nitrógeno, de fósforo y de carbono orgánico oxidable total. Los dos materiales son básicamente las fuentes de nitrógeno, de fósforo y de potasio. Por su parte, el calcio y el magnesio son aportados, principalmente, por la cal dolomítica y, además, por la elodea y la gallinaza.

Tabla 1. Composición de la elodea y gallinaza utilizadas, base seca.

Material	N-Total	P ₂ O ₅ Total	K ₂ O Total	Carbono orgánico total	Humedad	Densidad
Elodea	3,90%	2,28%	1,50%	28,90%	90%	0,13
Gallinaza	4,60%	2,10%	1,50%	34,10%	3,50%	0,33

En la Tabla 2, se observa el efecto de las seis formulaciones de abonos en su contenido de N, P, K, Ca, Mg, carbono orgánico oxidable total y de la relación C:N. El contenido de N, P_2O_5 , K_2O para los seis abonos orgánicos cumple los requisitos específicos para Abonos Orgánicos, según la NTC-5167 en Colombia. Para carbono orgánico oxidable total, con excepción de las formulaciones tres y seis, se cumple con el requisito de un contenido mínimo a 15%. Básicamente, el carbono es aportado por la elodea y la gallinaza y, en menor cantidad por la melaza. El carbono es aprovechado por los microorganismos, cuya actividad, bajo condiciones aeróbicas, esta articulada al proceso de compostación y de lombricompostación (Smith, 1997; Rosas, 2002; Muñoz, 1994; García & Solano, 2005). Los datos muestran la importancia de las fuentes utilizadas y de la proporción de estas en la formulación (Melgarejo, 1997; Burbano, 1994; Barrera, 2003). El contenido de

N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO y carbono presentó efecto significativo entre los abonos, debido, probablemente, al contenido y relación de los componentes empleados. Referente a la relación C:N, se presentaron valores entre 8,9 y 11,80, lo que significa una buena mineralización por parte de los microorganismos y actividad por parte de la lombriz roja californiana (Romero, 1999; Arango & González, 1999). Respecto a organismos contaminantes, el análisis indicó que en los seis abonos no aparecieron unidades formadoras de colonias de coliformes totales, lo cual, es importante desde el punto de vista de salud del consumidor de los cultivos que utilicen los abonos orgánicos producidos. Se puede anotar que por su composición, los abonos orgánicos producidos se pueden considerar adecuadas, ya que muestran contenidos de nutrientes más elevados que muchos de los reportados en la literatura (Piraneque *et al.* 2005).

Tabla 2. Efecto de las formulaciones de abono orgánico en su contenido de N-P-K-Ca-Mg-C oxidable - Coliformes y relación C:N *.

Abonos Orgánicos Formulación	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	MgO (%)	CaO (%)	Carbono Orgánico (%)	Coliformes (UFC)	C:N
1	1,70 a	2,54 a	2,88 a	3,25 a	7,00 a	15,16 a	0	8,90
2	1,60 b	2,96 b	3,40 b	3,68 b	8,43 b	18,34 b	0	11,50
3	1,50 c	2,66 c	3,06 c	2,50 d	5,71 c	13,30 c	0	8,90
4	1,40 d	2,29 d	2,26 d	2,63 d	4,11 d	15,14 a	0	10,80
5	1,51c	2,01 e	2,31 e	2,15 c	5,43 e	15,64a	0	10,40
6	1,33 f	2,00 e	2,30 e	2,36 d	5,66 c	12,05 d	0	9,10

* Números con las mismas letras no presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan $p < 0,05$).

R^2 : 0,85

En la Tabla 3 aparece el efecto de dosis de las formulaciones en el rendimiento de la lechuga en base húmeda. Para las seis formulaciones hubo diferencia significativa, siendo la formulación 3 la que presentó el más alto rendimiento, debido, posiblemente, a un mayor contenido y adecuado balance de los nutrimentos presentes en el fertilizante. Por su parte, para las formulaciones producidas por acción de la LRC, la cuatro fue la de mayor producción de lechuga, debido, posiblemente, al mayor contenido disponible de

nutrientes. En relación con las dosis de abono empleadas hubo efecto significativo entre las mismas, siendo la de $8t\ ha^{-1}$ la que produjo el máximo rendimiento, lo cual, muestra que la aplicación de dosis altas de abonos orgánicos se refleja en los mayores rendimientos (Lora & Caicedo, 2006; Lora *et al.* 2006), debido al mayor aporte de nutrimentos y, posiblemente, de biomejoradores, es decir, organismos en especial microorganismos que pueden mejorar algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en especial en andisoles, como el empleado

en esta investigación. En relación al contenido de N, P, K en la planta indicadora, en la tabla 4 aparece el efecto de fuentes y dosis en este parámetro. En general, hubo efecto significativo de dosis y de fuentes en el contenido de estos tres nutrientes en la planta indicadora, presentándose las mayores concentraciones con las dosis más altas bajo estudio, lo cual, está de acuerdo con lo reportado por varios investigadores (Malavolta, 1994; Osorio, 2003; Marshner, 2003). Igualmente, hubo relación entre algunos abonos orgánicos con el contenido de estos nutrientes en la planta, que guarda relación con el contenido en el abono orgánico correspondiente. En la tabla 5 es interesante anotar, que para la fuente o abono orgánico tres que fue donde se produjo el mayor rendimiento, el contenido de N, P, K en el material foliar fue de 2,010%, 0,153% y 1,789% para el nivel de 8t ha⁻¹, donde se obtuvo el mayor rendimiento, que es estadísticamente diferente con los otros tres niveles bajo estudio, al igual que los contenidos de N, P, K en la lechuga. Por su parte, la relación entre los tres nutrientes fue de 13,14:1:11,70 indicando que, en general, debe haber una relación entre los nutrientes foliares y el rendimiento (Malavolta, 1994; Sadeghian *et al.* 2006; Kirkby & Römheld, 2007; Epstein & Bloom, 2004; Mengel & Kirkby, 2001). En general, la relación N:K fue de uno, independientemente, de la dosis de abono aplicada.

El comportamiento de la temperatura durante el proceso de compostación fue considerado normal; la compostación se inició a los 20°C, aumentó a 65°C a los diez días, para luego declinar y establecerse nuevamente en 20°C a los 55 días. Las lombrices, se adicionaron a los 45 días con una temperatura de 30°C. Así, las fases mesofílica, termofílica, de enfriamiento y maduración se comportaron de manera similar a lo expuesto por Peixoto (1988); Correa & García (2000) y Farías (1997). Las tres formulaciones, bajo estudio, cumplen con las fases anteriores, indicando que los componentes y las proporciones de los mismos son adecuados. Treinta y cinco días después de la incorporación de la lombriz, se encontró que los tres lombricompuestos (abonos 4, 5 y 6) estaban listos para ser utilizados. El pH durante el proceso, se mantuvo entre 6 y 8, que es el óptimo para que la lombriz cumpla con su función de transformación. Para las formulaciones 1, 2 y 3, el pH mostró una evolución, acorde con un buen proceso de compostaje (Cegarra, 1994). En la etapa inicial, el pH desciende, pero luego se incrementa por la liberación de amonio durante la etapa termofílica del proceso y, posteriormente, vuelve a bajar hasta valores cercanos a la neutralidad. El pH final de los abonos obtenidos estuvo alrededor de 7, lo cual, está de acuerdo con la normatividad Colombiana (NTC-5167).

Tabla 3. Efecto de formulaciones y dosis en el rendimiento (g) de la planta indicadora, base húmeda *.

Formulación	Dosis t ha ⁻¹				
	2	4	6	8	Y
1	0,892 a	3,804 a	6,957 a	9,998 a	5,410 A
2	2,685 b	3,800 a	6,888 a	16,958 b	7,583 B
3	1,408 c	1,796 c	6,893 a	23,429 c	8,382 C
4	2,416 b	3,792 a	4,220 b	21,305 d	7,933 B
5	0,344 d	1,799 c	5,198 c	18,369 b	6,427 D
6	1,902 e	3,505 b	4,366 b	6,898 e	4,167 E
Y _j	1,608 A	3,083 B	5,754 C	16,158 D	6,55

* Números con las mismas letras no difieren estadísticamente (Duncan p<0,05). R²: 0,80. Y,Yj: Promedios

Tabla 4. Efecto de formulaciones y dosis en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la planta indicadora en base seca *.

Formulación	Dosis (t ha ⁻¹)	P (%)	N(%)	K(%)
1	2,0	0,016 a	0,046 a	0,109 a
	4,0	0,027 b	0,190 b	0,421 b
	6,0	0,051 c	0,356 c	0,776 c
	8,0	0,075 d	0,549 d	1,135 d
2	2,0	0,017 a	0,201 a	0,331 a
	4,0	0,024 b	0,278 b	0,432 b
	6,0	0,046 c	0,523 c	0,779 c
	8,0	0,099 e	1,303 d	1,960 d
3	2,0	0,020 a	0,117a	0,111 a
	4,0	0,032 b	0,153 a	0,132 a
	6,0	0,046 c	0,592 b	0,522 b
	8,0	0,153 f	2,010 c	1,789 c
4	2,0	0,015 a	0,104 a	0,211 a
	4,0	0,025 b	0,162 b	0,323 b
	6,0	0,037 c	0,184 b	0,355 b
	8,0	0,138 f	0,930 c	1,790 c
5	2,0	0,014 a	0,015 a	0,031 a
	4,0	0,022 b	0,055 b	0,171 b
	6,0	0,038 c	0,156 c	0,511 c
	8,0	0,139 f	0,551 d	1,821 d
6	2,0	0,028 a	0,159 a	0,351 a
	4,0	0,055 b	0,317 b	0,653 b
	6,0	0,071 c	0,400 c	0,844 c
	8,0	0,109 e	0,626 d	1,291 d

* Números con las mismas letras no difieren estadísticamente (Duncan $p < 0,05$). R^2 : 0,80.

Tabla 5. Efecto de dosis en el rendimiento, contenido y relación N:P:K de la lechuga para la formulación 3*.

Dosis (t/ha ⁻¹)	Rendimiento (g/planta)	Concentración (%)			Relación
		N	P	K	N:P:K
2	1,408 a	0,117 a	0,020 a	0,111 a	5,85:1:5,55
4	1,796 b	0,153 ab	0,032 b	0,132 b	4,78:1:4,13
6	6,893 c	0,592 c	0,046 c	0,522 c	12,87:1:11,35
8	23,429 d	2,010 d	0,153 d	1,789 d	13,14:1:11,70

* Números con las mismas letras no difieren estadísticamente (Duncan $p < 0,05$). R^2 : 0,850.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la presente investigación, se puede concluir:

Con los procesos utilizados, se pueden obtener abonos orgánicos empleando la planta acuática elodea (*Egeria densa*).

El rendimiento de la planta indicadora utilizada en el bioensayo dependió de la dosis y de las fuentes empleadas, siendo la fuente tres la mejor opción.

De acuerdo con los requisitos exigidos por la normatividad colombiana para abonos orgánicos, las formulaciones obtenidas cumplen con estos parámetros.

La producción de abonos orgánicos a partir de la "maleza" acuática (*Egeria densa*) y su empleo en la agricultura puede ser una buena opción para mantener, adecuadamente, el espejo de agua de lagunas invadidas.

y gallinaza como alternativa ambiental de los residuos de la industria avícola. Trabajo de grado Químico Industrial. Convenio UDCA-CTB. Bogotá. 310p.

BIBLIOGRAFÍA

- ARANGO, G.; GONZÁLEZ, H. 1999. Cambios químicos durante la compostación de residuos de cosecha. Suelos Ecuatoriales. 29(1):25-31.
- BARRERA, L. 2003. El papel de la materia orgánica en el manejo integral de la fertilidad del suelo. En: Manejo Integral de la Fertilidad del Suelo. Soc. Col. Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., p.123-134.
- BURBANO, H. 1994. La materia orgánica del suelo en el contexto de una agricultura sostenible. En: Fertilidad del Suelo, Diagnóstico y Control. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Bogotá, D.C., p.187-217.
- CEGARRA, J. 1994. Compost de desechos orgánicos y criterio de calidad del compost. Memoria del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo, Bogotá, D.C. 325p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL CAR. 2000. Fúquene: El lecho de la zorra. Primera Ed. D´vinni. Editorial LTDA. Bogotá, D.C. 378p.
- CORREA, L.; GARCÍA, L. 2000. Evaluación fisicoquímica y microbiológica de compostaje de mortalidad
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. 2004. Mineral Nutrition of Plants: Principles and perspectives. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates. Massachusetts, USA. p.201-241.
- FARÍAS, D. 1997. Caracterización química de un proceso de compostaje. Tesis Química Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 120p.
- GARCÍA, C.; SOLANO, F. 2005. Cría de la lombriz de tierra una alternativa ecológica y rentable. Universidad de Cundinamarca. Ubaté. 316p.
- GÓMEZ, J. 2000. Abonos orgánicos, Compostaje, Sustrato, Humus líquido, Lombricompost. En: Laboratorio Nacional Insumos Agrícolas, ICA. Mosquera, Cundinamarca. 215p.
- GONZÁLEZ, A. 1995. El compost, fertilizante orgánico del futuro. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 771p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC. 1996. Determinación cuantitativa del fósforo. 1^a Actualización. Bogotá, D.C. NTC-234. 18p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. 1997a. Determinación de nitrógeno total. 3^a actualización. Bogotá, D.C. NTC-370. 7p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. 1997b. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelos. 1^a Actualización. Bogotá, D.C. NTC-5167. 27p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. 1998. Determinación de Zn-Cu-Fe-Mn-Ca-Mg. 1^a Actualización. Bogotá, D.C. NTC-1369. 45p.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. 2001. Determinación de K en abonos o fertilizantes. 2^a Actualización. Bogotá, D.C. NTC-202. 11p.

- JICA AGENCIA JAPONESA PARA LA COOPERACIÓN INTERNACIONAL Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA DE CUNDINAMARCA. 1999. Estudio sobre plan de mejoramiento ambiental regional para la cuenca de la Laguna de Fúquene. Informe principal de progreso. CAR. Bogotá D.C. 287p.
- JACOKSEN, S. 1994. Aerobic Decomposition of Organic Wastes. Stoichiometric Calculation of Air Change. Resources Conservation and recycling. USA. 179p.
- KIRKBY, E.; RÖMHELD, V. 2007. Micronutrients in plant physiology. Functions, uptake and mobility. Proceedings 543, The International Fertilizers Society. York, United Kingdom. p.10-13.
- LORA, R.; CAICEDO, C. 2006. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) a fuentes y dosis de abono orgánico y a un fertilizante mineral. Suelos Ecuatoriales 36(1):13-18.
- LORA, R.; PULIDO, I.; MÉNDEZ, A.; PEÑA, F. 2006. Efecto de la fertilización orgánica y mineral en rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un suelo Typic Hapludalfs de mediana fertilidad. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica (Colombia). 9(1):107-116.
- LORA, R. 2007. Contaminación por elementos menores y posibles soluciones. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Científica. 10(1):5-20.
- MALAVOLTA, E. 1994. Diagnóstico foliar. Fertilidad de Suelos, Diagnóstico y Control. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Bogotá. D.C. p.57-98.
- MARSHNER, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. Ed. Academic Press. San Diego, California. USA. 889p.
- MELGAREJO, P. 1997. Evaluación de parámetros de calidad en humus de lombriz y compost. Trabajo de grado Químico. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 110p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. 849p.
- MONDRAGÓN, V.; PARADA, R. 1996. Utilización de la Elodea brasilera *Egeria densa*, como complemento alimenticio de la ceba de conejos en Boyacá. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional. Bogotá. D.C. 115p.
- MUÑOZ, R. 1994. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Bogotá, D.C. p.293-304.
- NACIF, Y.; CÁRDENAS, R.; LATOURNERIE, J. 2007. Evaluación del proceso de descomposición aeróbica de *Egeria densa* como alimento potencial para especies acuáticas. REDVET, Rev. Electrónica de Veterinaria. 8(4):1-12.
- OSORIO, W. 2003. Eficiencia y efectividad de la fertilización en la agricultura de Colombia. Manejo integral de la fertilidad del suelo. Soc. Col. de la Ciencia del Suelo. Bogotá. D.C. p.177-210
- PEIXOTO, R. 1988. Compostagen: Opção para o manejo orgânico do Solo. Londrina, Brasil. IAPAR. Circular 57. 48p.
- PINOCHET, D.; RAMÍREZ, C.; MAC DONALD, R.; RIEDEL, L. 2004. Concentraciones de elementos minerales en *Egeria densa* Planch. colectada en el Santuario de la naturaleza Carlos Anwandter, Valdivia, Chile. Agro Sur. 32(2):80-86.
- PIRANEQUE, N.; AGUIRRE, S.; BAUTISTA, C. 2005. Caracterización y evaluación del Bocashi y otros biopreparados en la producción de cebolla de bulbo en condiciones semicontroladas. Suelos Ecuatoriales. 35(2):65-70.
- RAMÍREZ, C.; CARRASCO, E.; MARIANI, S.; PALACIOS, N.; 2006. La desaparición de Luchecillo (*Egeria densa*) del Santuario del Rio Cruces (Valdivia, Chile): Una hipótesis plausible. Ciencia y Trabajo. 8(20):79-86.
- ROMERO, M. 1999. Caracterización química y microbiológica de lombricomposto producido por *Glossoscolex* sp. Suelos Ecuatoriales. 29(1):89-94.

- ROSAS, A, 2002. Agricultura Orgánica Práctica. En: Gómez, A. Ed. Alternativas para la agricultura del futuro. Bogotá. 283 p.
- SADEGHIAN, S.; MEJÍA, B.; ARCILA, J. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. CENICAFE. 57(4):251-261.
- SMITH, E. 1997. Composts in the Landscape. Bulletin 8:12p.
- VALDERRAMA, J.; MOSQUERA, A. 1979. Estudio de Fúquene. Corporación Autónoma Regional de la Sabana de Bogotá y de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá. Bogotá. 198p.
- WILSON G.; PARR, J.; SIKARA, L. 1983. Experiences with Organic Waste Composting in Developing Countries. Suelos FAO. 23p.
- ZAPATA, R. 2005. Función de la materia orgánica sobre la movilidad iónica. Suelos Ecuatoriales. 35 (1):23-35.

Recibido: Octubre 9 de 2008

Aceptado: Abril 22 de 2009

ALTERACIÓN QUÍMICA DE LA SOLUCIÓN DE UN SUELO SULFATADO ÁCIDO, CON ENCALAMIENTO Y LAVADO EN COLUMNA DISTURBADAS

ALTERATION OF ACID SULPHATE SOIL SOLUTION CHEMISTRY WITH LIMING AND WASHING IN DISTURBED COLUMNS

Enrique Combatt Caballero¹
Teobaldis Mercado Fernández²
Graciliano Palencia Severiche³

RESUMEN

La acidez de los suelos es uno de los principales factores que limitan la producción de los suelos sulfatados ácidos tropicales, siendo lenta la corrección con cal agrícola y lavado. El trabajo buscó evaluar el efecto de encalamiento y lavado sobre las características químicas: pH, conductividad eléctrica y contenidos de sulfatos, calcio y magnesio en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido (isohipertermico typic sulfaquepts), en San Carlos, Córdoba, Colombia. Fueron instalados lisímetros de 15cm de diámetro x 80cm de altura, rellenos con suelo muestreado en los horizontes superficiales (0-20 y 20 - 40cm), corregidas con dosis de cal de 0, 2, 4, 6, 8 y 10t/ha y lavado con 15L de agua, equivalentes a tres volúmenes de poros. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, en casa de vegetación de la Universidad de Córdoba. Las variables evaluadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), sulfatos, calcio y magnesio en los lixiviados. El encalamiento aumentó poco el pH; de igual forma, se encontró reducción en la CE y los tratamientos de cal y lavado no incrementaron la lixiviación de sulfatos, calcio y magnesio. Fueron

obtenidas ecuaciones de regresión que permitieron estimar, aproximadamente, 10t/ha de cal, para elevar el pH a 5 y reducir la CE a 2dS/m.

Palabras clave: Cal agrícola, lixiviación, pH, conductividad eléctrica, sulfatos, calcio, magnesio.

SUMMARY

Soil acidity is one of the main factors which limit production of tropical acid sulfate soils, being the correction with liming and washing slow. The aim of this research was to evaluate the effect of liming and washing on the chemical characteristics, pH, electric conductivity, sulfates, calcium and magnesium content of lixiviates in an acid sulfate soil (franc isohipertermico typic sulfaquepts) from San Carlos, Córdoba, Colombia. Lysimeters, 15cm of diameter x 80cm of height were installed, and filled with soil collected from the surface horizon, 0 -20 and 20 - 40cm, limed with 0, 2, 4, 6, 8 and 10t/ha, and washed with 15L of water, equivalent to three pore volumens. The research was carried out with a randomized block design with four replications, in a hothouse of the University of Córdoba, Colombia. The evaluated variables were pH, electrical conductivity (EC), sulfates, calcium and magnesium contents in the leaching. A small increase in pH due to liming was detected, as well as a reduction in EC; however, liming and washing did not increase the lixivation of sulfates, calcium and magnesium. Regressions models were obtained, which permitted to, approximately, estimate 10t/ha lime to increase pH to 5 and to reduce EC to 2dS/m.

¹ I.A., M.Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba. ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co

² I.A., M.Sc. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba.

³ I.A. Esp. En suelos y aguas. Docente Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Córdoba.

Key words: Lime, lixiviation, pH, electric conductivity, sulfates, calcium, magnesium.

INTRODUCCIÓN

En las zonas de bacines del río Sinú (Córdoba), se están extendiendo las áreas de suelos sulfatados ácidos (SSA), como resultado de la implementación de redes de drenaje para la actividad agropecuaria, lo cual, contribuye como una fuente proveedora de metales y de compuestos ácidos que afectan el ambiente edafológico. En estas condiciones, se presentan cambios en la reacción del suelo (pH), por los constantes cambios en los procesos de óxido-reducción, que son donantes de protón (H^+), que acidifican los suelos. En SSA, estos protones se pueden derivar del ácido sulfúrico libre, de sulfuros de hidrógenos y de la desorción del sulfato adsorbido, que favorecen la hidroxilación del Al y Fe y estos, a su vez, producen hidrogeniones, que aumentan la acidificación en estas zonas (Bennett *et al.* 2004).

Esta acidificación reduce considerablemente la productividad agrícola, lo que se ve reflejado en el estrés fisiológico de los cultivos, debido a que el ácido soluble, entre otros efectos, desciende el pH, a tal punto que, las altas concentraciones de iones hidrógeno en la solución del suelo, promueven el ataque a las estructuras cristalinas de las arcillas, lo que permite que se liberen iones de aluminio y de hierro a la solución (Sammur, 2002).

Los metales pesados Fe y Al junto a las altas cantidades de acidez generada por la oxidación de la pirita afectan las características del suelo y del ambiente (Shamshuddin *et al.* 2004). Según MacDonald *et al.* (2004), la oxidación de la pirita puede llevar a degradación medioambiental severa, como muertes de plantas, declives drásticos en la calidad de agua a través de la exportación de drenaje ácido y de metales disueltos, y muertes de organismo que existen en aguas receptoras.

En Colombia, los SSA se presentan en los departamentos de Sucre, Bolívar, Boyacá, Valle del Cauca y Córdoba; en este último departamento existen entre 10.000 e 20.000ha, donde el drenaje y el secamiento de las zonas de bacines de la llanura aluvial dirige los procesos hacia la acidificación y la formación de suelos sulfatados ácidos (Combatt *et al.* 2004).

La corrección de la acidez que se origina en estos suelos envuelve la neutralización de la acidez con lavado y enmiendas agrícolas, particularmente, cal agrícolas. El sistema funciona, porque entre otros procesos químicos que se presentan en estos suelos, se promueve la unión de iones que originan la acidez (H^+ , Al, Fe) con los iones hidroxilos, que se producen por la hidrólisis del carbonato de calcio o magnesio, en condiciones adecuadas de humedad del suelo, con la consecuente neutralización de elementos acidificantes, por precipitación de compuestos insolubles. Además, con las láminas de lavado, se logra la exportación de mucha acidez, como también de los iones y compuestos que promueven la oxidación de sulfuros, que es la fuente esencial de generación de ácidos y principal factor limitante en las producciones agropecuarias en SSA.

El actual conocimiento y entendimiento del manejo de los SSA interiores es incompleto, muy poco conocido y con deficientes estudios científicos, necesitando desarrollar estrategias que desminuyan los impactos negativos en los ecosistemas que posean características de alta acidez, originada por la oxidación de las diferentes forma de sulfatos.

En el manejo de esta problemática, a nivel mundial y nacional, diversos autores señalan que la acidez puede ser corregida mediante el encalado, neutralizando los iones hidrógeno de la solución del suelo con los iones hidroxilo, que se producen al aplicar los materiales encalantes (Ward *et al.* 2002). El carbonato de calcio, se disuelve a medida que los iones hidroxilo son removidos de la solución del suelo, produciendo iones calcio y bicarbonato. Mensvoort *et al.* (1991) y Cook *et al.* (2000) indican que la acidez soluble e intercambiable debe ser removida tanto como sea posible antes de aplicar enmiendas y explican que, en principio, la lixiviación con agua dulce es eficiente en la remoción del suelo de H^+ y de H_2SO_4 , como también de iones metales que producen H^+ por reacciones de hidrólisis y oxidación, como son las sales solubles de Fe y Al del suelo.

Mongia *et al.* (1997) exponen que el uso de cal agrícola disminuyó el contenido de Al del suelo ácido y redujo el nivel de toxicidad en suelos sumergidos, alternativamente sumergidos y saturados, después de 30 días de incubación. De igual forma, parte del contenido de Al intercambiable, se neutralizó a través del período de la incubación, cuando se aplicó cal en suelos sumergidos.

Otros autores expresan que la práctica del encalamiento es a menudo cara y poco eficiente en muchas partes de los trópicos (Sierra *et al.* 2003) y recomiendan realizar lavados antes de encalar y, posteriormente, fertilizar (Mathew *et al.* 2001).

Reflexionando sobre el área creciente de SSA en el bajo Sinú (Córdoba), se determinó evaluar el efecto de encalamiento y lavado, en las características químicas de pH, conductividad eléctrica, y la cantidad de calcio, magnesio y sulfatos en los lixiviados, de un suelo sulfatado ácido de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se ejecutó en casa de vegetación de la Universidad de Córdoba, (Montería – Colombia), ubicada a 8° 75' de latitud Norte y 75° 55' de longitud Oeste, a una altura de 15msnm, HR del 85% y temperatura promedio 28°C. El experimento, se realizó en laboratorio con columnas de percolación, se utilizó un suelo sulfatado ácido (franco mixto isohipertermico typic sulfaquepts), localizado en el municipio de San Carlos, Córdoba, Colombia, en el valle del río Sinú. Las muestras de suelo fueron colectadas separadamente en el primero y segundo horizonte (0-20cm y 20-40cm), llevadas al laboratorio secadas al aire y tamizadas por malla de 2mm.

Las unidades experimentales fueron constituidas por columnas de lixiviación, confeccionadas a partir de tubos de cloruro de polivinilo de 15,48cm de diámetro por 80cm de largo, las cuales, se llenaron con suelo hasta los 40cm, tratando de mantener la secuencia encontrada en campo de los primeros 40cm del perfil. Las columnas, se sellaron en la parte inferior con tela plástica de 1mm de abertura, a fin de evitar la eluviación del suelo y debajo de la malla papel filtro (Whatman No 42) y malla plástica, nuevamente, para evitar la salida del suelo con el efluente. En cada columna, se colocaron embudos de siete pulgadas de diámetro para direccionar y captar los lixiviados en frasco de colecta. Los 40cm de la parte superior no fueron rellenos con suelo, a fin de facilitar la adición de agua a medida que pasaban los volúmenes porosos iniciales.

Los tratamientos, correspondientes a las dosis de cal, se incorporaron en el primer horizonte, equivalentes a 0, 1, 2, 4, 6, 8 y 10t/ha de cal agrícola comercial. Las columnas fueron acondicionadas verticalmente en soportes de

madera, cuya base quedó 20cm encima de la superficie, para dejar un espacio y poder coleccionar cada 500mL de solución lixiviada. Las columnas fueron encubadas por 30 días, manteniéndose la humedad del suelo próxima a la capacidad de campo y después fueron aplicados tres volúmenes de poros, equivalentes a 15L/columna de agua de lluvia. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones.

Las variables evaluadas fueron pH, conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sulfatos (SO_4^{2-}) en los lixiviados. Los análisis de suelos, se realizaron de acuerdo con los métodos analíticos recomendados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1990):

- pH: método potenciométrico; relación suelo-agua 1:1
- Conductividad eléctrica: pasta de saturación, método potenciométrico
- Calcio y magnesio por espectrofotometría de absorción atómica
- Sulfatos: método cloruro de bario

Al final del estudio y considerando la concentración de Ca, Mg y SO_4 en cada volumen lixiviado, se calculó la cantidad lixiviada de estos elementos.

Los resultados fueron sometidos a análisis de variancia, siendo ajustados modelos de regresión para cada variable. Se aplicó el Sistema para Análisis Estadísticas (SAEG). Se escogieron los modelos que poseían los coeficientes de regresión significativos, hasta el nivel de 20%, para así obtener los modelos que mejor explicaran los fenómenos en la dinámica de lixiviación. Los modelos de regresión ajustados a sus coeficientes fueron testados usándose el cuadrado medio del residuo del análisis de variancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características químicas iniciales del suelo: En la tabla 1, se observa que la reacción del suelo es fuertemente ácida en todas las profundidades; el contenido en materia orgánica es alto por las condiciones de reducción dominante en el perfil. El azufre es excesivo, debido a que estas zonas están influidas por materiales de origen que contienen en su estructura gran cantidad de este elemento, al igual que son zonas de bacines, donde ha existido acumulación de diferentes compuestos de sulfatos.

Tabla 1. Caracterización química y física de un SSA franco mixto isohipertermico typic sulfaquepts antes de la realización del ensayo.

Características		Profundidad (cm)		
		0-20	20-40	40 -70
pH em água (1:1)		3,8	3,7	3,77
MO	(%)	8,05	10,25	1,43
S	mg/kg	350	324,5	575,6
P		20,5	20	6,13
Ca	cmolc Kg ⁻¹	6,5	4,75	6,67
Mg		7	5,75	9,83
K		0,55	0,2	0,10
Na		0,18	0,18	0,24
Al		8,7	6,3	11,00
CIC		22,9	17,15	27,80
Fe	mg/kg	73	34,5	46,0
Mn		23	17,5	23,67
		Análise granulométrica (%)		
Arena		55,15	58,05	55,5
Limo		32,25	31,065	35,2
Arcilla		12,5	10,25	9,21
Densidad del suelo (kg/m ³)		1,15	1,18	1,72

El contenido de fósforo varió de alto a bajo a medida que se profundizó en el perfil; los contenidos de calcio fueron similares en todas las profundidades; el magnesio, se encontró en niveles que excedieron a los del calcio, con porcentajes de saturación mayores del 30%; el contenido de potasio fue alto en la superficie, pero disminuye con la profundidad y, finalmente el contenido de sodio no causa problemas. La acidez intercambiable fue excesiva, lo cual, explica la aparición en los cultivos de síntomas de toxicidad característicos, como atrofiamiento de los sistemas radicales. Con los microelementos, se observó que el hierro posee contenidos altos y el manganeso es alto, pero no excesivo. Se manifiestan porque al encontrarse las zonas de estudio en áreas de bacines, se posibilita la acumulación de altas cantidades de hierro y de manganeso, los cuales, se encuentran en continuo estado de óxido-reducción, lo que trae como consecuencia su incremento.

Variación de la reacción del suelo (pH) con la lixiviación: El ANOVA mostró diferencias altamente significativas, sugiriendo una manifestación diferencial de la reacción del suelo con la aplicación de cal (Tabla 2). Las diferentes dosis de cal empleadas y los 15L de agua promovieron pequeñas alteraciones (3,26 a 4,89) en el pH de los lixiviados (Figura 1). Esta mínima diferencia es explicada, posiblemente, por el aumento de hidroxipolímeros de Al y, al mismo tiempo, por iones hidrogeniones, formados a partir de la disociación ácido sulfhídrico (H₂S), además, de la alta acidez potencial de estos suelos, los cuales evitan un mayor incremento del pH de la solución lixiviada; esto, probablemente, porque la aplicación de cal agrícola en dosis de hasta 10t/ha, no permitió reducir la acidez, como para evitar la elevada actividad de H⁺, en estas condiciones. Esto tiene su origen debido a que la calcita aplicada como CaCO₃ logró reaccionar parcialmente y generar OH⁻ y HCO₃⁻, no

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para diferentes variables químicas de un SSA, con diferentes dosis de encalamiento y 15L de agua como lavado.

F. DE VARIACIÓN	GL	pH	CE	Ca	Mg	SO ₄
Tratamiento	5	1,45**	2,46**	1488,0 ns	2668,8*	220180**
Residuo	18	0,073	0,35	1068,7	681,7	41998
C.V. (%)		7,161	18,71	24,178	20,0	14,35

* y **= Significativos al 0,05 y 0,01%, ns = No significativo, respectivamente.

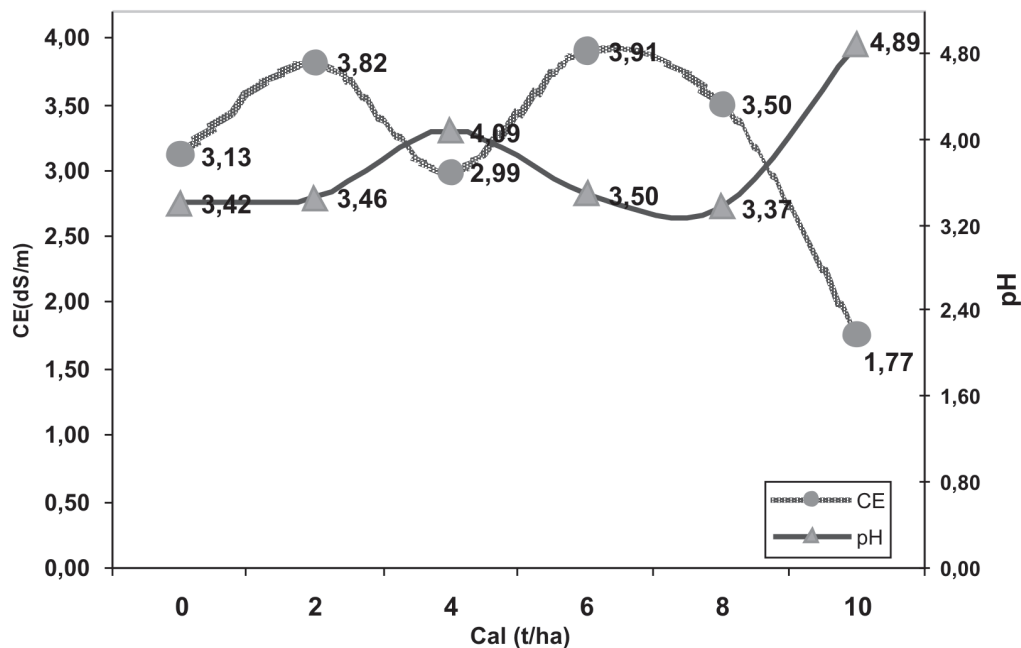


Figura 1. pH y conductividad eléctrica en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido, como resultado de dosis de cal y lavado.

suficientes para neutralizar la acción de iones de Al, Fe, SO₄, y ácidos libres de la materia orgánica, que generan protones e incrementan la acidez en los lixiviados.

Las condiciones químicas halladas manifiestan que la neutralización de protones en este medio reducido no disminuye la cantidad que es producida por los compuestos ácidos, que al entrar en proceso de hidrólisis, son sustancias que disocian iones H⁺ químicamente. Bennett *et al.* (2004), exponen que durante la inundación de los suelos sulfato ácidos actuales, minerales de Fe

y Al, se pueden disolver, y se liberan iones H⁺, que se encuentran en la fase intercambiable del suelo.

Palko (1994), percibió que la aplicación de cal en cantidades altas no redujo la acidez en suelos sulfatados ácidos y Wepling (1997), trabajando con altas cantidades de CaCO₃ y CaMg(CO₃)₂ en suelos sulfatados ácidos drenado y sin drenar, halló que la aplicación de cal no fue eficiente para neutralizar la acidez, debido a la altas cantidades de ácidos almacenados en estos suelos ácidos y en el agua. De igual forma, Ponnampuruma

(1966) citado por Amézquita (1988) constató que el pH de los SSA, se incrementó de forma lenta y que raramente excede de 6,0, después de seis meses de inundación. Mongia *et al.* (1998) encontraron que con la aplicación de cal disminuye el contenido de Al y Mn soluble e intercambiable, mientras que el Fe aumenta. Por otra parte, Palko (1994) reporta que la aplicación de cal, en forma masiva, no reduce la acidez, para evitar la toxicidad causada por el Al. Para estas condiciones con características químicas estudiadas de SSA que existen en San Carlos, Córdoba es necesario tener presente que la implementación de prácticas de encalamiento de hasta 10t/ha y lavado no logran mejorar sustancialmente las condiciones de pH de estos suelos, y que su recuperación necesita tiempo y altos costos de inversión. Una posible solución es optar por la no intervención antrópica de estas zonas, dejándolas para otras actividades que requieren menor intervención.

Conductividad eléctrica en los lixiviados: El ANOVA registró diferencias altamente significativas en la conductividad eléctrica, lo que sugiere que la cantidad de cal influyó diferencialmente en el contenido de sales en los lixiviados evaluados (Tabla 2). De forma general, el encalamiento utilizado influyó en la conductividad eléctrica (CE) (Figura 1), ya que de 3,13 se redujo hasta 1,76dS/m y esto ocurrió, posiblemente, por que ocurrió solubilización de sales o de compuestos que hacen parte de la fase soluble o intercambiable y, a su vez, un mayor flujo de los iones en la solución lixiviadas que reducen la CE.

La disminución en la CE de los lixiviados indica que la aplicación progresiva de cal y lavado con agua ocasiona la solubilización de compuestos presentes en la fase intercambiable del suelo o de la fase soluble. Estas prácticas aumentan los procesos de disolución de sales que se lixivian e inciden en la reducción de la conductividad eléctrica. Howeler (1973) expone que la conductividad eléctrica aumenta debido a la producción de Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ y después baja por la precipitación del hierro, como $Fe(OH)_2$ y FeS .

Según Sterk (1993), con el agua se remueven a través de los poros y se lixivian rápidamente las sustancias solubles de la interfase agua-suelo y a medida que se incrementa la humedad, decrece la velocidad de infiltración del suelo, lo cual, no contribuye a la remoción efectiva de los elementos tóxicos de la matriz. Estos procesos físico-químicos

reducen, sustancialmente, la recuperación de estos suelos, lo que incide en la sostenibilidad de los mismos.

El transporte y el cambio de los solutos en la zona de transición del sistema radical de las especies vegetales es de vital importancia, por que es un estado altamente influenciado por factores, como las propiedades hidráulicas de los sedimentos, como es la infiltración de agua y ésta, a su vez, depende de la porosidad, que es afectada por los procesos de contracción y de expansión de las arcillas; a medida que se presente mayor lixiviación de sales, como sulfato de magnesio y sodio, existirá menor probabilidad de desagregación o desfloculación de la estructura del suelo y, por tanto, una corrección rápida de la propiedades químicas de los SSA. Tobias *et al.* (2001) documentan que cambios sustanciales en sedimentos salinos son responsables de la variación regional en la entrada de agua en el perfil.

Lixiviación de los sulfatos: El ANOVA reportó diferencias altamente significativas en la concentración de sulfatos en los lixiviados (Tabla 2).

Con relación a las concentraciones de sulfatos (Figura 2) en los lixiviados, estos presentaron disminución en su concentración con el incremento de las dosis de cal y aumento con las láminas de agua aplicada, lo que confirma que juntos son más eficientes para el mejoramiento de las condiciones de alta cantidad de sulfatos de los SSA. Es positivo aplicar cal y aumentar la lámina de lavado de los suelos, para precipitar y lixiviar gran parte de sulfatos y otras fuentes de acidificación, como fue verificado por Van Bremen (1993), quien constató que el método más eficiente para lixiviar la acidez en agua es agregando cal y lavado. En estas condiciones, se aumenta el lavado eficaz del ión sulfato, lo que repercute, positivamente, en el mejoramiento de las propiedades químicas de estos suelos, disminuyendo la posibilidad de volverse a activar la acidez potencial y recuperar las condiciones iniciales de acidificación. Por otra parte, Kashir & Yanful (2000) encontraron que en presencia de carbonato de calcio, la acidez es neutralizada, el hierro precipita y el sulfato se une con el calcio y se forma yeso, que se insolubiliza parcialmente. De igual forma, existe otra posibilidad y es que los sulfatos pueden ser adsorbidos a medida que aumentan los tratamientos, ya que hay intercambio de iones SO_4^{2-} por iones OH^- , en la superficie de los óxidos de hierro y de aluminio. Fanning *et al.* (1998) demuestran que

después de un tiempo de reducción, el Fe precipita como sulfuro ferroso, por una reacción del sulfuro de hidrógeno con sales de hierro. Drever (1997) verificó que en sedimentos con condiciones de reducción el sulfato, se reduce a sulfito, que puede ser reoxidado y escapar de los sedimentos como H_2S o, de igual forma, se puede ligar en los sedimentos como sulfatos de metal insoluble

y normalmente el hierro es cuantitativamente el más importante metal, que limita la lixiviación de sulfatos. Smith & Melville (2004) comprobaron que existe un gradiente negativo en la concentración de SO_4 y Fe en los sedimentos, debido a la formación de monosulfuros de hierro en condiciones de reducción y esto disminuye la acidez y la concentración de metales.

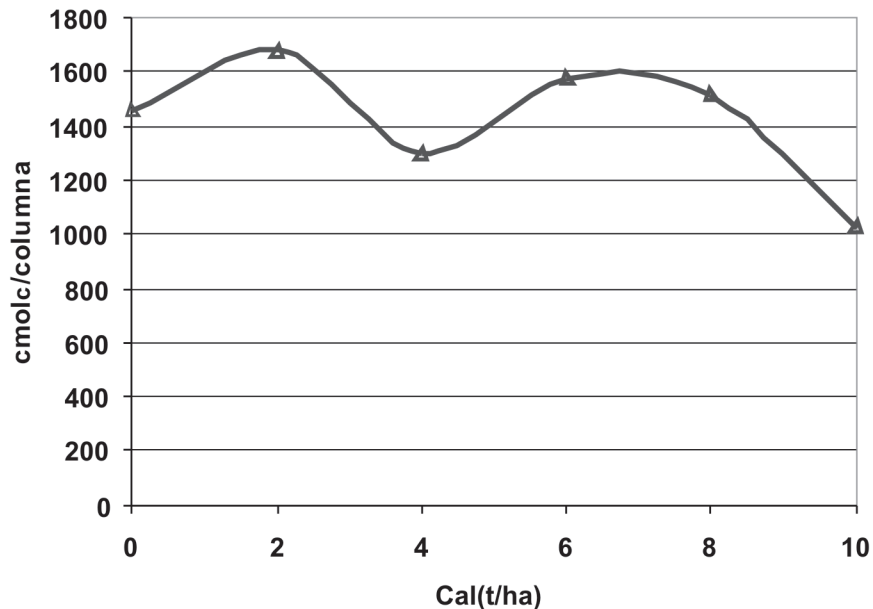


Figura 2. Cantidad de sulfatos en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido, como resultado dosis de cal y lavado.

Variación del calcio en los lixiviados: El ANOVA no reportó diferencias significativas en la concentración de calcio en los lixiviados (Tabla 2).

La figura 3 muestra los valores de los contenidos de Ca en los lixiviados; en general, las dosis de cal, mayores de 2t, no proporcionaron grandes incrementos del Ca en solución. Su tendencia fue de mantener casi constante la concentración en los lixiviados, con una pequeña disminución a los 15L de agua lixiviados. Esta reducción de Ca intercambiable y del Ca que hace parte del carbonato de calcio, es consecuencia del proceso de adsorción del ión calcio, de la baja solubilidad del carbonato de calcio (Albuquerque *et al.* 2003) y de la baja permanencia en la solución del suelo de los aniones, adicionados por el encalamiento. Palko (1994) encontró que altas cantidades de cal en un suelo sulfatado ácido sufren una disolución lenta e incompleta

del polvo, aplicado como piedra caliza. Watzlaf & Hedin (1993), aplicando carbonatos de calcio en condiciones de completa reducción, para neutralizar los drenajes ácidos de minas, hallaron poca efectividad, porque los precipitados de ferrihidrita dentro del drenaje, precipitan sobre las partículas de carbonatos de calcio reduciendo su disolución y, por consiguiente, su potencial para la neutralización de la acidez. Por otra parte Golez & Kyumah (1997), estudiando el efecto de la oxidación de la piritita en algunos nutrientes esenciales, detectaron que lavados repetidos reducen la acidez, pero de igual forma algunos elementos, como Ca, Mg, Cu y Zn son también removidos en la solución.

Variación del magnesio en la lixiviación: El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la concentración de magnesio en los lixiviados (Tabla 2). En la figura 3, se muestra que la tendencia del Mg lixivado

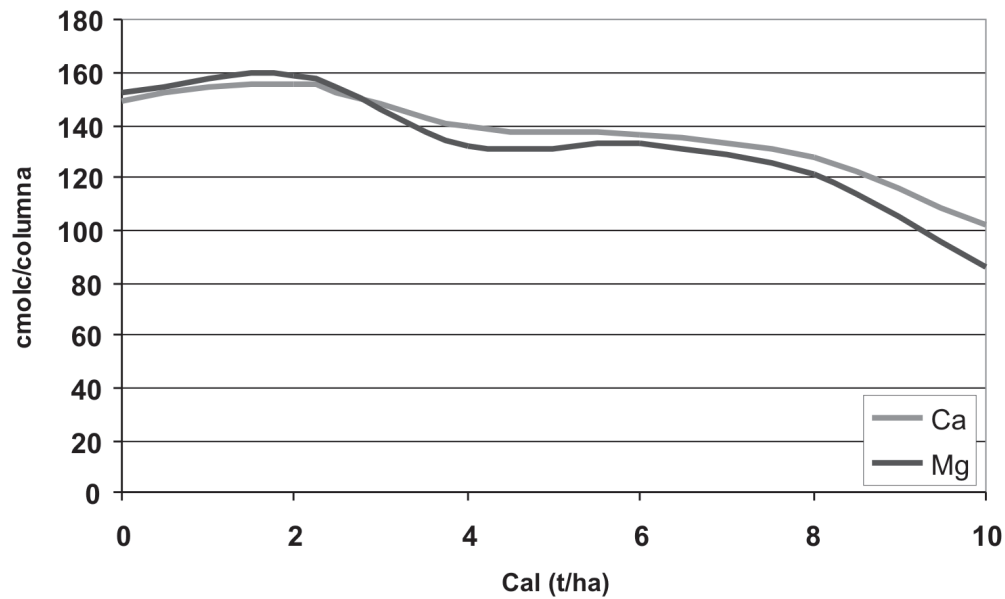


Figura 3. Cantidad de calcio y magnesio en los lixiviados de un suelo sulfatado ácido, como resultado de dosis de cal y lavado.

fue a disminuir a medida que se incrementaron las dosis de cal agrícola, con una tendencia muy similar a la del calcio soluble. Esto, a pesar de ser un elemento de mayor energía de hidratación, que puede ser desplazado con mayor facilidad en los lixiviados, hecho no observado en esta investigación. Esto no coincide con lo expuesto por Sammut *et al.* (1996), quienes afirman que los sulfuros en sedimentos oxidados forman ácido sulfúrico, y estos ácidos reaccionan con los minerales de las arcillas, liberan sílice y principalmente iones metales como Al, Fe, potasio, sodio y magnesio.

Así mismo, estas prácticas de encalamiento y lavado ocasionan una leve tendencia a aumentar la reacción de suelo (pH), lo que sin duda alguna puede originar cargas dependientes del pH, que aumentan la adsorción de ciertos elementos químicos de mayor valencia y menor radio de hidratación. Albuquerque *et al.* (2003) exponen que este aumento de cargas negativas puede disminuir la lixiviación de calcio y magnesio.

Como práctica de mejoramientos de las condiciones químicas de aquellas zonas que se desean someter a la actividad agropecuaria es necesario implementar, básicamente, la práctica de lavado empleando una red de drenaje adecuada, suficiente para evacuar el exceso agua

y, de esta forma, ir recuperando estas zonas. Paralelo a esto, se pueden sembrar especies tolerantes a la alta acidez, con el fin de buscar un beneficio económico y poder entrar con la estrategia del encalamiento.

Modelos de regresión ajustados: Los valores de pH, de conductividad eléctrica, de sulfatos, de calcio y de magnesio permiten estimar las dosis de cal agrícola necesaria para conseguir el pH y la conductividad eléctrica deseada y monitorear las cantidades de sulfato, de calcio y de magnesio, que se pueden lixiviar con una dosis de cal agrícola determinada. Todas las modificaciones pueden ser comparadas para los volúmenes de agua lixiviada y estimar la cantidad de cal que se necesita para conseguir una determinada condición química, que son informaciones importantes (Tabla 3).

En esta tabla, se observa que con el uso de estas ecuaciones, se estimó una dosis de 10,2t/ha de cal para aumentar el pH a 5,0, utilizando 15L de agua, y para reducir la conductividad eléctrica a 2dS/m, se necesitan 9,8t/ha de cal y también la cantidad de sulfatos, de calcio y de magnesio que se lixivian con la aplicación de 10t/ha de cal.

Tabla 3. Ecuaciones estimadas de pH (1:1), CE (dS/m) y contenido de SO_4^{2-} , Ca y Mg (cmolc/columna) lixiviados en suelo sulfatados ácidos, en función de dosis de cal (t/ha).

Cantidad de agua	Ecuaciones (pH)	R2	Para obtener un pH=5,0
15L	$\hat{y} = 3,2954 + 0,56025^{***} x - 0,161833^{***} x^2 + 0,012088^{***} x^3$	0,78	10,2 t/ha de Cal
	(CE)		Para una CE de 2dS/m
15 L	$\hat{y} = 3,2800 - 0,154742 x + 0,096961^{oo} x^2 - 0,0095839^o x^3$	0,76	9,8 t/ha de Cal
	(SO_4^{2-}) cmol _c /Columna		
15 L	$\hat{y} = 1521,66 - 66,0208 x + 26,3129 x^2 - 0,024291^{oo} x^3$	0,60	3468,45 ⁽¹⁾
	(Ca^{2+}) cmol _c /Columna		
15 L	$\hat{y} = 158,671 - 4,69206 * X$	0,82	111,7504 ⁽¹⁾
	(Mg^{2+}) cmol _c /Columna		
15 L	$\hat{y} = 162,157 - 6,32413^{***} X$	0,83	98,9157 ⁽¹⁾

(1) Con 10 t/ha de cal cantidad de cmol_c de SO_4^{2-} , Ca^{2+} y Mg^{2+} lixiviado por columna
 *** significativo 0,1%; ** 1%; * 5%; ° 10% ; °° 20%

CONCLUSIONES

El encalamiento y lavado de un suelo sulfatado ácido de San Carlos, Córdoba no elevaron significativamente el pH de los lixiviados en columnas disturbadas.

La conductividad eléctrica se redujo significativamente por las dosis de cal agrícola y el lavado, indicando que hubo lixiviación y precipitación de aniones y cationes.

Los análisis de los resultados demuestran que se presentó una alta disminución de los sulfatos lixiviados, a medida que se aumentaron las dosis de cal agrícola. Las dosis de cal agrícola no influenciaron en el aumento del calcio y el magnesio lixiviado.

Se recomienda realizar investigaciones de campo utilizando piezómetros y analizar las características de los lixiviados colectados.

BIBLIOGRAFÍA

ALBUQUERQUE, J.; BAYER, C.; ERNANI, P.; MAFRA, A.; FONTANA, E. 2003. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. Rev. Bras. Cienc. Solo. 27:799-806.

AMEZQUITA, E. 1988. Establecimiento de las zonas oxidadas y reducidas en suelos sumergidos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Primer seminario de azufre. Colombia, Cali, p.39-41, 43.

BENNETT, C.; WHITE, I.; KEENE, A.; MELVILLE, M.; REYNOLDS, J. 2004. Acidity, metals and acid sulfate soils. Disponible desde Internet en: http://www.regional.org.au/au/asssi/supersoil2004/s1/oral/1797_macdonald.htm#TopOfPage (con acceso 05/07/2008).

COMBATT, E.; GARCÍA, A.; MERCADO, F. 2004. Efecto del encalamiento y el lavado sobre algunas propiedades químicas de un suelo sulfatado ácido magnésico del valle del río Sinú. Tesis de magíster en suelos. Universidad de Córdoba, Colombia. 167p.

COOK, F.; HICKS, W.; GARDNER, E.; CARLIN, D.; FROGGATT, D.W. 2000. Export of Acidity in Drainage Water from Acid Sulphate Soils. Marine Pollution Bulletin. 41(7-12):319-326.

DREVER, J.I., 1997. The Geochemistry of Natural Waters. Surface and Groundwater Environments. Prentice Hall, New York. 436p.

- FANNING, S.; BURCH, N.; AUERSWALD, K.; BIGHAM, J. 1998. Acid sulphate soils and some associated environmental problems. *Advances in Geoecology*. 30:145-158.
- GOLEZ, N.; KYUMAH, K. 1997. Influence of pyrite oxidation and soil acidification on some essential nutrient elements. *Aquacultural Engineering*. 16:107-124.
- HOWELER, R.H. 1973. *La química de suelos inundados*. CIAT. Cali Colombia. 5p.
- IGAC. 1990. *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá. 5ª. Ed.
- KASHIR, M.; YANFUL, E. 2000. Compatibility of slurry wall backfill soils with acid mine drainage. *Adv. Environm. Res.* 4:252-268.
- MacDONALD, B.C.T.; SMITH, J.; KEENE, A.F.; TUNKS, M.; KINSELA, A.; WHITE, I. 2004. Impacts of runoff from sulfuric soils on sedimentary chemistry in an estuarine lake. *Sc. Total Environm.* 329:115-130.
- MATHEW, E.; PANDA, R.; NAIR, M. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Agric. Water Managem.* 47:191-209.
- MENSVOORT, M.E.F. VAN.; DUANG VAN NI.; VAN DER SCHANS, J. 1991. Improvement of acid sulphate soils by leaching with salt or brackish water. In: Deturck, P.; Ponnampereuma, F.N. (eds.). *Rice production on acid soils of the tropics*. Inst. Fundamental Studies, Kandy. p.219-224.
- MONGIA, A.; SINGH, N.; MANDAL, L.; GUHA, A. 1997. Effect of soil water regimes and liming on chemical changes and nutrient transformations in acid and acid sulphate soils. *J. Indian Soc. Soil Scie.* 45(2):344-348.
- MONGIA, A.; SINGH, T.; MANDAL, L.; GUHA, A. 1998. Effect of lime and phosphorus application on nutrient transformations in acid and acid sulphate soils under submergence. *J. Indian Soc. Soil Scie.* 46(1):18-22.
- PALCO, J. 1994. Lime requirement experiments in acid sulphate soils. *Soil-and-Plant-Science*. 44(3):149-156.
- SAMMUT, J.; WHITE, I.; MELVILLE, M. 1996. Acidification of an estuarine tributary in eastern Australia due to drainage of acid sulfate soils. *Marine and Freshwater Res.* 47:669-684.
- SAMMUT, J. 2002. An introduction to acid sulfate soils NSW Agriculture. NSW. School of Geography. Disponible desde Internet en: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/10742>. (con acceso 24/08/04).
- SHAMSHUDDIN, J.; MUHRIZAL, S.; FAUZIAH, I.; VAN RANST, E. 2004. A laboratory study on pyrite oxidation in acid sulfate soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35(1,2):117-129.
- SIERRA, J.; NOEL, C.; DUFOUR, L.; OZIER-LAFONTAINE, H.; WELCKER, C.; DESFONTAINES, L. 2003. Mineral nutrition and growth of tropical maize as affected by soil acidity. *Plant Soil*. 252:215-226.
- SMITH, J.; MELVILLE, M. 2004. Iron monosulfide formation and oxidation in drain-bottom sediments of an acid sulfate soil environment. *Applied Geochemistry*. 19:1837-1853.
- STERK, G. 1993. Leaching of acid from the top soil of raised beds on acid sulphate soil in the Mekong delta, Vietnam. In: Dent, D.L.; van Mensvoort, M.E.F. (Edit.), *Selected papers on the Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils*. Publication No. 53, p.241-246.
- TOBIAS, C.; HARVEY, J.; ANDERSON, I. 2001. Quantifying groundwater discharge through fringing wetlands: seasonal variability, methods comparison and implications for wetland-estuary exchange. *Limnol. Oceanogr.* 46:604-615.
- VAN BREMEN. 1993. Environmental aspects of acid sulphate soils. Ho-Chi Minh City, Vietnam, March, No.391- 402.
- WARD, N.; SULLIVAN, L.; BUSH, R. 2002. Sulfide oxidation and acidification of acid sulfate soil materials treated with CaCO₃ and seawater-

neutralized refinery residue. *Austr. J. Soil Res.* 40:1057-1067.

WATZLAF, G.; HEDIN, R. 1993. A method for predicting the alkalinity generated by anoxic limestone drains. In: *Proceedings 14th Annual West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium.* (Morgantown, West Virginia). p.1-12.

WEPPLING, K. 1997. On the assessment of feasible liming strategies for acid sulphate waters in Finland. *Dissertationes geographicae Universitatis Tartuensis*, 5:81p.

Recibido: Agosto 5 de 2008

Aceptado: Febrero 7 de 2009

PROPIEDADES DEL SUELO EN BOSQUE Y PAJONAL; RESERVA NATURAL PUEBLO VIEJO, NARIÑO, COLOMBIA

SOIL PROPERTIES IN FOREST AND GRASSLANDS; PUEBLO VIEJO NATURAL RESERVE, NARIÑO, COLOMBIA

Patricia Cerón¹
Hernán García²

RESUMEN

Se realizó un estudio exploratorio con el objetivo de comparar algunas propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos con cobertura en bosque de ladera (Bosque1), bosque en la vertiente del cauce de agua (Bosque2) y Pajonal, situados a similar altura, en la Reserva Natural Pueblo Viejo (Nariño). Se tomaron tres muestras de suelo por cada sitio, para un total de nueve muestras. Los datos, se procesaron mediante pruebas no paramétricas y Análisis de Componentes Principales. Se presentan diferencias estadísticas significativas entre Bosque2 y Pajonal, en C, N, CIC y Al, densidad aparente y densidad de Mollusca y, entre Bosque1 y Pajonal, en Mn y Cu. El análisis multivariado diferencia tres grupos correspondientes a los tres sitios.

Palabras clave: Suelos, pajonal, bosque alto andino, Andes, Nariño.

SUMMARY

An exploratory study was carried out in order to compare the chemical, physical and biological properties of vegetation-covered soils in ladder woodlands (Afforested

area No.1), woodlands located in the drainage area of a water source (Afforested area No.2) and grassland, situated at the same altitude, in the 'Pueblo Viejo' Nature Reserve. Three soil samples were taken in each location, with a total of nine samples. The data were processed using non-parametric tests and Principal Component Analysis. There are significant statistical differences between Afforested area No.2 and grassland of levels of C, N, CEC, Al, bulk density and density of Mollusca, and between grassland and afforested area No.1 in levels of Mn and Cu. The multivariate analysis considered three groups, corresponding to the three locations.

Key words: Soils, grassland, woodland of the High Andes, Andes, Nariño.

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre los suelos en los ecosistemas de alta montaña se han centrado en los páramos, siendo poco frecuentes las comparaciones de las características físicas, químicas y biológicas, entre áreas silvestres de páramo y bosque altoandino, a similar altitud.

La edafofauna, al parecer, presenta particularidades, si se trata del páramo o bosque alto andino. Chamorro & Zuluaga (1998) encontraron que el páramo muestra un índice de riqueza en los principales taxa edáficos de 0,72, mientras que en bosque alto andino es de 0,49. Rangel-Ch. & Sturm (1994) estimaron que el bosque presenta un mayor número total de individuos y de grupos taxonómicos en comparación con el páramo.

¹ Mg. Ciencias Agrarias. Docente Universidad de Nariño. Calle 23 N. 4 este 11 manzana K, casa 2, Campiña de oriente, Pasto, Nariño; patriciac1@hotmail.com

² Mg. Estadística. Docente Universidad de Nariño. Calle 13 A, # 41.09, Villas de San Rafael, Pasto, Nariño; hgarcia@udenar.edu.co

En lo concerniente a las propiedades químicas, en un estudio sobre los almacenamientos de carbono y flujo de gases, se halló mayor contenido de C superficial en bosque frente al páramo, contrario a lo esperado, lo que fue explicado como consecuencia de las continuas quemadas naturales e inducidas en el páramo. El bosque, se comportó como un sumidero neto de metano atmosférico ($-33\text{mg CH}_4 \text{ m}^2/\text{h}$), mientras que el páramo lo hizo como una fuente neta ($82\text{mg CH}_4 \text{ m}^2/\text{h}$) de dicho gas (Rondón *et al.* 2002).

A pesar de la escasez de estudios que comparan las propiedades de los suelos entre páramo y bosque, en Ecuador se vienen adelantando investigaciones en suelos de los Andes, que coadyuvan a contextualizar los de Pueblo Viejo, debido a que el área de estudio se ubica en la zona del complejo volcánico Galeras – Chiles, entre ellos Azufra, Cerro Mayasquer, Chiles, Cumbal, Galeras, Serranía de Colimba y Túquerres, algunos con actividad volcánica histórica (menos de 500 años) y evidencia geomorfológica de actividad en el Holoceno (Robertson *et al.* 2002). Dado que el complejo volcánico se encuentra cerca, influye en parte de los suelos estudiados en Ecuador, lo que posibilita equiparar factores de formación del suelo, como el material parental y el tiempo (cenizas volcánicas del Holoceno).

A partir de las investigaciones mencionadas, se conoce que los suelos de ecosistemas de alta montaña de los Andes, situados en zonas volcánicas con actividad en el Holoceno, deben buena parte de sus propiedades a la meteorización de la ceniza volcánica en interacción con el clima frío y húmedo. Una fuente de variación en la distribución de los minerales es la distancia de la zona volcánica y, por tanto, de la cantidad de ceniza depositada. En los páramos de la cuenca del río Paute, se identificó una gradual disminución de las propiedades ándicas de norte a sur, que coincide con el distanciamiento de la influencia de ceniza volcánica (Buytaert *et al.* 2007). Los suelos más cercanos son Andisoles no alófanos, en los cuales, el horizonte mineral superior está dominado por complejos organometálicos de Al y Fe y es bajo el contenido de alófana y caolín recientes, posiblemente, porque el clima húmedo y frío favorece la lixiviación de cationes básicos y el sílice liberado por la meteorización y proporciona una descomposición retardada de la materia orgánica del suelo. Con la profundidad, la alófana tiende a aumentar, lo que se atribuye a diversas

causas, entre ellas, un mayor suministro de sílice, menos materia orgánica, por tanto, menor complejación y una meteorización más avanzada (Buytaert *et al.* 2005).

En esta dirección, varias propiedades del horizonte A, como los valores elevados de CIC, gran capacidad de retención hídrica, alta porosidad, baja densidad, porosidad fina y el carácter melánico, se relacionaron con los altos contenidos de coloides orgánicos (Poulenard *et al.* 2003). La acumulación de materia orgánica en el páramo, se atribuye a las condiciones de vegetación y al clima frío y húmedo a gran altura. Buytaert *et al.* (2007) expresan que es un efecto del clima que no depende necesariamente del aluminio del suelo, puesto que en la cuenca del río Paute registraron similar contenido de C entre el norte, con mayor nivel de aluminio libre y, el sur, con disminución, sugiriendo entonces, que la mayor precipitación en el sur puede compensar la alta complejación organometálica en el norte. Otros autores consideran que condiciones edáficas, como el pH ácido, el dominio de complejos de humus-Al (Zehetner *et al.* 2003) y la predominancia de los microporos asociados con la abundancia de coloides orgánicos coadyuvan en este proceso (Poulenard *et al.* 2003). El agua y la aireación del suelo pueden ser propiedades a tener en cuenta, dado que se conoce que en el páramo la mayor cantidad de materia orgánica se relaciona con la elevada capacidad de almacenamiento de agua (Buytaert *et al.* 2007, Poulenard *et al.* 2003) y a que Rondón *et al.* (2002) encontraron que el páramo se comporta como una fuente neta de metano, indicando que prevalecen condiciones anaeróbicas en las capas superficiales del suelo, mientras que el bosque actúa como un importante sumidero neto de metano atmosférico, indicador de condiciones aeróbicas.

Los suelos derivados de ceniza volcánica también están afectados por la variación altitudinal del clima, con lo cual, las propiedades ándicas aumentan con la altitud. En las laderas del volcán Cotacachi, se detectó que por encima de 3.200m, la fracción coloidal es dominada por complejos de humus-Al y alófana; a esta altura, se registra una alta absorción de fósforo, aumentan los contenidos de limo, arcilla, C, CIC y disminuye arena, pH, P disponible, suma de bases intercambiables y las tasas de escorrentía y erosión del suelo. A elevaciones intermedias (3.200 – 2.700), se marca una zona de transición en la que coexisten alófana y halloisita. Por debajo de 2.700m halloisita es el principal constituyente

coloidal y disminuye la alófana; las variables de fertilidad innata, erosión y escorrentía siguen la tendencia contraria a los suelos, por encima de los 3.200 metros. El patrón de altitud, se percibió alterado en posiciones de paisaje inestable donde las propiedades ándicas del suelo han sido modificadas por la erosión de la capa superficial del suelo. El clima fue considerado el principal factor responsable de las diferencias de altitud en el suelo, porque afectan el régimen de lixiviación y la descomposición de materia orgánica (Zehetner *et al.* 2003, Zehetner & Miller, 2006).

Conceptualmente, se prevén propiedades particulares entre los suelos de Bosque altoandino y páramo; sin embargo, hay poca información experimental que evidencie las diferencias. En este contexto, se realizó un estudio exploratorio, con el objetivo de comparar algunas propiedades físicas y químicas, y la macrofauna del suelo con cobertura en pajonal, bosque en ladera y bosque en vertiente de agua, situados a similar altitud, en la Reserva Natural Pueblo Viejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Reserva Natural Pueblo Viejo está localizada en el suroeste de Colombia, Departamento de Nariño, municipio de Mallama. Las coordenadas geográficas extremas son 1°3'33,7'' y 1°1'39,8'' Norte y 77°48'3,3'' y 77°46'17,2'' Oeste. La temperatura promedio es de 10,9°C, presentando el valor mínimo (9,3°C), en el mes de agosto y el máximo (12,3°C), en abril; la precipitación total anual de la zona es de 961mm, datos registrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2006) en la estación El Paraíso, municipio de Túquerres. Los suelos, se clasifican como Andosoles y los bosques presentan entre 15 a 20cm de hojarasca y pajonal, entre 1 a 5cm, seguido de 50cm de horizonte mineral de color negro, con presencia de raíces y de piedra pómez pequeña.

Hay tendencia a que el área occidental de la reserva el bosque altoandino ascienda a mayor altitud, mientras que a la misma altura, en las áreas central y oriental, predomina el páramo, excepto alrededor de los cauces de las quebradas, donde también se encuentra bosque. En tal medida, se establecieron tres sitios: Bosque1, que hace parte de la ladera, en el área occidental de la reserva, Pajonal, ubicado en el área central y, Bosque2, en el área oriental, en el cauce de la cuenca alta de la

quebrada Honda, que presenta agua intermitentemente. Las muestras de suelo y de macrofauna, se colectaron durante agosto, entre los 3.300 y 3.350m de altitud, en pendientes entre 18 a 20°. De cada sitio, se tomaron tres muestras separadas, por al menos 5m, para un total de nueve muestras de suelo.

Bosque1 y Bosque2 contienen arbustos y arbolitos, entre los que se encuentran *Gynoxis sanctii-antonii* Cuatr., *Lepichinia vulcanicola* Word, *Zanthoxylum quinduense* (Tul), *Baccharis buddlejoides* H.B.K., *Hesperomeles* sp, *Oreopanax bogotensis* Cuat., *Euphorbia laurifolia* Lam., *Morella parvifolia* Benth. El Pajonal hace parte del páramo, con vegetación herbácea formadora de macollas, dominada por la familia Poaceae, especialmente del género *Calamagrostis* asociada a otros géneros como *Rhynchospora* y *Castilleja*. Comprende algunas especies, como *Hypericum junipericum* Kunth, *Hypericum laricifolium* Juss, *Lachemilla mutisi* Roth, *Hypoacheris sessiliflora* Kunth, *Cortaderia nítida* (Kung) Pilg., *Monnina aestuans* (LF) DC., *Bidens andicola* H.B.K., *Rhynchospora macrochaeta* L. y, *Pernettya postrata* (Cav). D.C.

Las muestras de suelo, se tomaron de 0 a 20cm de profundidad, alrededor de los monolitos, de los que se extrajeron la macrofauna. Se homogeneizó la muestra, se trasladó al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, para estimar las siguientes variables: textura (Bouyoucos), humedad higroscópica (secado a 105°C hasta peso constante), densidad real (picnómetro), densidad aparente (cilindro graduado) porosidad, pH (potenciómetro, 1:1), carbono orgánico (Walkley-Black), fósforo (Bray II), nitrógeno total (estimación de la M.O.), calcio, magnesio, potasio, capacidad de intercambio catiónico (AcNH4O 1N pH 7), aluminio (KCl 1N), hierro, manganeso, cobre, zinc (DTPA) y boro (agua caliente). La macrofauna, se obtuvo de tres monolitos que consistían en la hojarasca y suelo en 25cmx25cmx30cm de profundidad, para cada uno de los sitios seleccionados (Bosque1, Pajonal y Bosque2); fue extraída manualmente, se fijó en alcohol y se procedió a cuantificar su densidad y estimar la biomasa, como peso fresco, aplicando la corrección por pérdida de humedad (19% para lombriz de tierra, 11% para coleópteros, 6% para arácnidos y miriápodos, 13% para otros invertebrados), como lo sugieren Decaëns *et al.* (1994).

Para identificar si se presentan diferencias estadísticas significativas en las características químicas, físicas y la macrofauna entre los tres sitios, se realizó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. En los casos donde se encontraron diferencias significativas, se llevó a cabo una prueba de comparaciones múltiples, para lo que se empleó el paquete estadístico STATISTICA. Para complementar la comparación, se efectuó una correlación de Pearson y un análisis de componentes principales (ACP) aplicando los procedimientos princomp y prinqual del paquete estadístico SAS, utilizando, como individuos, a los suelos de las diferentes localizaciones geográficas y, como variables, las siguientes propiedades: arena, humedad higroscópica, densidad real, densidad aparente, pH, C, P, Ca, Mg, K, CIC, Al, Fe, Cu, Mn, Zn, biomasa y densidad total de la macrofauna edáfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a las propiedades químicas es de anotar que los contenidos de C, CIC, N y Al son más elevados en Pajonal, seguidos de Bosque1, con valores que no se diferencian estadísticamente, mientras que en Bosque2 hay una disminución con diferencia estadísticamente significativa de Pajonal (Tabla 1). En elementos menores, hay diferencias significativas en las variables Mn y Cu entre Bosque1 y Pajonal, siendo que en el segundo, la cantidad de Mn es más baja y de Cu más alta (Tabla 2).

En lo concerniente a propiedades físicas, se destaca la textura y la densidad aparente. Respecto a la textura de los suelos estudiados, se define como Arenosa Franca en Bosque1 y Pajonal y, Arenosa, en Bosque2; el promedio

Tabla 1. Propiedades químicas en los suelos estudiados.

Suelos	pH	CO	N total	P	CIC	Al	Ca	Mg	K
	H ₂ O	%		ppm	meq 100g ¹				
Bosque1	5,3 ^a	7ab	0,48ab	11,1 ^a	29,1ab	0,9ab	3,93 ^a	0,63 ^a	0,37 ^a
Pajonal	4,8 ^a	12 ^a	0,68 ^a	11,8 ^a	46,2 ^a	2,0 ^a	2,73 ^a	0,33 ^a	0,38 ^a
Bosque2	5,2 ^a	3b	0,25b	34,2 ^a	11,1b	0,3b	2,07 ^a	0,27 ^a	0,09 ^a
K-W	0,047	0,027	0,027	0,051	0,027	0,027	0,065	0,051	0,063

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

Tabla 2. Elementos menores.

Suelos	Fe	Mn	Cu	Zn	B
	ppm				
Bosque1	30,67 ^a	4,37 ^a	0,19b	0,38 ^a	0,08 ^a
Pajonal	34,67 ^a	1,17b	0,33 ^a	0,47 ^a	0,13 ^a
Bosque2	19,33 ^a	1,77ab	0,23ab	0,22 ^a	0,13 ^a
K-W	0,046	0,035	0,026	0,051	0,298

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

de densidad aparente es más alto en Bosque2 y más bajo en Pajonal, con diferencias estadísticas significativas entre los dos sitios (Tabla 3).

La macrofauna edáfica pertenece a los Phylla Annelida, Arthropoda y Mollusca; la primera está constituida por la

clase Oligochaeta; la Mollusca por la clase Gastropoda y, finalmente la Arthropoda por Chilopoda, Diplopoda, Arachnida, Malacostraca e Insecta. La densidad total de la macrofauna y de los artrópodos es más alta en Bosque2, intermedia en Bosque1 y más baja Pajonal; la densidad de anélidos fue mayor en Pajonal, seguida

Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos estudiados.

Suelos	Textura	Arena	Humedad Higroscópica	Porosidad	Densidad real	Densidad Aparente
	%				g/cc	
Bosque1	AF	73 ^a	0,96 ^a	66 ^a	2,4 ^a	0,8ab
Pajonal	AF	75 ^a	0,93 ^a	69 ^a	2,2 ^a	0,7b
Bosque2	A	89 ^a	1,00 ^a	55 ^a	2,5 ^a	1,1 ^a
K-W		0,063	0,698	0,050	0,064	0,020

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).

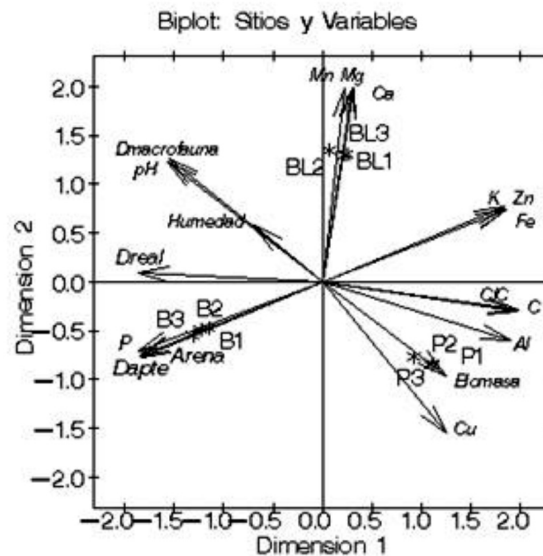
de Bosque2 y, en menor medida, en Bosque1. Los moluscos, se encontraron principalmente en Bosque2 y no se registraron en Pajonal, con diferencias estadísticamente significativas entre estos dos sitios. La biomasa está siendo aportada por artrópodos y por anélidos y teniendo en cuenta el sitio, es más alta en Pajonal, con el 53% de la biomasa total, donde Annelida constituye el 68% del peso, mientras que es similar en los bosques. En Bosque1 contribuyen, los artrópodos; en Pajonal, los anélidos y los artrópodos y en Bosque2, los artrópodos y los moluscos. No se presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 4).

En el análisis de componentes principales, se retuvieron los dos primeros factores que, en conjunto, explican el 74% de la variabilidad total de los datos. En el primer componente, con el 50%, las variables que más aportan, en forma positiva, son CIC (0,974), C (0,963), Al (0,935), Fe (0,857) y, en forma negativa, densidad aparente (-0,954), P (-0,868) y densidad real (0,840), que corresponde con Pajonal; en el segundo componente, que explica 24%, contribuyen Mn (0,969), Mg (0,879), pH (0,801) y Ca (0,797), asociadas a Bosque2. La figura 1 permite hacer un estudio conjunto de los individuos o sitios geográficos y las variables. Los sitios geográficos,

Tabla 4. Promedio de biomasa y densidad de macrofauna.

Biomasa (g.p.f m ²)	Arthropoda		Annelida		Mollusca		Total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Bosque1	7,0 ^a	90,1	0,7 ^a	9,6	0,02 ^a	0,3	8 ^a	23
Pajonal	5,7 ^a	31,7	12,2 ^a	68,3	0,00 ^a	0,0	18 ^a	53
Bosque2	5,9 ^a	73,6	0,5 ^a	6,3	1,62 ^a	20,1	8 ^a	24
Promedio	18,6	55,2		40,0	1,64	4,9	34	100
$\alpha \leq 0,05^{**}$	0,733		0,276		0,076		0,733	
Densidad* (ind m ²)								
Bosque1	491 ^a	94	5 ^a	1	27ab	5	523 ^a	25
Pajonal	144 ^a	54	123 ^a	46	0b	0	267 ^a	13
Bosque2	720 ^a	56	64 ^a	5	491 ^a	38	1275 ^a	62
Promedio	1355	66	192	9	517	25	2064	100
K-W	0,059		0,101		0,031		0,059	

K-W: Anova Kruskal-Wallis. En letras iguales no hay diferencia significativa en la comparación múltiple ($\alpha \leq 0,05$).



P: pajonal, BL: Bosque en ladera, B: Bosque en vertiente de fuente de agua.

Figura 1. Análisis de componentes principales.

se analizan en términos de similitud (distancias) y las variables o propiedades de los sitios geográficos, en términos de correlaciones.

En la figura, se puede observar que en cuanto a sitios, se diferencian claramente tres grupos: Pajonal (P1, P2 y P3), Bosque1 (BL1, BL2 y BL3) y Bosque2 (B1, B2 y B3). Se aprecia que Pajonal tiende a mayores niveles de biomasa total de macrofauna, C, CIC, Al y Cu y menores de pH y densidad total de macrofauna; Bosque1, se asocia con contenidos más altos de Ca, Mg y Mn y en Bosque2, se incrementa arena, P y densidad aparente y disminuye K, Fe y Zn.

Se define entonces, que los tres sitios evidencian características particulares en los suelos. Entre las variables que más contribuyen a la diferencia, se resaltar el pH, que es muy fuertemente ácido en Pajonal y fuertemente ácido en los bosques; los contenidos de C, N, CIC y Al son más elevados en Pajonal, intermedios en Bosque1 y más bajos en Bosque2. Esto corresponde a una tendencia inversa a la mostrada por la densidad total de la macrofauna y de los artrópodos, ya que decrecen en el orden: Bosque2, Bosque1, Pajonal. Por otra parte, la densidad aparente más baja, se evidencia en Pajonal y la más alta en Bosque2; la biomasa de la macrofauna se asocia a Pajonal.

En Pajonal, el pH (H₂O) es menor de cinco, condición en la que se inhibe la formación de alófana (Shoji *et al.* 1982) y en consecuencia, se estarían favoreciendo los complejos de humus-Al. El dominio de estos complejos en el horizonte A se registra en los páramos de Ecuador con influencia de cenizas volcánicas del Holoceno (Buytaert *et al.* 2007; Buytaert *et al.* 2005, Poulenard *et al.* 2003, Zehetner *et al.* 2003). Específicamente, en El Ángel, con influencia de los Volcanes Cuicocha, Soche, Azufral y Galeras, los dos últimos en el sur de Colombia, se encontraron suelos con altos niveles de coloides orgánicos, que presentaban un efecto anti-alófana, es decir, que cuando más contenido de carbón, más bajo era el de alófana. En este orden de ideas, es probable que los contenidos más altos de Al, C, CIC y N estén asociados con el pH más ácido y con la formación de complejos de humus-Al, que, en otras palabras, pueden indicar un mayor contenido de materia orgánica frente a los bosques, porque además de tener valores más altos, dichas variables se correlacionan entre sí; por ejemplo, C, presenta correlación positiva con CIC (r: 0,96 p: 0,00) y Al (r: 0,95 p: 0,00) y, en forma negativa, con pH (r: -0,71 p: 0,03), densidad aparente (r: -0,90 p: 0,00) y densidad real (R: -0,88 p: 0,00). A la vez, el incremento de materia orgánica explica la densidad más baja en este sitio y la correlación negativa de la densidad, tanto real como aparente, con C, CIC, N y Al. Igualmente, en páramos

del Ecuador, se encontró la correlación inversa entre C y densidad aparente (Buytaert *et al.* 2007).

Si bien no se presentan diferencias estadísticas en Pajonal frente a los bosques, prevalece la biomasa y disminuye la densidad de la macrofauna. La biomasa está siendo aportada, especialmente, por la lombriz de tierra, macroinvertebrado que parece estar adaptado a la estructura herbácea de la vegetación, pues Coral & Bonilla (2002), a una altitud entre 2.700 y 3.000m, cuantificaron una mayor densidad de lombriz de tierra en pastizal, (4.560ind/m²) que aportó una biomasa de 67,1g/m², en comparación a una selva secundaria, con 1.024ind/m² y biomasa de 18,2g/m². La menor densidad de macrofauna en páramo frente al bosque fue explicada por Rangel-Ch. & Sturm (1994), como consecuencia de la ausencia de hojarasca y con clima más extremo en el primero, a lo que también habría que agregar las propiedades edáficas, pues como se registró en Pajonal, existen mayores contenidos de C, N, CIC, Al y menor densidad aparente.

Bosque1 posee un pH mayor de cinco, condición en la que se forma alófana (Shoji *et al.* 1982), en tal caso y por la altitud, se puede estar presentando una coexistencia de complejos de humus-Al con alófana (Zehetner *et al.* 2003; Buytaert *et al.* 2005). Bosque2, además de la acentuada disminución de C, N, CIC y Al, registra una mayor densidad aparente y densidad de moluscos, con diferencia estadística significativa de Pajonal y, el ACP, asocia este sitio con el incremento de arena, densidad aparente y fósforo, variables que correlacionan positivamente entre sí y negativamente con C, N y CIC. Es posible que las particularidades de Bosque2 estén marcadas por su posición en la vertiente del cauce de agua, de ahí que una mejor circulación y disponibilidad de agua, así como un microclima protegido de los vientos, puede coadyuvar a un mayor grado de descomposición de la materia orgánica, por lo cual, las variables asociadas aparecen con niveles más bajos. A su vez, la ubicación en la vertiente de la quebrada, explica el porcentaje más alto de arena, que contribuye al aumento de densidad. El contenido más alto de fósforo, igualmente, se puede explicar, en relación con el menor contenido de materia orgánica, pues correlaciona, en forma positiva, con densidad aparente (r: 0,96 p: 0,00) y negativa, con C (r: -0,76 p: 0,02), CIC (r: -0,79 p: 0,01), N (r: -0,82 p: 0,01) y Fe (r: -0,93, p: 0,00). Zehetner *et al.* (2003) y Zehetner &

Miller (2006) asociaron el contenido de C y los grupos activos OH-Al con la retención del fósforo; cuando el horizonte A registró 7,5% de C, la fijación de P fue 88%, pero con 3,4% de C, el P inmovilizado fue del 61%. De igual forma, encontraron que el P disponible tenía valores de intermedio a bajo, en suelos por encima de 3.200m, donde aumenta la materia orgánica, mientras que el P se incrementaba en suelos por debajo de 2.700m, donde decrece la materia orgánica.

En otras palabras, esta exploración inicial conlleva a inferir que las propiedades edáficas de los tres sitios presentan particularidades en buena parte, debidas a diferencias en la dinámica de la materia orgánica, con incidencias en la macrofauna. En un lado, Pajonal con contenidos más altos de C, N, CIC y Al, y más bajos de densidad aparente, tendería a acumular materia orgánica, relacionada con el pH más ácido y formación de complejos de Al-humus, condición en la que si bien disminuye la densidad de macrofauna, se posibilita un incremento de su biomasa. En Bosque1 habría un nivel intermedio de materia orgánica asociada a un pH mayor de cinco, donde pueden coexistir complejos de Al-humus con alófana. En el otro extremo, en Bosque2, habría mayor descomposición de la materia orgánica, con aumento en la densidad del total de macrofauna, dada su ubicación en la vertiente de la quebrada.

CONCLUSIÓN

Se sugiere que bosque de ladera, bosque en vertiente de fuente de agua y Pajonal, ubicados a similar altitud, presentan configuraciones edáficas particulares en los primeros 20cm de profundidad. Las principales diferencias, se evidencian entre pajonal y bosque en la vertiente de la fuente de agua; el primero, con contenidos más altos en C, N, CIC y Al y más bajos en densidad aparente, y densidad de gasterópodos, con diferencias estadísticas significativas. Pajonal muestra mayor biomasa de la macrofauna, mientras que el bosque registra más densidad de macrofauna.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Nariño, por el apoyo al proyecto "Caracterización físico biótica y antrópica de la Reserva Natural Pueblo Viejo"; a Benhur Cerón y Luis Navas, compañeros de

investigación; a Elkin Noguera y Silvia Montenegro, estudiantes investigadores, a Fernando Fernández, de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Sede Bogotá.

BIBLIOGRAFIA

- BUYTAERT, W.; SEVINKC, J.; De LEEUWC, B.; J. DECKERS, J. 2005. Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo. *Geoderma* 127:114-129.
- BUYTAERT, W.; DECKERS, J.; WYSEURE G. 2007. Regional variability of volcanic ash soils in south Ecuador: The relation with parent material, climate and land use. *Catena* 70:143-154.
- CHAMORRO, C.; ZULUAGA, D. 1998. Comunidades bioedáficas de tres regiones naturales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 28:269-272.
- CORAL, D.; BONILLA, C. 2002. Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del Lago Guamués, Pasto, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 32:157-160.
- DECAËNS, T.; LAVELLE, P.; JIMÉNEZ, J.; ESCOBAR, G.; RIPPSTEIN G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia 1994. *Eur. J. Soil Biol.* 30(4):157-168.
- POULENARD, J.; PODWOJEWSKI, P.; HERBILLON A. 2003. Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma* 117:267-281.
- RANGEL-CH, O.; STURM, H. 1994. Consideraciones sobre la vegetación, la productividad primaria neta y la artropofauna asociada en regiones paramunas de la cordillera oriental. En: Mora & Sturm, eds. *Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino, cordillera oriental de Colombia*, Tomo 1. Guadalupe, Bogotá. 47-70.
- ROBERTSON, K.; FLÓREZ, A.; CEBALLOS, J.L. 2002. Geomorfología volcánica, actividad reciente y clasificación en Colombia. *Cuadernos de Geografía*. 11(2):37-60.
- RONDÓN, M.; AMÉZQUITA, E.; DÍAZ, E.; CHÁVEZ, L.; PAZ, L.; CHÁVEZ J. 2002. Efecto de cambios en el uso del suelo sobre los almacenamientos de carbono y flujos de gases de efecto invernadero en áreas del Páramo de las Ánimas, Cauca, Colombia. En: *Congreso Mundial de páramos*, tomo 1. IDEAM (Bogotá). p.154-159.
- SHOJI, S.; FUJIWARA, Y.; YAMADA, I.; SAIGUSA, M. 1982. Chemistry and clay mineralogy of Ando soils, Brown Forest soils, and Podzolic soils formed from recent Towada ashes, northeastern Japan. *Soil Sci.* 133:69-86.
- ZEHETNER, F.; MILLER, W.P.; WEST, L.T. 2003, Pedogenesis of Volcanic Ash Soils in Andean Ecuador. *Soil Science Soc. Am.* 67:1797-1809
- ZEHETNER, F.; MILLER, W.P. 2006. Soil variations along a climatic gradient in an Andean agro-ecosystem. *Geoderma* 137:126-134

Recibido: Junio 19 de 2008

Aceptado: Febrero 20 de 2009

UN MODELO PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN TRES ESPECIES FORESTALES DE FORMA NO DESTRUCTIVA

A NON-DESTRUCTIVE MODEL FOR ESTIMATING LEAF AREA IN THREE FOREST SPECIES

Marco Cabezas-Gutiérrez
Fernando Peña
Héctor William Duarte
José Fernando Colorado
Rodrigo Lora Silva¹

RESUMEN

Se realizó un estudio de relación entre el área foliar individual y medidas lineares de la hoja de aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) familia Betulaceae, magle (*Escallonia pendula* Pers.) familia (*Escalloniaceae*) y roble (*Quercus humboldtii* Bompland) familia Fagaceae, en condiciones de campo. El objetivo de este estudio fue comparar la eficacia de los modelos lineales, producto de mediciones directas no destructivas del área de la hoja, para luego realizar una validación, a partir de un nuevo conjunto de datos, en condiciones diferentes. El análisis de regresión del área en función del largo de la hoja (Lh), del ancho máximo de la hoja (Ah) y del producto del largo por el ancho (LhxAh) condujo a proponer modelos que pueden ser usados para la estimación apropiada del área foliar individual de la hoja. Para todas las especies, el mejor modelo fue de forma $AF = a + b(LhxAh)$, con coeficientes de determinación superiores a 0,95. En la validación de los modelos, se encontró que la relación entre el área de la hoja media y el área estimada, mediante la respectiva ecuación, fue significativa al nivel de 0,1% y el r^2 fue de 0,99 en todos los casos. Se concluye, que los modelos lineales encontrados para estimar el área foliar de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii* pueden ser usados en estudios biológicos,

agronómicos, ecofisiológicos, ambientales y forestales, con alto grado de precisión y rapidez.

Palabras clave: Área foliar, forestales, regresión lineal, modelos.

SUMMARY

Relationship studies were carried out between leaf area and linear measurements of leaves of alder (*Alnus acuminata* H. B. K) (Betulaceae), magle (*Escallonia pendula* Pers.) (Escalloniaceae) and oak (*Quercus humboldtii* Bompland) (Fagaceae), under open field conditions. The experiment was aimed to compare existing predictive linear leaf area models using non destructive measurements and assessing the accuracy of the optimum model selected from a new data set, under different conditions. The regression analyses of leaf length (Ll), leaf width (Lw) and the product Ll x Lw revealed several models that could be used to estimate the individual leaf area. For all species the best model was $La = a + b(Ll \times Lw)$, with the upper determination coefficients being 0.95. When validating the models it was found that the relationship between the actual leaf area and the predicted one, given by the developed equation was significant at level of 0.1% with a r^2 of 0.99 for all the cases. In conclusion, the linear model, found for the leaf area estimation of *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii* can be used in biological, agronomical, environmental, ecophysiological and forestry research with high accuracy and rapidity.

¹ Docentes investigadores. Facultad de Ingeniería Agronómica. U.D.C.A. Dirección para correspondencia: Calle 222 No. 55-37, Bogotá D.C. mcabezas@udca.edu.co.

Key words: Leaf area, forestry, linear regression, models.

INTRODUCCIÓN

Las mediciones del área foliar (AF) son parte fundamental de la investigación en fisiología vegetal, en la agricultura y en la dendrología (Broadhead *et al.* 2003). El área foliar está asociada con la mayoría de procesos agronómicos, biológicos, ambientales y fisiológicos, que incluyen el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Kucharik *et al.* 1998). Los fisiólogos vegetales, los biólogos y los agrónomos demostraron la importancia del área foliar en la estimación de crecimiento vegetal, en la determinación de etapas fenológicas, en la estimación del potencial de rendimiento biológico y agronómico, en el cálculo del uso eficiente de la radiación solar, como también en el cálculo del uso eficiente del agua y de la nutrición mineral (Sonnentag *et al.* 2008).

Medir la superficie foliar de un elevado número de hojas puede ser costoso, engorroso y de alto consumo de tiempo. Varios métodos son propuestos para la medición del área de las hojas, pero en ocasiones, ésta se hace difícil, por cuanto los sitios experimentales se encuentran alejados de los centros de investigación y las condiciones de desplazamiento, tiempo, clima y recursos, dificultan el muestreo destructivo, o porque el uso de instrumentación sensible es de alto costo (Ross, 1981; Ajayi, 1990). Esto induce a cometer errores en los cálculos y hace que se desvirtúen los procedimientos.

La determinación del área foliar, se puede realizar por métodos directos e indirectos. Dentro del primer grupo, se destacan las mediciones de hojas a partir de siluetas formadas por los bordes, las cuales, son estampadas en papel y, luego, se miden sus atributos, ya sea por la relación peso:área de figuras circulares o cuadradas, o por fotocopiado sobre papel milimetrado; este método ha sido usado, históricamente, con altos niveles de precisión y con facilidades de realizarlo sin muestreo destructivo (Jonckheere *et al.* 2004; Ross, 1981). Sin embargo, la mayor desventaja consiste en que la medición es casi imposible de realizar en hojas divididas y con figuras irregulares; tampoco es aplicable para acículas de coníferas, aunque sirve como referencia para probar otras metodologías (Roberts *et al.* 2005).

Existen métodos estándares, donde las hojas se aproximan a figuras geométricas regulares, cuyas áreas son fáciles de calcular (Kucharik *et al.* 1998; Levy & Jarvis, 1999). La alta velocidad para realizar mediciones es la principal ventaja, pero tienen la dificultad de ser muy poco precisos y la subjetividad a la hora de escoger la forma geométrica adecuada en hojas, que, por lo general, son irregulares. Esto conlleva a que las mediciones no representen la realidad del tamaño del área foliar de la planta.

Los planímetros y las cámaras digitales son usados en la actualidad como métodos indirectos de medición del área foliar (Eriksson *et al.* 2005; Jonckheere *et al.* 2004). Los primeros presentan ciertas ventajas, como rapidez para obtener datos y alta eficiencia en el procesamiento de muestras, pero no son precisos, debido, principalmente, a las propiedades ópticas de la hoja y la dependencia de fuentes de energía. Cuando los instrumentos son estáticos, se requiere de muestreo destructivo y en algunos casos, cuando son portables, no pueden ser usados con hojas de gran tamaño en la lámina foliar (Beerling & Fray, 1990). El mayor problema de las imágenes tomadas con cámara digital es el ángulo foliar, el cual, en la mayoría de ocasiones, no es totalmente plano, hecho que produce altos niveles de error procedimental (Craig-Macfarlane *et al.* 2007).

Los métodos de cálculo consisten en aproximar en alto grado el área de la hoja, mediante regresiones de tipo lineal. También pueden ser relaciones logarítmicas, exponenciales o de otro tipo, donde la medición de un atributo, ya sea el largo de la lámina foliar, el ancho de la hoja o los dos combinados, representen un factor altamente dependiente, que al ser multiplicado por un coeficiente, arroje como resultado el valor muy cercano al real (Peksen, 2007; Cittadini & Peri 2006; Nautival *et al.* 1990). Normalmente, se realizan pruebas estadísticas de alta sensibilidad para validar el modelo (Demirsoy *et al.* 2005). Este método tiene enormes ventajas, puesto que reduce el muestreo destructivo, permite valorar un mayor número de muestras y no depende de equipos ni condiciones, como electricidad y energía de trabajo.

En general, los procedimientos de estimación del área de la hoja involucran medidas de longitud de la lámina foliar, longitud del limbo, ancho de la hoja y la mezcla de estos atributos, mediante la correlación de dichas características con el área de la hoja, producto

de un análisis de regresión (Gutezeit, 2000; Beerling & Fray, 1990). En la medida en que el método sea cuidadosamente probado y validado, se permite su empleo en diversas situaciones, proporcionando facilidad para la obtención de datos confiables y repetibles en el tiempo.

Existen numerosos trabajos, en donde se demuestra la objetividad y la utilidad del método, especialmente, en cultivos semestrales (Peksen, 2007; De Swart *et al.* 2004; Bange *et al.* 2000; Gutezeit, 2000; Panta & NeSmith, 1994), en cultivos hortícolas (Gutiérrez & Lavin, 2000; Cittadini & Peri, 2006; Mendoza de Gyves *et al.* 2007) y en algunas plantas leñosas (Singh, 2007 Broadhead *et al.* 2003; Peper & McPherson, 2003; Arcila, 1991, pero no en especies forestales tropicales adaptadas a clima frío.

El presente trabajo tuvo como fin determinar un método rápido, fácil y de bajo costo para medir el área foliar de aliso (*Alnus acuminata* H.B.K) familia Betulaceae, magle (*Escallonia pendula* Pers) familia Escalloniaceae y roble (*Quercus humboldtii* Bompland) familia Fagaceae, especies forestales de interés en programas de reforestación, manejo de erosión, captura de carbono y producción de oxígeno en el trópico alto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre septiembre y octubre de 2007 y de marzo a abril de 2008, se seleccionaron plantas de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii* de tres años de edad, en las localidades de Tenjo (Cundinamarca) y Firavitoba (Boyacá). En Tenjo, se usó un lote reforestado con estas especies, el cual, está localizado a 2780msnm, con temperatura media del aire de 13°C, precipitación de 900mm anuales y 1100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de fotones como flujo fotónico fotosintético (FFFT). En Firavitoba, se emplearon árboles procedentes de una finca reforestada, ubicada a 2450msnm, con temperatura media del aire de 16°C, 750mm de precipitación media anual y 1540 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de FFFT. De cada localidad, se tomaron 100 hojas por especie, de tamaño y edad variables, provenientes de 20 árboles, escogidos al azar. Se colocaron en bolsas plásticas y, luego, se pasaron a neveras portátiles y se condujeron al laboratorio de Fitotecnia de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, con base en la metodología

empleada por Mendoza de Gyves *et al.* (2007) y De Swart *et al.* (2004).

A cada hoja, se le determinó el área foliar, mediante un analizador portátil tipo CID 202 Portátil Leaf Área Meter, con 0,1mm² de resolución y se midió el largo de la lámina foliar. A las hojas de *A. acuminata* y *Q. humboldtii* se les retiró el pecíolo y, solamente, se tuvo en cuenta la longitud del limbo. En el caso de *E. pendula*, se midió el largo total de la hoja, por su característica semi-sésil. El ancho, se registró en tres puntos de la parte más amplia de la lámina foliar y se promedió.

Con los datos de largo de la lámina foliar (Lh), ancho máximo de la lámina foliar (Ah), el producto del largo por el ancho (LhxAh), se procedió a realizar los respectivos análisis de regresión lineal, para las variables en referencia respecto al área individual de la hoja, mediante el uso del programa EXCEL de Microsoft Office 2007® (Samuels & Witmer, 2003). A partir de los resultados encontrados, se escogieron los modelos que presentaron los mayores coeficientes de determinación (R²) y los menores cuadrados medios del error (CME). Para las tres especies, el producto LhxAh fue el escogido tal y como lo muestra la tabla 1.

Una vez seleccionados los modelos de mayor grado de precisión y de validez biológica, se tomaron 100 hojas de cada especie, con tamaños y edades distintas; en este caso y con el fin de aplicar lo encontrado en condiciones ambientales diferentes, las plantas utilizadas fueron seleccionadas del área de influencia del campus universitario de la U.D.C.A, localizado a 2560msnm, con temperatura media del aire de 14°C, flujo fotónico fotosintético promedio de 1250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y precipitación de 890mm anuales. Mediante muestreo destructivo, se midió el área foliar, se tomaron los atributos de largo y ancho de la hoja en cada caso. Se aplicó el modelo $y = a + b(LhxAh)$ y mediante la sustitución de valores, se calculó el área foliar estimada, procedimiento empleado en otras especies, por Akram-Ghaderi & Soltani (2007); Roupheal *et al.* (2006) y Demirsoy *et al.* (2005).

Posteriormente, los datos de área foliar estimada y área foliar obtenida por medición directa, se llevaron a un análisis de regresión lineal, para determinar el grado de precisión de los modelos. En este caso también, se aplicó el paquete EXCEL 2007, de Microsoft Office®.

Tabla 1. Coeficientes a y b de los modelos usados para estimar el área foliar de *A. acuminata* (A), *E. pendula* (E) y *Q. humboldtii* (Q), a partir de la longitud (Lh) y ancho máximo (Ah) de hojas individuales.

MODELO	FORMA	COEFICIENTES*			CME
		a	b	R ²	
1 A	AF= a + bLh	25,72(±1,208)	7,134(±0,141)	0,928	368,42
2 A	AF= a + bAh	30,41(±1,209)	13,82(±0,254)	0,937	306,32
3 A	AF = a + b(LhxAh)	1,33(±0,439)	0,804(±0,010)	0,97	235,56
1 E	AF= a + bLh	57,92(±2,409)	6,08(±0,114)	0,935	1550,13
2 E	AF= a + bAh	31,84(±1,589)	26,35(±0,388)	0,959	1410,56
3 E	AF = a + b(LhxAh)	8,312(±0,801)	0,72(±0,009)	0,971	1161,08
1 Q	AF= a + bLh	52,06(±1,735)	7,85(±0,129)	0,949	696,49
2 Q	AF= a + bAh	54,55(±2,446)	28,47(±0,647)	0,907	887,09
3 Q	AF = a + b(LhxAh)	3,226(±0,908)	1,054(±0,012)	0,955	643,31

*a, es la constante, b el coeficiente de regresión lineal, R² el coeficiente de determinación y CME el cuadrado medio del error expresado en cm². Los números entre paréntesis corresponden al error estándar de cada coeficiente. 300 hojas por cada especie, se usaron para los cálculos del área foliar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de los parámetros foliares variaron de la siguiente forma: *A. acuminata* presentó un largo promedio de 8,38cm, un ancho promedio de 4,67cm, con variación entre 4,8 y 12,4cm y 2,5 a 7,2cm. Para *E. pendula*, el promedio de largo de la lámina foliar fue de 20,69cm, con variaciones de 12,5 y 28,3cm, mientras que el ancho promedio fue de 3,78cm y variaciones entre 1,8 y 5,7cm. *Q. humboldtii* presentó promedios para el largo de la lámina foliar, sin pecíolo, de 13,03, con variaciones entre 7,3 y 19,8cm, con ancho promedio de 3,68cm y variaciones entre 1,9 y 5,5cm. La relación alométrica largo por ancho fue de 5,5:1, para *E. pendula*; 3,5:1, para *Q. humboldtii* y 1,8:1, para *A. acuminata*. Los anteriores datos reflejan las formas particulares de cada especie: *A. acuminata*, con forma más circular de hoja; *E. pendula* con forma alargada y *Q. humboldtii*, de forma intermedia.

De acuerdo a la tabla 1, los nueve modelos probados presentaron coeficientes de determinación superiores a 0,9 y solamente 1A y 2Q fueron inferiores a 0,93, todos con alto nivel de significancia estadística para la

regresión ($p < 0,001$), tal y como lo expresa Bozhinova (2006). Lo anterior demuestra que para las tres especies es posible utilizar solo una medición, ya sea el ancho o el largo de su lámina foliar, para estimar, con alto nivel de confiabilidad, el área foliar total; sin embargo, cuando se multiplica el ancho por el largo, los coeficientes son superiores y permiten tener mayor grado de exactitud y de precisión en las mediciones. Esta respuesta coincide con lo encontrado por Cittadini & Peri (2006), en cerezas, Singh (2007) en guayaba y Nautival *et al.* (1990), en manzanas, plantas que tiene hojas con formas similares a las especies evaluadas en la presente investigación. Una limitante a la rapidez del método sería el tiempo que se necesita para realizar la medición, pues no solo debe ser medido un atributo, sino los dos y, en ocasiones, como en el caso de *Q. humboldtii*, el ancho foliar máximo es difícil de encontrar rápidamente y se necesita promediar varias mediciones.

Para las tres especies, se seleccionaron los modelos tipo $AF = a + b(LhxAh)$. En el caso de *Q. humboldtii*, los modelos 1Q y 3Q (Tabla 1), presentaron R² similar, pero el modelo que contempla solamente el largo de la lámina foliar tiene un error estándar mayor.

De los tres modelos, $3E$ fue el que presentó un menor valor en el error estándar de b_1 , un aspecto muy importante, pues es posible que la amplitud de los valores X , en este caso, el producto de largo por ancho de la hoja, sea mayor y, por tanto, el estimado tenga alta dispersión y mayor grado de confiabilidad, de acuerdo a lo indicado por Samuels & Witmer (2003). O que la desviación estándar de la media sea baja, lo cual, redundaría en un alto grado de precisión a la hora de capturar los datos.

De cualquier forma, los componentes de las ecuaciones derivadas del modelo que integra el producto del largo por el ancho de la lámina foliar ($LhxAh$) son similares a los establecidos por otras investigaciones. La pendiente (b) para *A. acuminata* fue de 0,80, para *E. pendula* 0,72 y para *Q. humboldtii* 1,05, mientras que en *Actinidia deliciosa*, Mendoza de Gyves *et al.* (2007) encontraron un coeficiente de 0,80, y de 0,97 a 1,1 en *Amaranthus caudatus* (Ajayi, 1990). Valores 0,71, en manzanas (Nautival *et al.* 1990) y 0,69 en hojas de *Capsicum annum* (De Swart *et al.* 2004), datos que confirman la utilidad del método en hojas con formas similares a las especies trabajadas en este estudio.

En síntesis, se deduce por los datos estadísticos, que los siguientes modelos matemáticos pueden ser usados para calcular el área foliar de forma no destructiva: para *A. acuminata* $AF = 1,333 + 0,84(LhxAh)$; para *E. pendula* $AF = 8,312 + 0,72(LhxAh)$ y para *Q. humboldtii* $AF = -3,226 + 1,054(LhxAh)$. Los coeficientes de determinación (R^2) para cada caso fueron 0,97; 0,97 y 0,96. Valores similares fueron publicados por otros investigadores, para estimar el área individual de la hoja, con el uso del producto largo por ancho de la misma. Mendoza de Gyves *et al.* (2007) reportaron un valor R^2 de 0,98 para hojas de *A. deliciosa*, Singh (2007) 0,96 en hojas de *Psidium guajaba*, mientras que Bange *et al.* (2002) encontraron un R^2 de 0,97 en hojas de *Helianthus annuus*.

Al analizar las gráficas obtenidas de los tres modelos escogidos (Figura 1), se observa que *E. pendula*

presenta mayor amplitud en los datos correspondientes a la variable independiente (X), lo que indica mayor grado de confianza al tomar mediciones ya sea en hojas pequeñas o con tamaño muy superior al promedio. Debido a esto, el error estándar de la pendiente es menor para especie y el coeficiente de determinación fue el más alto de todos los modelos.

La comparación entre los datos medidos y los datos estimados del área de la hoja de las tres especies, mediante el modelo $AF = a + b(LhxAh)$, produjo un alto coeficiente de correlación (r^2) entre las dos técnicas para las tres especies, el cual, fue de 0,99, en todos los casos, mientras que se presentaron altos niveles de significancia para la prueba de comparación de medias ($p < 0,001$). La validación del modelo es un paso importante para asegurar las implicaciones de la ecuación producida para predecir valores del área de las hojas, a través de mediciones rápidas y de bajo costo. Este aspecto es de gran importancia, especialmente, en plantas perennes, donde el muestreo destructivo limita, en muchas ocasiones, el seguimiento en el tiempo de procesos fisiológicos como la fotosíntesis foliar, la respiración, el crecimiento de órganos, el uso eficiente del agua y el uso eficiente de la radiación solar. La variación explicada para los tres modelos, entre lo observado y lo predicho, fundamenta el uso de las fórmulas con seguridad y precisión (Tabla 2).

En las figuras 2, 3 y 4, se observa la relación entre de los valores estimados y los valores medidos directamente del área individual de las hojas de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii*. Algunas investigaciones validan lo aquí expresado. Demirsoy *et al.* (2005) encontraron r^2 de 0,99, para área de hojas en fresa y Mendoza de Gyves *et al.* (2007) hallaron un r^2 de 0,993 en *A. deliciosa*, mientras que Rouphael *et al.* (2006) obtuvieron un r^2 de 0,98 en *Cucurbita pepo* var *suchini*. El alto coeficiente de correlación en los tres casos y la alta significancia estadística de la prueba, permiten establecer con certeza y con exactitud, que los tres modelos seleccionados pueden ser utilizados en trabajos de campo, con alta precisión matemática.

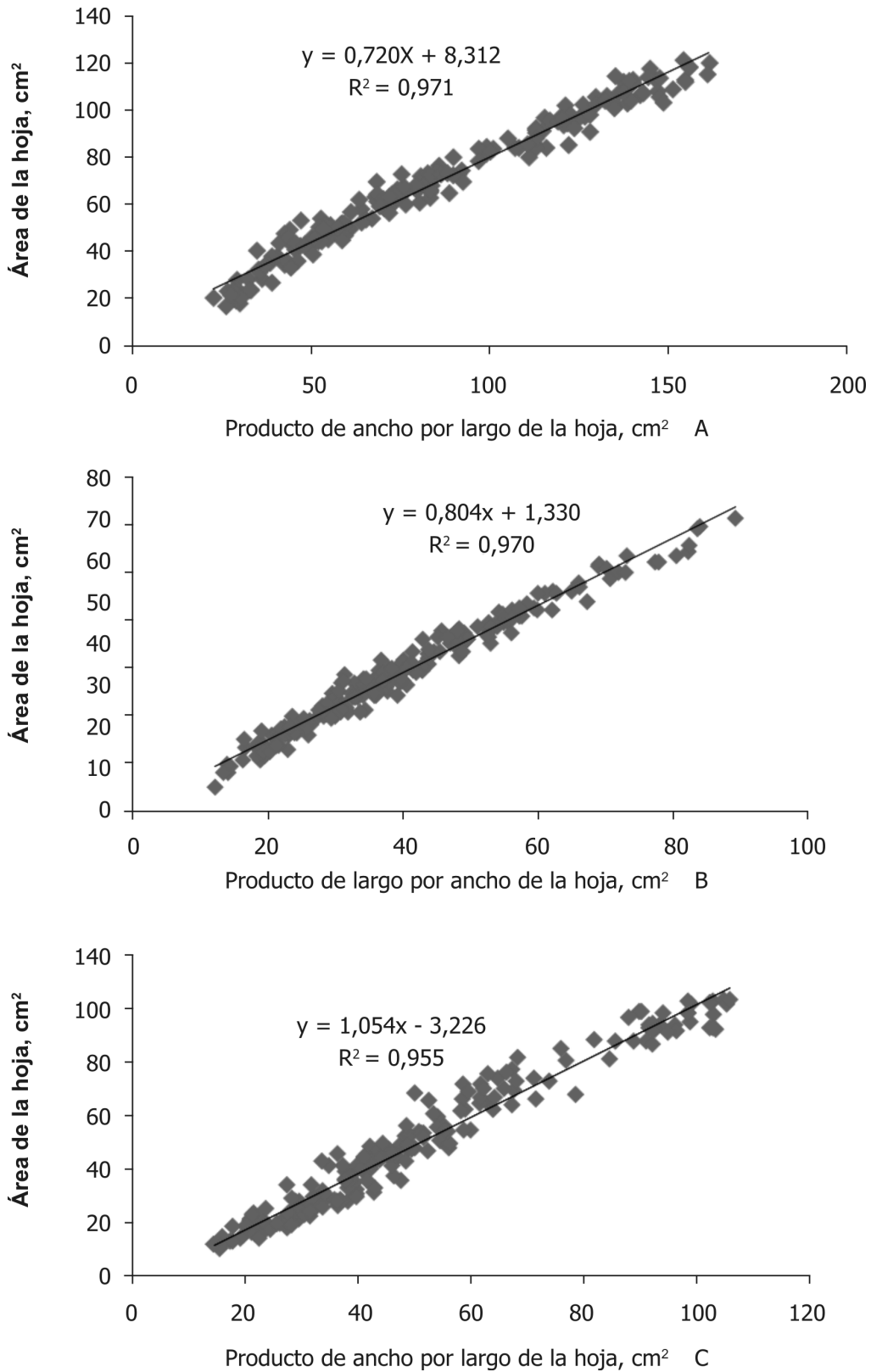


Figura 1. Relación entre el producto largo por ancho y el área foliar individual, en hojas de *Alnus acuminata* (A), *Escallonia pendula* (B) y *Quercus humboldtii* (C).

Tabla 2. Análisis de regresión para los valores estimados y valores medidos del área de hojas individuales de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii*, a partir del modelo $AF = a+b(Ah \times Lh)$.

<i>A. acuminata</i>						
Fuente	G.L	C. Medio	F.C	Significancia	E.E*	R ²
Regresión	1	28434,68	7741	***	1,9165	0,9875
Residual	98	3,6731				
Total	99					
<i>E. pendula</i>						
Fuente	G.L	C. Medio	F.C	Significancia	E.E	R ²
Regresión	1	71947,39	9870,48	***	2,6998	0,99
Residual	98	7,289				
Total	99					
<i>Q. humboldtii</i>						
Fuente	G.L	C. Medio	F.C .	Significancia	E.E	R ²
Regresión	1	54647,88	8559,4	***	2,4836	0,989
Residual	98	6,1683				
Total	99					

*error estándar de la media.

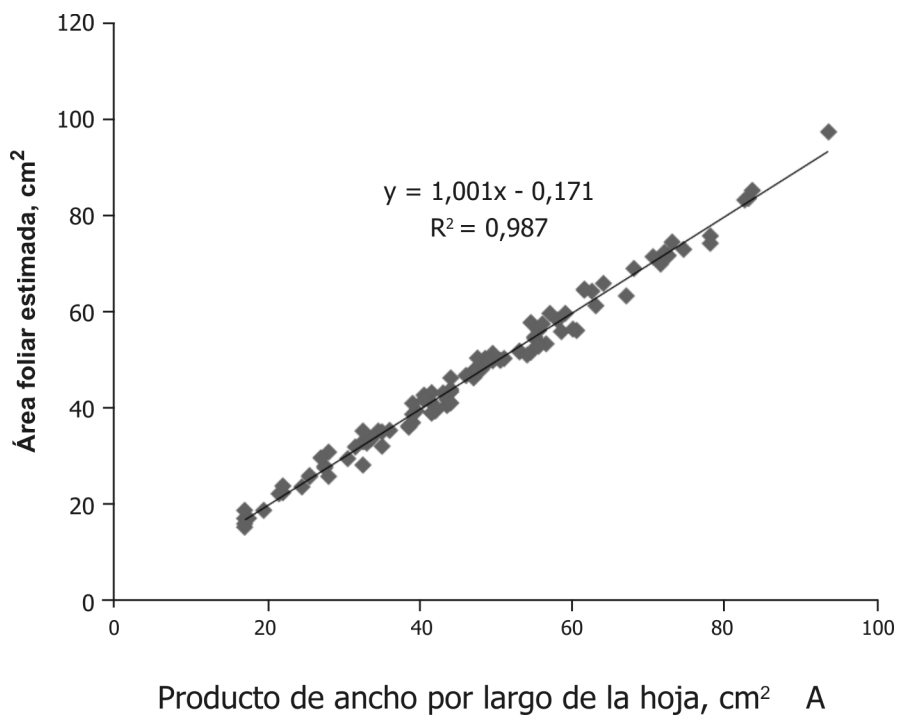


Figura 2. Relación entre el área foliar estimada y el área foliar, medida en hojas de *Alnus acuminata*.

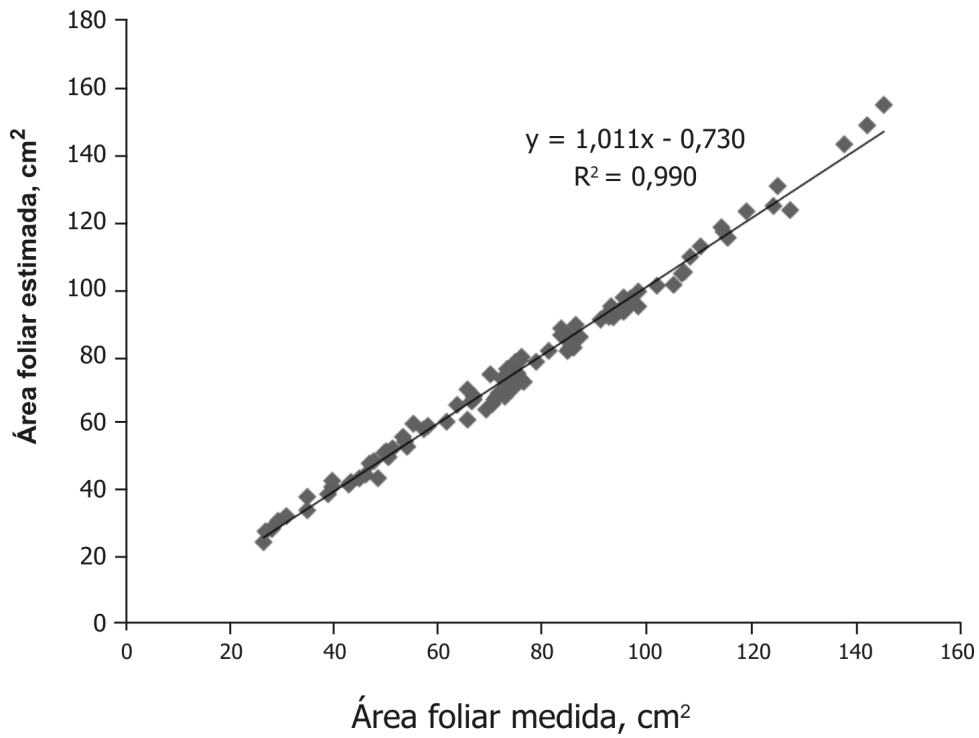


Figura 3. Relación entre el área foliar estimada y el área foliar, medida en hojas de *Escallonia pendula*.

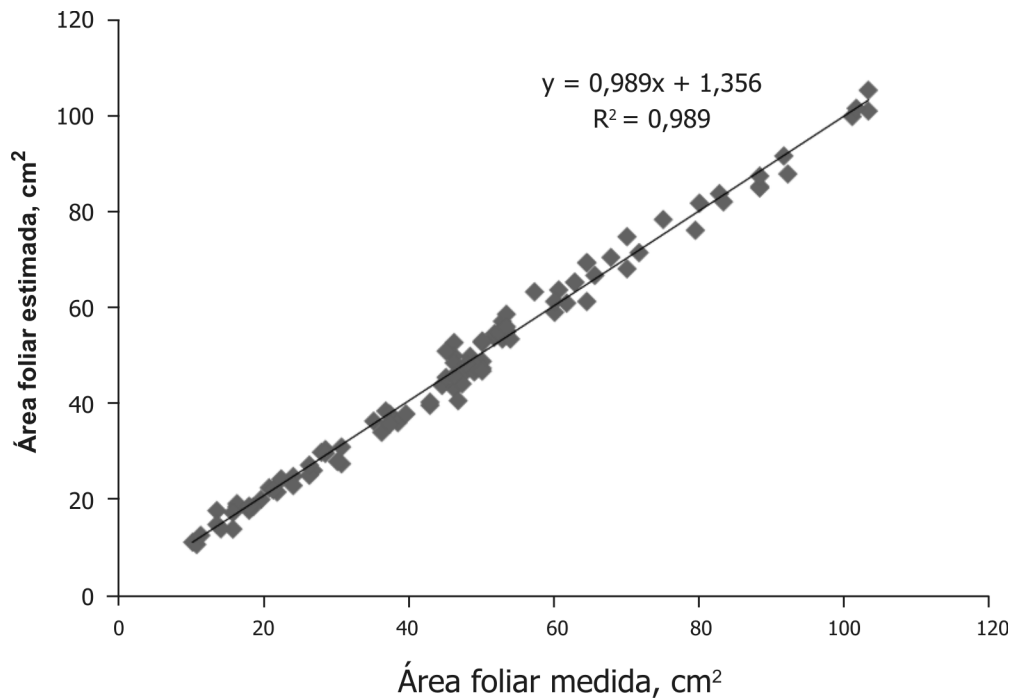


Figura 4. Relación entre el área foliar estimada y el área foliar, medida en hojas de *Quercus humboldtii*.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente ensayo, el modelo que utiliza las medidas de longitud y ancho de las hojas, producto de la multiplicación de los dos atributos foliares, puede proveer estimaciones de alta precisión para la determinación rápida y económica del área foliar en plantas de *A. acuminata*, *E. pendula* y *Q. humboldtii*. Las ecuaciones propuestas en la presente investigación pueden ser empleados con seguridad en estudios fisiológicos, biológicos, ambientales, agronómicos, ecológicos y forestales, sin necesidad de recurrir al muestreo destructivo.

Se demuestra que esta técnica es una herramienta muy útil para realizar estudios de vegetación en zonas donde no se pueda tener acceso a tecnología de punta, para realizar mediciones electrónicas.

Es posible también usar uno de los dos atributos de la hoja, ya sea el largo o el ancho de las mismas, especialmente, en *A. acuminata* y *E. pendula*, para estimar el área de la hoja. Esto reduce el tiempo de medición y facilita el manejo de la información. Queda en manos de los investigadores el empleo de los modelos, dependiendo de los objetivos y las condiciones del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AJAYI, N.O. 1990. Rapid determination of leaf area in ovate vegetable leaves by linear measurements. *J. Hort. Sc.* 65(1):1-15.
- AKRAM-GHADERI, M.; SOLTANI, F.A.. 2007. Leaf area relationships to plant vegetative characteristics in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown in a temperate subhumid environment. *Internat. J. Plant. Prod.* 1(1): 63-71.
- ARCILA, P.J. 1991. Métodos rápidos para la determinación de área foliar de café en campo. En: XXI Congreso anual y Primer Simposio Nacional sobre Fisiología de la Nutrición Mineral. Manizales, 20, 21 y 22 de febrero, 77p.
- BANGE, M.P.; HAMMER, G.L.; MILROY, S.P.; RICKERT, K.G. 2000. Improving estimates of individual leaf area of Sunflower. *Agron. J.* 92:761-765.
- BEERLING, D.J.; FRAY, J.C. 1990. A comparison of the accurate variability and speed of five different methods for estimating leaf area. *Ann. Bot.* 65:483-488.
- BOZHINOVA, R.P. 2006. Coefficients for determination of the leaf area in three burley. *J. Central Eur. Agric.* 7(1):7-12.
- BROADHEAD, J.S.; MUXWORTHY, A.R.; ONG, C.K.; BLACK, C.R. 2003. Comparison of methods for determining leaf area in tree rows. *Agric. Forest. Meteorol.* 115:151-161.
- CITTADINI, E.D.; PERI, P.L. 2006. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. *RIA.* 35(1):143-150.
- CRAIG MACFARLANE, C.; HOFFMAN, M.; EAMUS, D.; KERP, N.; HIGGINSON, S.; MCMURTRIE, R.; ADAMS, M. 2007. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. *Agric. Forest. Meteorol.* 143:176-188.
- DEMIRSOY, H.; DEMIRSOY, L.; ÖZTÜRK, A. 2005. Improved model for the non-destructive estimation of strawberry leaf area. *Fruits.* 60:69-73.
- DE SWART, E.A.M.; GROENWOLD, R.; KANNE, H.J.; STAM, P.; MARCELLIS, L.F.M.; VOORRIPS, R.E. 2004. Non-destructive estimation of leaf area for different plant ages and accessions of *Capsicum annum* L. *J. Hortic. Sci. Biotec.* 79:764-770.
- ERIKSSON, H.; EKLUNDH, L.; HALL, K.; LINDROTH, A. 2005. Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agric. Forest Meteorol.* 129:27-37.
- GÜTEZEIT, B. 2000. Non-destructive measurement of fresh plant mass by the gamma-scanning technique applied to broccoli. *J. Agric. Engng. Res.* 75:251-255.
- GUTIÉRREZ, T.A.; LAVÍN, A.A. 2000. Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en vides cv. Chardonnay. *Agric. Téc.* 60(1):9-17.
- JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B., COPPIN, P.; BARET, F. 2004. Review of methods

- for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agric. Forest Meteorol.* 121:19-35.
- KUCHARIK, CH.J.; NORMAN, J.M.; GOWER, S.T. 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index to indirect measurements. *Agric. Forest Meteorol.* 91:69-88.
- LEVY, P.L.; JARVIS, P.G. 1999. Direct and indirect measurements of LAI in millet and fallow vegetation in HAPEX-Sahel. *Agric. Forest. Meteorol.* 97:199-212.
- MENDOZA DE GYVES, M.; ROUPHAEL, Y.; CRISTOFOTI, V.; MIRA, F.R. 2007. A non-destructive simple and accurate model for estimating the individual leaf area of kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Fruits.* 62:171-175.
- NAUTIVAL, B.M.; SINGH, P.K.; SUKLA, R.N.; PRAKASH, S.; KUMAR, A. 1990. Correcting leaf area measurement by conventional methods: a new approach for apple (*Malus domestica* Borkh). *J. Hort. Sc.* 65(1):15-18.
- PANTA, G.R.; NeSMITH, D.S. 1994. A model for estimating area of muskmelon leaves. *HortScience.* 30:624-625.
- PEKSEN, E. 2007. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). *Scientia Hort.* 113:322-328.
- PEPER, P.J.; McPHERSON, E.G. 2003. Evaluation of four methods for estimating leaf area of isolated trees. *Urban For. Urban Green.* 2:19-29.
- ROBERTS, S.T.; EVANS, TH.L.; McCOMBS, J.W.; HARRINGTON, R.L.; GLASS, P.A. 2005. Estimating individual tree leaf area in loblolly pine plantations using LiDAR derived measurements of height and crown dimensions. *Forest. Ec. Man.* 213:54-70.
- ROSS, J. 1981. The radiation regime and architecture of plant stands. Dr. W. Junk Publisher, The Hague, Ned. 392p.
- ROUPHAEL, Y.; RIVERA, C.M.; CARDARELLI, M.; S. FANASCA, S.; COLLA, D. 2006. Leaf area estimation from linear measurements in zucchini plants of different ages. *J. Hortic. Sci. Biotec.* 81(2):238-241.
- SAMUELS, M.J.; WITMER, J.A. 2003. Statistics for the life sciences. 3rd ed. Pearson Education Inc. N. J. p.525-594.
- SINGH, A. 2007. Approximation of leaf area by using leaf dimensions in guava. I International Guava Symposium. *Acta Hort.* 735:321-324.
- SONNENTAG, O., TALBOT, J.; CHEN, J.M.; ROULET, N.T. 2008. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agric. Forest. Meteorol.* 144:200-212.

Recibido: Septiembre 12 de 2008

Aceptado: Marzo 27 de 2009

ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) BASADA EN MUESTREO NO DESTRUCTIVO

ESTIMATION OF PAPAYA (*Carica papaya* L.) LEAF AREA BASED ON NON-DESTRUCTIVE SAMPLING

Carlos Cardona Ayala¹
Hermes Araméndiz Tatis²
Carlos Barrera Causil³

RESUMEN

El cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) es muy importante en la fruticultura del departamento de Córdoba, por la buena calidad de la fruta producida. La investigación, se realizó en Montería, a 13msnm, temperatura media de 27,4°C, precipitación anual de 1346,1mm, humedad relativa de 84% y brillo solar anual de 2180,2 horas, con el fin de obtener un modelo que permita estimar el área foliar de la planta, a partir de muestreo no destructivo. Mediante muestreo aleatorio simple, se seleccionaron hojas sanas de plantas adultas, de diferentes tamaños y distintas etapas de desarrollo, de los doseles superior, medio e inferior, de la variedad Maradol roja. Se tomaron medidas longitudinales: largo y ancho máximo de la hoja, ancho de la hoja a un medio, un tercio, un cuarto, un quinto y dos tercios de su largo,

ancho máximo de lóbulos y longitud de nervadura de los mismos, con la finalidad de determinar las medidas altamente relacionadas con el área fotosintética de la hoja. El área foliar (Y), se midió por el método de relación peso: área, sobre una muestra de 30 hojas por dosel. Se construyeron modelos de regresión simple y múltiple, para luego seleccionar el de mejor ajuste. Se seleccionó un modelo de regresión simple, cuya variable explicativa corresponde a la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente lóbulo medio (X). El modelo ajustado resultó ser: $\hat{Y} = -303,0742 + 31,2028X$, $R^2 = 0,9335$.

Palabras clave: Papaya, estimación área foliar, Maradol roja, modelos de regresión.

SUMMARY

The papaya (*Carica papaya* L) is a very important crop in the Cordoba state, especially for the good fruit quality. This research was carried out at Montería at 13masl, 27.4°C, annual rainfall of 1346.1mm, 84% relative humidity and 2180.2 hours annual sunlight, in order to obtain a model to estimate the plants leaf area, based on non-destructive sampling. A probability sampling procedure was used to select different size leaves and developmental stages from the upper, middle and lower canopy of adult plants of the red Maradol variety. Maximum leaf length and width, width of the middle third, fourth, fifth and two-thirds of leaf length, lobe width and midrib length of every lobe were registered

¹ M.Sc. Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido, carrera 6 N° 76-103, Montería, Córdoba. E-mail: ccardona@sinu.unicordoba.edu.co

² Ph. D. Universidad de Córdoba, Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido, carrera 6 N° 76-103, Montería, Córdoba. E-mail: haramendiz@hotmail.com

³ Estadístico. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, carrera 6 N° 76-103, Montería, Córdoba. E-mail: cbarrera03@gmail.com; carlosbarrera@itm.edu.co

with the purpose of identifying measures highly related to photosynthetic leaf area. The leaf area (Y) was measured based on the weight:area relation, from 30 leaves per canopy sample. Simple linear regression models and multiple linear regression were adjusted. A simple linear regression model was selected which independent variable representing the length of the midrib, next to the left next lobe and adjacent to the middle lobe (X). The adjusted model was: $\hat{Y} = -303,0742 + 31,2028X$, $R^2 = 0,9335$.

Key words: Papaya, leaf area estimation, red Maradol, regression models.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papaya es muy importante en la fruticultura del Departamento de Córdoba y Colombia, especialmente, por la buena calidad de la fruta. En el departamento de Córdoba, durante el período 1992 – 2006, fueron plantadas 2133ha, donde se destaca el municipio de Valencia, con 896 hectáreas, con un rendimiento de 21t·ha⁻¹, un volumen de producción de 44958t y una participación del 27%. En el contexto nacional, se ubica como el segundo productor (Agronet, 2008).

La papaya es un fruto de sabor agradable, de alto valor nutritivo por ser fuente excelente de vitamina C, con alto contenido de fibra y folato, conocido como vitamina B9, requerida para la producción de glóbulos rojos normales, además de ser un gran auxiliar para la digestión; la papaya roja también es rica en Vitamina A (Anuario Estadístico de Veracruz, 2001).

Las hojas, en conjunto, constituyen el órgano más importante de la planta y juegan el papel principal en las actividades anabólicas por medio de la clorofila, que poseen en abundancia, único medio para los procesos fotosintéticos. El área foliar total, que ha sido directamente relacionada con la cantidad de clorofila, es un parámetro importante para estimar la habilidad de la planta para sintetizar materia seca (Campostrini & Yamanishi, 2001).

El área foliar es uno de los parámetros más significativos en la evaluación del crecimiento de las plantas; su adecuada determinación durante el ciclo del cultivo posibilita conocer el crecimiento y el desarrollo de la planta, la eficiencia fotosintética y, en consecuencia, la

producción total de la planta (Teruel, 1995; Costa, 1999). Así mismo, ayuda en la definición de la época ideal de siembra y de transplante: si no se tienen en cuenta otros factores, los cultivos deben ser sembrados en ciertas épocas, en las cuales, el máximo valor de índice del área foliar coincida con la época de elevada radiación, cuando la fotosíntesis líquida sea máxima (Galvani *et al.* 2000). De igual manera, sirve para estimar las necesidades hídricas de los cultivos (Allen *et al.* 1997), por lo que se requieren modelos matemáticos sencillos y rápidos, para su estimación (Guo & Sun, 2001; Arjona, 2003).

Se ha propuesto que las mediciones de los incrementos del área foliar y su duración ofrecen un método alternativo para estimar el potencial fotosintético de las plantas. Recientes estudios y modelaciones de las interacciones entre los regímenes dinámicos de radiación y el desarrollo de las hojas, en conjunto, se han enfocado sobre la interceptación total de la energía radiante, como un factor predictor de la producción de materia seca (Campostrini & Yamanishi, 2001).

Los métodos directos de medición de área foliar están restringidos al uso de equipos automáticos costosos; el empleo de planímetros resulta muy tedioso y, en algunos experimentos, el tiempo es insuficiente para realizar tales mediciones (Manivel & Weaver, 1974). La estimación del área foliar a través de modelos matemáticos, con mediciones directas en las hojas, es bastante preciso, económico y no destructivo (Blanco & Folegatti, 2003).

Un modelo matemático es una simplificación del sistema real y consiste en una ecuación o juego de ecuaciones, las cuales, representan cuantitativamente las hipótesis acerca del sistema real. Estos modelos, se emplean en muchos campos y, a través de ellos, se han hecho simulaciones y elaborado ecuaciones, para facilitar las mediciones en el crecimiento de las plantas cultivadas (Thornely, 1976; Bidwel, 1984; Elser & Jubb, 1988; Kingston & Van Epenhuijsen, 1989; Montoya *et al.* 1991).

El desarrollo de modelos matemáticos a partir de medidas lineales de una lámina foliar para predecir su área fotosintética, se ha usado en diversos estudios de crecimiento y de desarrollo de diferentes especies (Montoya *et al.* 1991; Gamiely *et al.* 1991); algunas de las medidas más comunes tenidas en cuenta en las

ecuaciones de estimación son: longitud de la hoja, ancho de la hoja, longitud del pecíolo, diámetro del pecíolo o combinaciones entre estas variables.

El modelo matemático puede ser obtenido por correlación entre la longitud de la hoja (L), ancho (W) o longitud por ancho (LW) de área foliar (LA) de una muestra de hojas, a través del análisis de regresión. Los métodos no destructivos, se fundamentan en mediciones lineales que son rápidas, fáciles de medir y permiten una buena precisión, en estudios de crecimiento de muchas especies vegetales (Manivel & Weaver, 1974; Sepaskhah, 1977; Chirinos *et al.* 1997; Guo & Sun, 2001; Arjona, 2003; Blanco & Folegatti, 2003; Espitia *et al.* 2006).

La papaya es una fruta posicionada en el mercado nacional y con prospectiva de exportación, debido a que el país posee condiciones de clima, suelo y tecnológicas que lo permiten y el mercado de importaciones hacia Estados Unidos, cada día es más creciente (Anuario Estadístico de Veracruz, 2001), lo cual, hace necesario contribuir al desarrollo del cultivo como sistema de producción eficiente, ya que su conocimiento permite estar atento al crecimiento y desarrollo de la planta y, en consecuencia, a su manejo agronómico en aspectos asociados a las necesidades hídricas, programación de planes de fertilización, para reducir costos y ser mucho más competitivos en la producción. Por lo tanto, el presente objetivo fue obtener un modelo matemático para estimar el área foliar, con la toma de medidas directas de las hojas en campo, sin emplear el muestreo destructivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó en condiciones de campo y de laboratorio en la Universidad de Córdoba (Montería-Colombia), ubicada a una altura de 13msnm, con coordenadas geográficas de 8° 48' de latitud Norte y 75° 52' de longitud Oeste, en un bosque seco tropical, según la clasificación de Holdrige, con precipitación anual de 1346,1mm, temperatura media del aire de 27,4°C, humedad relativa de 84% y brillo solar anual de 2108,2 horas (Palencia *et al.* 2006).

Se llevó a cabo un muestreo aleatorio simple para la selección de hojas, se tomaron diferentes tamaños, en diferentes etapas de desarrollo de las plantas de un cultivo establecido con la variedad Maradol roja, sembrada a 3m, entre plantas y 2,6m, entre hileras,

a partir de los 45 días después del trasplante. Esta variedad es de porte bajo, precoz en el inicio de floración, frutos de tamaño mediano, agradable sabor y susceptible a antracnosis.

La determinación de las variables o medidas de las hojas relacionadas con el área foliar, se hizo sobre una muestra de 30 hojas, de cada uno de los doseles, superior, medio e inferior de plantas adultas, determinados por altura, seleccionando hojas sanas de distintos tamaños. Después del muestreo, las hojas se conservaron en un recipiente térmico con hielo y transportadas al laboratorio, localizado a 10km del cultivo comercial.

Se efectuaron mediciones, con una regla milimetrada, de la longitud de la nervadura central del lóbulo medio (NLM), longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, adyacente al lóbulo medio (NLIALM), longitud de la nervadura central del lóbulo derecho, adyacente al lóbulo medio (NLDALM), longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM) y longitud de la nervadura central del lóbulo derecho, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLDCALM); como variable dependiente el área Foliar (AF).

El área foliar, se obtuvo por el método de relación peso: área o del "sacabocado" de 2,30cm de diámetro (área=4,1548cm²), el cual, es explicado de la siguiente manera: a cada hoja de la muestra se le determinó su masa fresca, extrayendo seis discos de tejidos de cada lámina foliar, luego, se obtuvo la masa fresca de cada uno y se halló la media y el coeficiente de variación de los discos (Pire & Valenzuela, 1995). Seguidamente, se calculó el área foliar de cada hoja, a través de la relación entre el peso fresco y el área unitaria del disco, así:

$$\text{Área foliar} = \frac{\text{Peso total de la hoja} * \text{Área del disco}}{\text{Peso promedio de los discos}}$$

El análisis de las relaciones entre las medidas de las hojas y el área foliar se hizo mediante correlación simple y múltiple, con el fin de extraer información sobre el grado de asociación lineal entre las variables área foliar y las medidas lineales de las hojas.

Se aplicó el paquete estadístico SAS versión 9.1 (SAS, 2007) para la construcción y la selección de los modelos, mediante la técnica "STEPWISE" (regresión paso a

paso), la cual, tiene como criterio de selección el R2 máximo y una prueba de significancia F o un estadístico Cp. Se construyeron y se ajustaron modelos de regresión simple y múltiple; al seleccionado, se le realizaron las respectivas validaciones de los supuestos.

El método de regresión paso a paso o por pasos, consiste en construir, de manera iterativa, una secuencia de modelos de regresión, mediante la adición o eliminación de variables en cada paso. El criterio para añadir o eliminar una variable en cualquier paso, se expresa de manera fácil, en términos de una prueba parcial F.

La regresión por pasos comienza al formar un modelo con una variable que utiliza la variable de regresión que tiene la correlación más grande con la de respuesta y ésta también es aquella de regresión que produce el estadístico F más grande. En general, en cada paso, se examina el conjunto de variables de regresión restantes y se introduce la que tenga el estadístico parcial F más grande, siempre que sea posible. Este procedimiento continua hasta que se alcanza una etapa, en la cual, no se pueden insertar variables adicionales o no se les puede eliminar (Montgomery & Runger, 1996; Rawlings *et al.* 2001)

El estadístico Cp es también una herramienta para la selección del modelo. Cp es definido como:

$$C_p = p + \frac{(s^2 - \hat{\sigma}^2)(n-p)}{\hat{\sigma}^2}$$

Donde p es el número de parámetros en el modelo; s², el cuadrado medio del error para el modelo candidato y $\hat{\sigma}^2$, una estimación de la varianza poblacional σ^2 . Son deseables valores pequeños de Cp (Walpole, 1995).

Las pruebas más comunes sugeridas por la literatura estadística se emplearon para la validación de los supuestos del modelo: normalidad de los errores (prueba de Shapiro Wilk), heteroscedasticidad de los errores (prueba de White), independencia de los errores (prueba de Durbin Watson), aleatoriedad de los residuos (prueba de rachas o de secuencias) y diagnóstico de multicolinealidad, con la prueba de multicolinealidad, basada en la estructura la estructura de la matriz X'X, que se puede escribir como X'X = VD²V', donde V es una matriz ortogonal, cuyas columnas son los vectores propios de X'X, y D² una matriz diagonal de valores propios asociados a los vectores propios correspondientes (Gujarati, 1997; Rawlings *et al.* 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Significancia del modelo y sus parámetros: El análisis de regresión con el PROC REG y el proceso de selección de las variables predictoras, mediante la técnica STEPWISE o paso a paso del programa estadístico SAS permitieron seleccionar, como variable independiente, la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM). La prueba F del análisis de varianza resultó altamente significativa (p>F = 0.0001), entonces, el área foliar (AF=Y) está relacionada linealmente con la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM = X) (Figura 1; Tabla 1). Además, esta variable explica la variación del área foliar (AF=Y) en un 93,35%, es decir, R2=0,9335 y tiene un valor de la estadística Cp = 0,2987, considerado pequeño, de acuerdo con los criterios de selección del modelo (Walpole, 1995).

Tabla 1. Análisis de varianza para la regresión del área foliar en papaya, cultivar Maradol roja.

FUENTE	GL	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F	P
Modelo	1	1727003.83	1727003.83	393.22	<0.0001
Error	28	122973.37	4391.91		
Total	29	1849977.20			

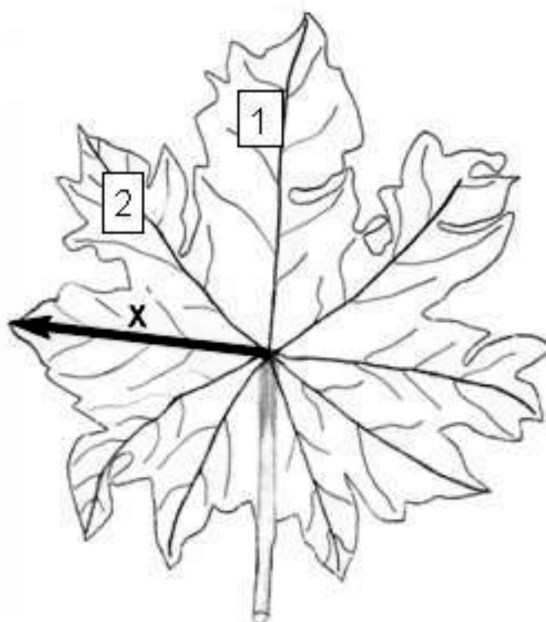


Figura 1. Diagrama de una hoja de papaya mostrando la posición de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM=X). 1) Lóbulo medio; 2) Lóbulo izquierdo adyacente al lóbulo medio.

El modelo de mejor ajuste resultó ser:

$$\hat{Y} = -303.0742 + 31.2028X$$

Según la ecuación estimada, con un error estándar de 1,573cm, por cada centímetro que se incremente la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM = X), el área foliar aumenta en 31,2028cm², con efecto lineal (Figura 2, Tabla 2).

Este resultado difiere con respecto al estudio de Campostrini & Yamanishi (2001), quienes estimaron un modelo único para cuatro genotipos de papaya (Sunrise Solo 72/12, Sunrise Solo T J, Tainung 02 y Know-You 01); cuando utilizaron la medida directa de la longitud de la nervadura central del lóbulo medio, obtuvieron un modelo logarítmico, con un coeficiente de determinación de 0,898.

La línea de regresión estimada sólo es válida dentro del rango de valores de X, es decir, que no es conveniente extrapolar el uso de la línea para otros valores, pues la forma de la respuesta puede cambiar fuera de este rango. Así, los valores encontrados de medidas lineales de la nervadura del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente

al lóbulo medio (NLICALM = X) de las hojas de papaya oscilaron entre 12,1 y 45,4cm, valores comunes en la especie, según la etapa de desarrollo de la hoja.

Se debe anotar que $\hat{\beta}_0$, intercepto cuyo valor en el modelo es de -303,0742cm², no tiene interpretación práctica; sólo es un término de ajuste que permite representar la tendencia de los datos (en el espacio de valores observados para la variable independiente), mediante un modelo de línea recta. Para que sea posible una interpretación de $\hat{\beta}_0$ es necesario que sea físicamente posible que X tome el valor de cero y, además, que se hayan recolectado datos con X=0, lo cual, es imposible cuando se trata de medir el área foliar.

Por otra parte, la variación del coeficiente de regresión $\hat{\beta}_1$ es pequeña, toda vez que el área foliar sufre incrementos entre 27,98 y 34,43cm², por cada centímetro de longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio (NLICALM = X), afirmación respaldada por un coeficiente de confianza de 0,95 (Tabla 2).

Es claro que un modelo o ecuación que permite estimar el área foliar es de gran utilidad práctica, cuando se trata, por ejemplo, de evaluar el efecto de las distintas

Tabla 2. Estimación de los parámetros de la regresión del área foliar en papaya, cultivar Maradol roja.

VARIABLE	COEFICIENTES	ERROR TÍPICO	F	P	INFERIOR 95%	SUPERIOR 95%
$\hat{\beta}_0$	-303.07	46.044	43.33	<0.0001	-397.39	-208.76
$\hat{\beta}_1$	31.20	1.574	393.22	<0.0001	27.98	34.43

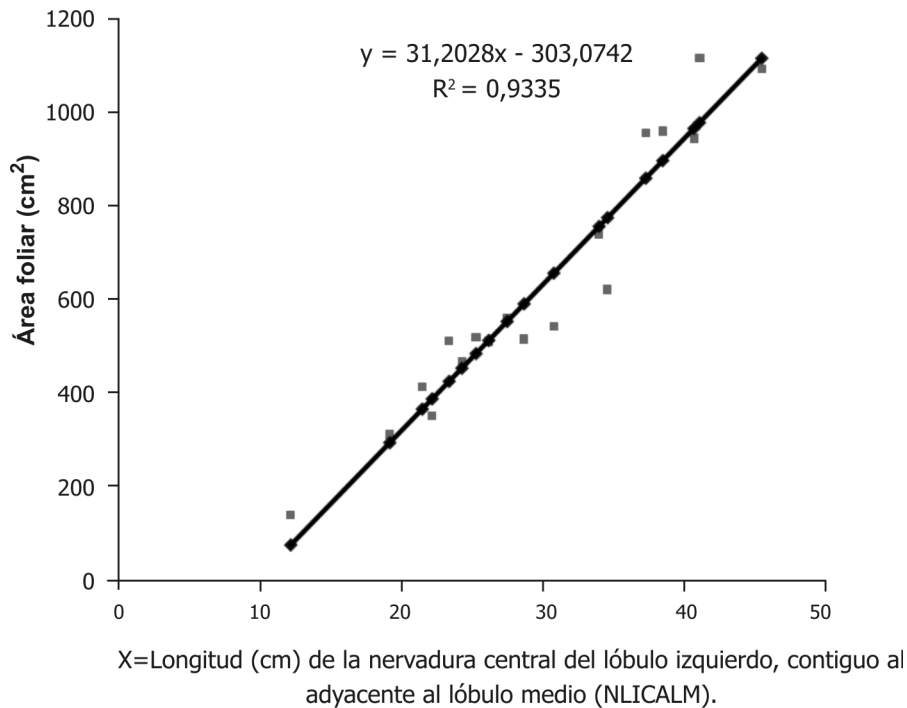


Figura 2. Relación funcional entre el área foliar y la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio de la hoja de papaya (*Carica papaya* L.), cultivar Maradol roja.

condiciones estresantes, de común ocurrencia en los sistemas de producción agrícolas. Tales condiciones, como las relacionadas con el estrés biológico, causado por artrópodos plaga y enfermedades criptogámicas, se manifiestan en disminuciones de área foliar por daño directo sobre las hojas o inducción de senescencia precoz de las mismas (Hidalgo *et al.* 2006). Es evidente, además, que bajo estrés hídrico los rendimientos también se reducen, como consecuencia de la pérdida de área foliar (Ribas *et al.* 2000).

Es en estas situaciones que un modelo matemático es de gran utilidad, puesto que constituye una herramienta para estimar ¿qué tanto está disminuyendo o aumentando el área foliar total? y cómo influye en los rendimientos? Así,

los ensayos de aplicación de biocidas, de fertilizantes, de riego y de otras prácticas agronómicas, se pueden evaluar, con la ayuda de modelos matemáticos, aplicando los diseños experimentales o de muestreo apropiados.

Por otra parte, la estimación del área foliar, también es de gran utilidad cuando se trata de ajustar poblaciones de plantas para obtener el índice de área foliar crítico (IAF crítico), o sea, aquel que intercepta el 95% de la radiación incidente con el consecuente aumento significativo de la tasa de crecimiento del cultivo (TCC). En la medida en que el IAF aumenta, la TCC también lo hace, hasta que el dosel intercepta el 95% de la radiación incidente. Por encima de un IAF crítico, la TCC no incrementa significativamente (Monteith, 1965; Squire, 1990).

Cumplimiento de los supuestos del modelo: Al verificar el supuesto de independencia de los errores (e) por medio de la prueba de Durbin-Watson, se obtuvieron los puntos de significancia de dL y dU para $n = 30$, un nivel de significancia de 0,05 y una variable explicativa.

El valor de la estadística d de Durbin Watson es:

$$d = \frac{\sum_{n=2}^n (e_n - e_{n-1})^2}{\sum_{n=1}^n e_n^2} = 2.150$$

Ahora, como $d = 2,150 > dU = 1,489$, se tiene que d es significativo, por tanto, se rechaza la hipótesis nula al nivel de significancia $\alpha = 0,05$; de aquí, se concluye que los errores no están autocorrelacionados, sino que son estadísticamente independientes, y por lo tanto, el modelo estimado cumple con el supuesto del análisis de regresión que establece que el error estándar de estimación es independiente para cada valor de la variable explicativa, esto es, la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio ($NLICALM = X$).

Para la prueba de normalidad, el estadístico de la prueba de normalidad de los errores de Shapiro-Wilk, obtenido por medio del PROC UNIVARIATE NORMAL de SAS, mostró que evidentemente los errores se distribuyen normalmente.

Se tiene que $w = 0.9683 > w_{(\infty, n)} = w_{(0.05, 30)} = 0.927$, por tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, los errores siguen una distribución normal.

La prueba de White empleada para probar la existencia de homocedasticidad o heterocedasticidad de las varianzas de los errores, basada en un análisis de regresión auxiliar, se realizó tomando el cuadrado de los errores del modelo original, como variable dependiente y como variable independiente, la variable (longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio ($NLICALM = X$) y sus valores al cuadrado.

El modelo de regresión auxiliar obtenido fue:

$$\hat{v}_i = 239.19 - 17.29(NLICALM) + 0.29(NLICALM)^2$$

El coeficiente de determinación ajustado de este modelo es el siguiente:

$R^2 = 0,0245$. Ahora, como $nR^2 = 0,735$, es superior a 0,05, estadísticamente se concluye que no hay heterocedasticidad en los errores, por lo tanto, la variación en torno a la recta de regresión es constante para todos los valores de X , sin importar que el valor que toma sea alto o bajo, de todas formas, la variación se supone es la misma.

En la prueba de aleatoriedad (Rachas), se quiso probar si los errores son o no aleatorios.

Ahora bien, como $R=19$, $T1=16$ y $T2=14$, donde R =Número de rachas, $T1$ =Número de errores positivos y $T2$ =Número de errores negativos; se tiene que $R \notin I$, siendo $I=(10-22)$ el intervalo que contiene a los valores críticos de las rachas al nivel de significancia del 0,05, por consiguiente, los errores corresponden a un arreglo aleatorio, o bien, los errores no están autocorrelacionados, es decir, son independientes, por lo que se determina, que las muestras tomadas para la estimación del modelo son aleatorias y las sucesivas observaciones son independientes.

CONCLUSIONES

El área foliar (AF) de papaya está relacionada linealmente con la longitud de la nervadura central del lóbulo izquierdo, contiguo al adyacente al lóbulo medio.

El modelo lineal simple seleccionado mostró mayor precisión para estimar el área foliar de papaya cultivar Maradol roja y cumple con los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de los errores.

BIBLIOGRAFÍA

AGRONET, 2008. Área cosechada, producción y rendimiento de papaya, 1992-2006. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Disponible desde Internet en: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/repparam.asp>. (con acceso 15/03/08).

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PRUIT, W.O. 1997. Proponed revision to the FAO: procedure for estimating crop water requeriments. Acta Horticulturae (ISHS). 449:17-34.

- ANUARIO ESTADÍSTICO DE VERACRUZ. 2001. Producción Nacional, Precios y Márgenes de Comercialización de papaya. <http://www.sefiplan.gob.mx> (con acceso 05/08/08).
- ARJONA, H. 2003. Estimación del área foliar de cebolla de bulbo (*Allium cepa* L Yellow Granex F1) mediante la aplicación de tres modelos estadísticos. Revista Comalfi (Colombia). 30(1):28-36.
- BIDWELL, R.G.S. 1984. Fisiología Vegetal, Introducción y Generalidades. AGT. Editorial, p.286-315.
- BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. Hort. Brás. 21(4):666-669.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K. 2001. Estimativa da área foliar do mamoeiro utilizando o comprimento da nervadura central. Scientia Agrícola (Brasil). 58(1):39-42.
- CHIRINOS, D.; CHIRINOS-TORRES, J.; GERAUD-POUEY, F.; FERNÁNDEZ, R., MÁRMOL, L.; CHIRINOS-TORRES, D. 1997. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido Durango. Facultad de Agronomía. Revista la LUZ (Venezuela). 14:163-171.
- COSTA, M.C. 1999. Efeitos de diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade na cultura do meloeiro. Tese doutorado, Universidade Estadual de Sao Paulo UNESP Botucatu Brasil. 115p.
- ELSER, E.A.; JUBB, G.L. Jr. 1988. Leaf area estimation of concord grape leaves from simple linear measurements. Am. J. Enol. and Vitic. 39(1):95-97.
- ESPITIA, M.; MONTOYA, R.; ROBLES, J.; BARBOSA, C.; VERGARA, C. 2006. Modelo estadístico para estimación de área foliar em Stevia rebaudiana. Bertoni em el Sinú medio. Rev. Temas Agrarios (Colombia). 11(2):45-52.
- GALVANI, E.; ESCOBEDO, J.F.; CUNHA, A.R.; KLOSOWSKI, E.S. 2000. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido - cultivo de inverno e de verão. Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental. 4:8-13.
- GAMIELY, S.; RANDEL, W.M.; MILLAS, H.A.; SMITLE, D.A. 1991. A Rapid and Nondestructive Method for Estimating Leaf Area of Onions. HortScience (USA). 26(2):206.
- GUJARATI, D. 1997. Econometría. 3ª ed. Editorial McGraw-Hill. p.344-391.
- GUO, D.P.; SUN, Y.Z. 2001. Estimation of leaf area of stem lettuce (*Lactuca sativa var angustana*) from linear measurements. Indian J. Agr. Scienc. 71(7):483-486.
- HIDALGO, M.; TAPIA, A.; RODRÍGUEZ, W.; SERRANO, E. 2006. Efecto de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del banano Musa AAA cv. Valery. Agronomía Costarricense. 30(1):35-41.
- KINGSTON, C.M.; VAN EPENHUIJSEN, C.W. 1989. Influence of leaf area on fruit development and quality of Italia glasshouse table grapes. Am. J. Enol. and Vitic. 40 (2):130-134.
- MANIVEL, L.; WEAVER, R.J. 1974. Biometric correlations between leaf area and length measurements of 'Grenache' grape leaves. HortScience. 9(1):27-28.
- MONTEITH, J.L. 1965. Light Distribution and Photosynthesis in Field Crops. Annals of Botany (Inglaterra). 29(113):17-37.
- MONTGOMERY, D.C.; RÜNGER, G.C. 1996. Probabilidad y Estadística aplicadas a la ingeniería. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A., 895p.
- MONTOYA, R.; HERNÁNDEZ, M.; CLAVIJO, J. 1991. Determinación de modelos matemáticos para medición de área fotosintética y peso seco en pitaya. Revista Comalfi. 27(2):31-38.
- PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio agrometeorológico del Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Gráficas del Caribe. 126p.

- PIRE, R.; VALENZUELA, I. 1995. Estimación del área foliar en *Vitis vinifera* L. "French Colombard" a partir de mediciones lineales en las hojas. *Agronomía Tropical (Venezuela)*. 45(1):143-154.
- RAWLINGS, J.; PANTILA, S.; DICKEY, D. 2001. *Applied Regresión Análisis*, 2nd ed. Edit. Springer. p.204-459.
- RIBAS, F.; CABELLO, M.; MORENO, M.; MORENO, A.; LÓPEZ-BELLIDO, L. 2000. Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas dosis de riego. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 15(3):196-210.
- SAS INSTITUTE INC. 2007. *SAS/STAT guide for personal computers version 9.1 Edition*. Cary, NC: SAS INSTITUTE Inc. 378p.
- SEPASKHAH, A.R. 1977. Estimation of individual and total leaf areas of safflowers. *Agronomy Journal (USA)*. 69(5):783-785.
- SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. 1989. Leaf nitrogen photosynthesis and crop radiation use efficiency a review. *Crop Science (USA)*. 29(1):90-98.
- SQUIRE, G.R. 1990. *The physiology of tropical crop production*. Wallingford, England. C.A.B. International. 236p.
- TERUEL, D.A. 1995. *Modelagem do índice de área foliar de cana açúcar em diferentes regimes hídricos*. Tese mestrado. Escola Superior de Agricultura, ESALQ, Piracicaba, S.P. Brasil. 93p.
- THORNLEY, J.H.M. 1976. *Mathematical models in plant and crop physiology*. Academic Press, London, New York. 315p.
- WALPOLE, M. 1995. *Probabilidad y Estadística*. 4ª Ed. Edit. McGraw-Hill. p.440-443.

Recibido: Abril 24 de 2008

Aceptado: Febrero 16 de 2009

DETERMINACIÓN DE LOS ESTADIOS FENOLÓGICOS DEL FRUTO DE *Vitis vinifera* L. BAJO CONDICIONES DEL ALTIPLANO TROPICAL EN BOYACÁ

DETERMINATION OF PHENOLOGICAL FRUIT STAGES OF *Vitis vinifera* L. UNDER TROPICAL HIGH PLATEAU CONDITIONS IN BOYACÁ

Pedro José Almanza-Merchán¹
Helber Enrique Balaguera-López²

RESUMEN

En el manejo agronómico de la vid es importante el conocimiento de la fenología del fruto para establecer el momento óptimo de la vendimia y, con ello, realizar un manejo adecuado del cultivo, que conduzca a la obtención de vino de calidad. El objetivo de este trabajo fue determinar el comportamiento de los estadios fenológicos del fruto, a partir de algunos parámetros fisicoquímicos, de la variedad clonal de vid, Pinot Noir, cultivada bajo las condiciones de clima frío tropical, en la Loma de Puntalarga, Nobsa, Boyacá. Se escogieron, completamente al azar, 51 plantas. Por semana, se cosecharon tres racimos (uno por planta), se tomaron 20 frutos por racimo, recolectadas aleatoriamente, desde el día 28 después de la antesis (dda) hasta completar el desarrollo total del fruto (140dda), tiempo durante el cual, se midieron parámetros físicos y químicos del fruto. Las masas fresca y seca siguieron una curva doble sigmoide, donde la fase herbácea tuvo una duración de 63 días, el envero, 14, la maduración 42 días y la sobre maduración, 21. El pH, los sólidos solubles totales y el índice de madurez ascendieron con el desarrollo del

fruto, mientras que la acidez total titulable descendió. La cosecha, se debe realizar a los 126dda, puesto que el balance entre los sólidos solubles y la acidez son adecuados para la elaboración de vinos de calidad. Además, la pérdida de masa fresca y seca por efecto de la sobremaduración es mínima, lo cual, favorece tanto al productor de vino como al viticultor.

Palabras clave: Vino, uva, herbáceo, envero, maduración, sobremaduración.

SUMMARY

Knowledge of fruit phenology is important to grape growers and wine makers for proper crop handling and production of best quality wines. The objective of this study was to evaluate the behaviour of grape phenological stages, evaluating some physiochemical parameters of the clonal variety Pinot Noir, cultivated under conditions of cold tropical climate at "Loma de Puntalarga" in Nobsa, Boyacá. For this purpose 51 plants were taken at random. Weekly three bunches (one per plant) were harvested, 20 fruits per bunch were selected randomly from day 28 on after anthesis (dda) up to the fruits total development (140dda). During this time physical and chemical parameters were determined. The fresh and dry weight followed a double sigmoid curve, where the herbaceous phase lasted 63 days, the veraison 14, maturing 42 days and over maturing 21. The pH, soluble solids and the maturity index increased with the fruit development, while the total acidity decreased. Harvesting should be carried out at 126dda, since at this

¹ Profesor Asistente. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Tunja. e-mail: ppcalma@gmail.com

² Ingeniero Agrónomo, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Tunja. e-mail: enrique_balaguera@yahoo.com

moment the balance between soluble solids and total acidity is suitable for making quality wines, also at this time, the loss of fresh and dry mass by over maturing is minimal, which benefits both the wine and the grape producer.

Key words: Wine, grape, herbaceous, veraison, maturing, overmaturing.

INTRODUCCIÓN

La vid (*Vitis vinifera* L.), es una especie originaria de la zona templada del Asia occidental, en donde produce una cosecha al año. La vid se cultiva en los cinco continentes: Europa cuenta con 4.9000.000ha; Asia, 1.727.000ha; América con 967.000ha; África, 395.000ha y Oceanía, con 192.000ha. En América, Chile posee 191.000ha, Argentina, 219.000ha, Brasil, 78.000ha, Perú y Uruguay, 11.000ha cada uno (OIV, 2005).

En Colombia, bajo condiciones de clima frío tropical, los principales productores de vid se encuentran en el departamento de Boyacá, en altitudes entre 2200 y 2560msnm. Allí, se ha cultivado durante los últimos 24 años, lográndose hasta dos cosechas al año, gracias a la intervención del hombre y a las condiciones agroclimáticas. A través del consorcio "Sol de oro", 64 viticultores cultivan uva con destino a la producción de vinos. En el viñedo situado en la Loma de Puntalarga, desde 1984, se cuenta con un centro experimental, donde se realiza investigación en cultivares procedentes de Geisenheim, Alemania y Borgoña, Francia (Quijano, 2004).

Jones & Davis (2000) señalan que el desarrollo de la vid ocurre como un efecto directo del clima y puede ser descrito a través de los eventos fenológicos, entendiéndose que la fenología de un cultivo es importante para determinar la capacidad de una zona o región para producir cosechas dentro del esquema de su régimen climático. El tiempo entre estadios fenológicos varía con el cultivar, con el clima y con la localización geográfica (Jones & Davis, 2000; Tesic *et al.* 2002). El conocimiento de los estadios fenológicos de cultivares de vid en diferentes zonas permite el establecimiento de su capacidad adaptativa y potencial de producción (Piña & Bautista, 2004).

El comportamiento de los estadios fenológicos del fruto de la vid está bien determinado para las variedades cultivadas en la zona templada, estos son: período

herbáceo, que se caracteriza por su baya color verde y consistencia dura, engrosa y se comporta como un órgano fuente por su capacidad fotosintética y se extiende desde la formación del fruto hasta el envero; durante esta etapa, el cambio principal se manifiesta por un rápido aumento en el tamaño del fruto, consecuencia de la división celular (Reynier, 1995; Hidalgo, 1993). Luego, sigue el envero, con una duración de días a semanas y el estado, se caracteriza por una leve detención del crecimiento y por el cambio de color, que pasa del verde al color característico de la variedad; la semilla alcanza su tamaño máximo y madurez fisiológica; se inicia la síntesis de pectinas, las cuales, a través del crecimiento del fruto, son solubilizadas (Ribereau-Gayon *et al.* 1998; Winkler *et al.* 1974).

Durante el periodo de maduración, la composición de la baya cambia (Coombe & McCarthy, 2000), se observa un cambio en el color, engrosa de nuevo y se comporta como un órgano de transformación y, sobre todo, de almacenamiento. La maduración, la convierte en un almacén de reservas que, en parte preponderante y en última instancia, proviene de la sabia elaborada por los órganos verdes, regida también por las condiciones de calor y de luz que, en conjunto, condicionan la calidad de la cosecha (Hidalgo, 1993). Por último, está el periodo de sobremaduración, que se caracteriza porque el fruto pierde agua por transpiración, no genera acumulación complementaria de azúcar y la acidez disminuye, perdiéndose calidad en los vinos (Reynier, 1995; Winkler, 1948). Sin embargo, grandes vinos se hacen con sobre maduración, sin tener que ajustar la acidez.

Bajo las condiciones del trópico alto, no se ha determinado la duración y los cambios fisicoquímicos en cada periodo o estadio fenológico del fruto de uva, que permitan un manejo adecuado del cultivo y un punto óptimo de cosecha, para obtener vinos de alta calidad. La composición de la uva para vinificación y, por consiguiente, la calidad, que se puede apreciar en el vino obtenido, viene determinada por factores bióticos, abióticos y culturales. En condiciones tropicales, el factor climático es importante a la hora de decidir la programación de cosechas de vid, por tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar los estadios fenológicos del fruto de la variedad clonal de vid, Pinot Noir, para obtener frutos de excelente valor agronómico para elaboración de vinos de calidad, cultivada bajo estas condiciones climáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación, se realizó durante el año 2007 y parte del primer semestre de 2008, en el viñedo “Loma de Puntalarga”, en Nobsa, Boyacá, situado a 5°46'47.1" latitud Norte y 72°58'36.5" longitud Oeste, a una altura de 2618msnm. El clima de la zona, se caracteriza por presentar una temperatura promedio anual de 16,5°C y precipitación bimodal media de 830mm/año, con dos picos ubicados entre abril-mayo y octubre-noviembre. Bajo estas condiciones, se presentan temperaturas diurnas con promedio de 22°C y nocturnas de 8°C, lo que origina una diferencia térmica diaria de 14°C. Los suelos son de textura liviana, del tipo franco-arenoso y fertilidad natural baja, la insolación alcanza 476cal·cm⁻²·d⁻¹ en 6,5 horas diarias (Quijano, 2006).

Los frutos del genotipo, objeto de estudio, correspondieron a la variedad Pinot Noir, de la actual selección clonal de *V. vinifera*, de la cual, se elabora vino de reconocida calidad (Quijano, 2001). Las plantas tenían una edad de 24 años y estuvieron sembradas a distancia de 1,20m X 2m, el sistema de poda es el de tipo guyot simple, con conducción en espaldera a tres alambres (Salazar & Melgarejo, 2005).

Se tomaron al azar 51 plantas; de cada una, se seleccionó un racimo homogéneo. Semanalmente, se cosecharon tres racimos, de los cuales, se apartaron 20 frutos (diez para evaluaciones físicas y diez para químicas); éstos, se escogieron aleatoriamente, desde el día 28 después de la antesis (dda) hasta completar el desarrollo total del fruto, siguiendo el procedimiento establecido por Bautista & Vargas (1981). Se evaluaron 60 frutos, semanalmente, para un total de 1020, durante las 17 semanas que duró la investigación.

Se obtuvo la masa fresca (MF) y la masa seca (MS), después de someter los frutos a 75°C durante 48h, el pH, sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT) e índice de madurez (IM), siguiendo la metodología propuesta por Parra & Hernández (1997). La evolución de los parámetros físicos y químicos, se determinó en los laboratorios de Fisiología Vegetal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja. Los estados fenológicos del fruto herbáceo, envero, maduración y sobre-maduración, se establecieron con base en la acumulación de MF y MS.

Los datos obtenidos, se analizaron mediante estadística descriptiva, teniendo como medida de dispersión el coeficiente de variación (CV), que fue determinado al final de cada estado y se hizo el análisis de componentes principales, con el propósito de determinar la importancia de las variables medidas en cada uno de los estadios fenológicos del fruto, teniendo como parámetro que el eje seleccionado explique más del 80% de la varianza. Se determinaron las correlaciones lineales múltiples para establecer las relaciones entre variables y para el análisis de los datos, se utilizó el programa SAS v. 8.1e (Cary, N.C).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadio herbáceo: En la variedad Pinot Noir, el estadio fenológico se inicia con la antesis y finalizó a los 63dda (Figura 1), es decir, comprendió desde cuajado de fruto hasta envero, siendo una fase de división celular muy activa, que favorece el rápido crecimiento de la baya (Hernández, 2000; Reynier, 1995). La duración de este estado fue superior a la reportada por Hernández (2000), quien afirma que el estado herbáceo puede tener una duración entre 40 a 60 días y se caracteriza por el crecimiento de la semilla y el pericarpio, aunque hay poco desarrollo del embrión. Además, se ha encontrado que hacia las tres semanas después de antesis, la división celular del pericarpio disminuye (Mullins *et al.* 2000; Reynier, 1995).

El análisis mostró que con los seis componentes generados, el segundo eje explicó el 92% de la varianza, donde las variables más representativas fueron: SST, 74% y el IM, 61% y presentaron una correlación directa del 67% (Tabla 1). Además, la MF de las bayas, al final de este estado, llegó a 0,78g, mientras que la MS estuvo en 0,08g, el pH fue de 2,18, los SST de 6,63, la ATT de 4,12 y el IM fue 1,61, todos estos parámetros presentaron poca dispersión, según el CV, excepto MS y MF, con CV de 75,6% y 77,06%, respectivamente (Tabla 1), lo que indica que, al finalizar esta fase, los frutos no presentaron la misma acumulación de masa. Al respecto, las MF y las MS aumentaron de forma significativa (Figuras 1 y 2, respectivamente); el pH disminuyó ligeramente (Figura 3); los SST y la ATT aumentaron (Figura 4), mientras que el IM permaneció constante (Figura 5).

En el curso de este periodo, las bayas son órganos fuente en crecimiento, su respiración va en aumento

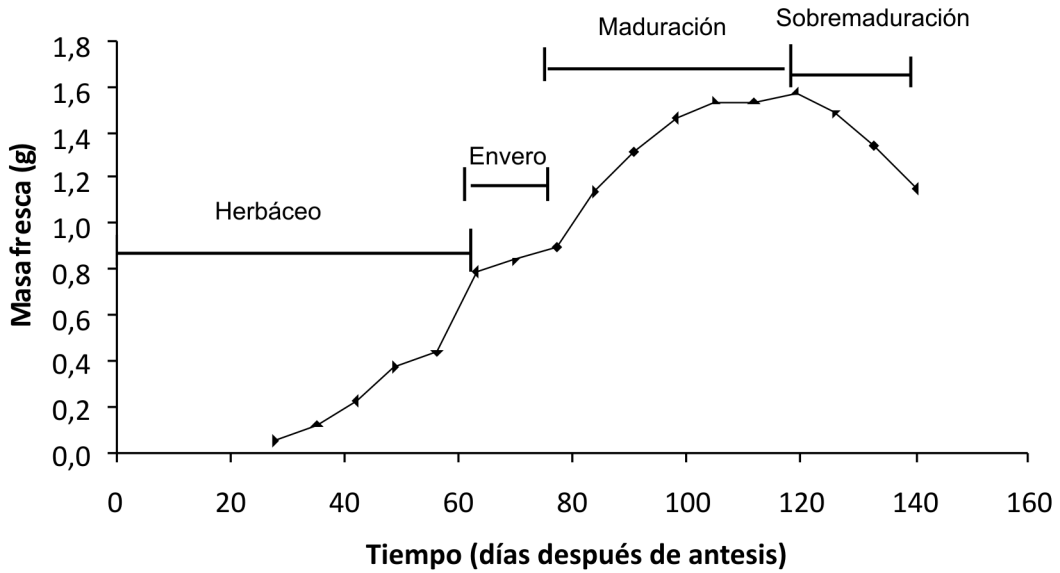


Figura 1. Comportamiento de la masa fresca en los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L., bajo condiciones de la Loma de Puntalarga, Boyacá.

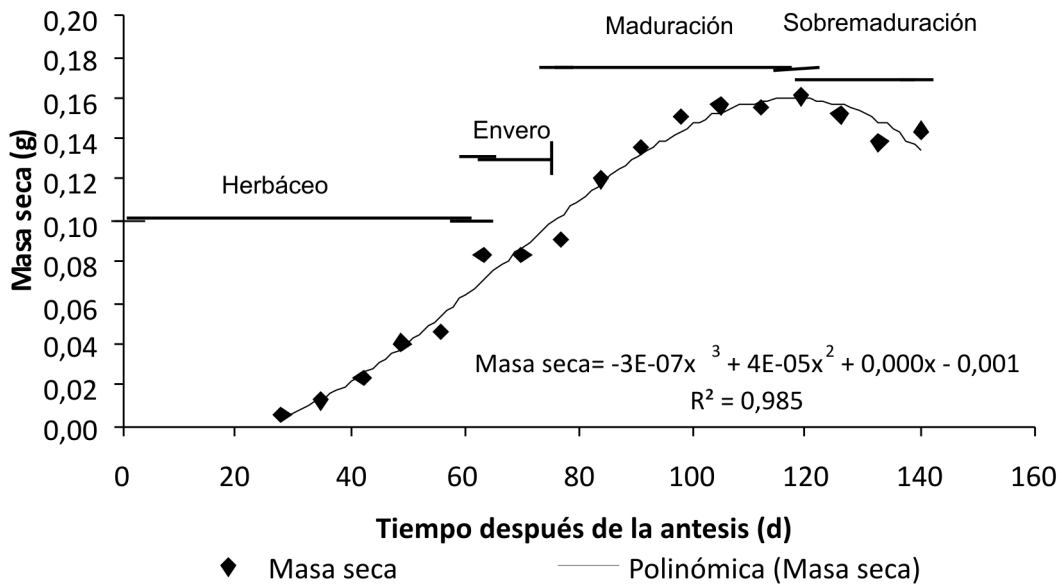


Figura 2. Comportamiento de la masa seca en los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L., bajo condiciones de la Loma de Puntalarga, Boyacá.

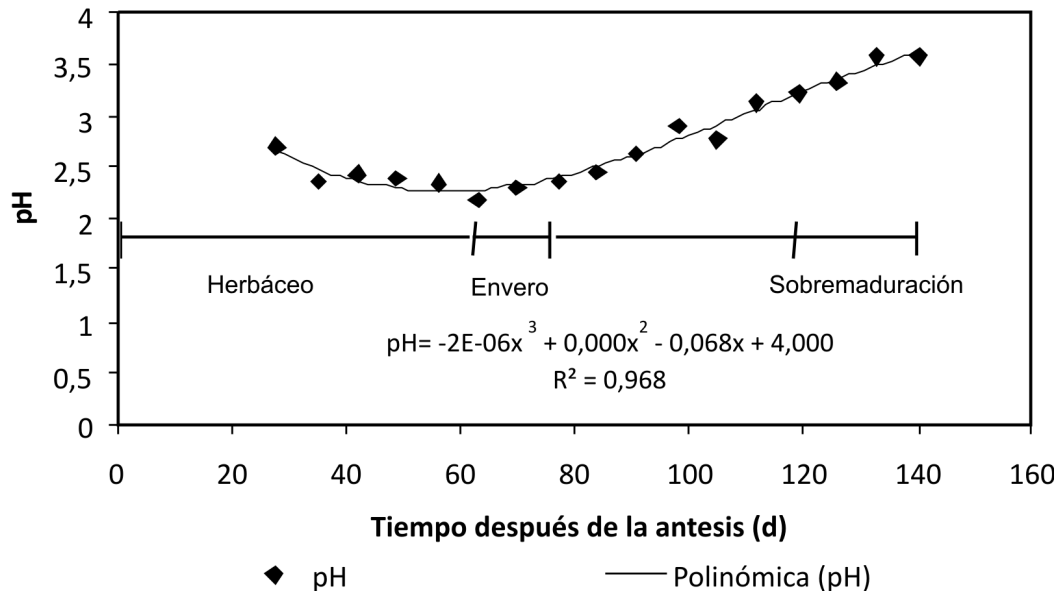


Figura 3. Comportamiento del pH en los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L., bajo condiciones de la Loma de Puntalarga, Boyacá.

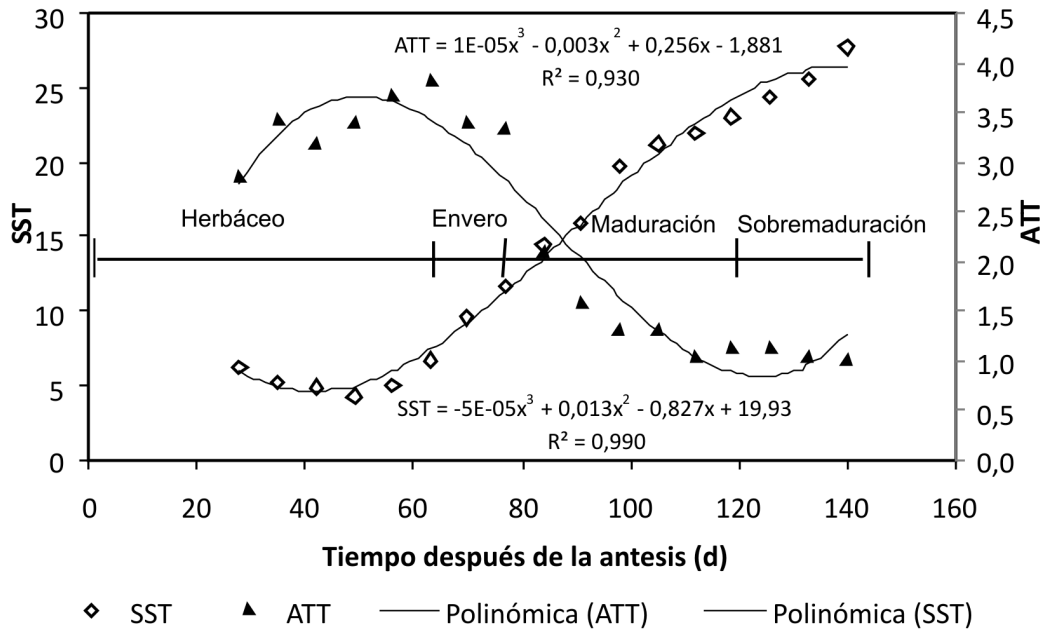


Figura 4. Comportamiento de los SST y ATT en los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L., bajo condiciones de la Loma de Puntalarga, Boyacá.

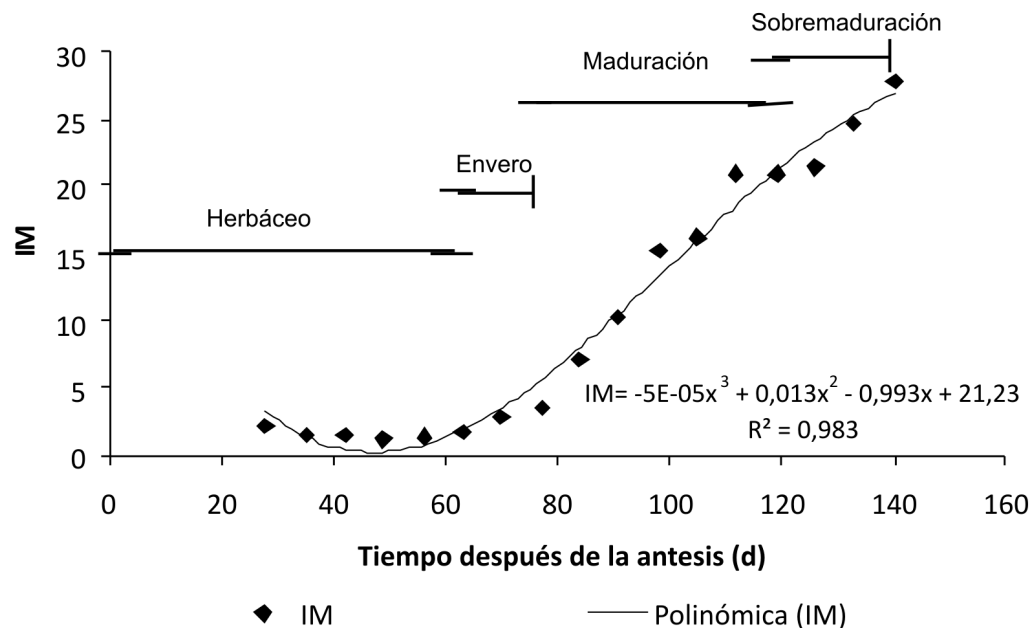


Figura 5. Comportamiento del IM en los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L., bajo condiciones de la Loma de Puntalarga, Boyacá.

hasta la mitad de este lapso, después, la fotosíntesis disminuye, de forma progresiva, hasta el final del estadio (Reynier, 1995). El comportamiento de los SST es el más representativo en esta etapa, como ya se mencionó en el análisis de componentes principales, pues los azúcares son los principales compuestos que se traslocan hacia los frutos verdes, generalmente, en forma en estado de sacarosa, que luego se hidrolizan a fructosa y glucosa. Al inicio, estos azúcares provienen de las hojas situadas a nivel de los racimos y después de aquellas de la parte media del pámpano (Reynier, 1995).

Así mismo, la biosíntesis de ácidos orgánicos, como el tartárico y el málico, es representativa y constante en el periodo herbáceo, por tanto, el contenido de SST en las bayas es bajo, mientras que el contenido de ácidos es elevado (Figura 4); esto concuerda con Reynier (1995), quien además sostiene que estos compuestos difieren según la época del año y de las variedades.

Estadio envero: El envero es el estadio más corto, puede oscilar entre siete a 40 días (Mullins *et al.* 2000), para todos los frutos del viñedo, pero para un solo fruto, no supera los dos días, lo que coincidió con lo encontrado en el presente estudio, ya que el envero comprendió desde los 63dda hasta los 77dda y se caracterizó porque

en los 14 días de duración la MF y MS permanecieron casi constantes (Figura 1 y 2). A pesar de este fenómeno, los cambios bioquímicos fueron evidentes.

Los SST aumentaron considerablemente (Figura 4); en un principio pertenecieron a altos contenidos de glucosa y de fructosa, pero al final, predominó la concentración de fructosa (Reynier, 1995). La ATT empezó a disminuir (Figura 4), mientras que el pH aumentó levemente (Figura 3), al igual que el IM (Figura 5); el CV, en todos los casos, indicó alta homogeneidad (Tabla 1), por tanto, al finalizar el envero, los frutos presentaron similares propiedades fisicoquímicas. Esto, coincide con lo expuesto por Salazar y Melgarejo (2005), quienes afirman que en este estadio, se presenta una disminución de ácidos y acumulación rápida de azúcares y compuestos fenólicos en las bayas.

El 84% de la varianza, se explicó con el segundo eje, el cual, demostró que la variable más representativa fue la ATT, con 81%, seguida del pH, con 47%. No obstante, fueron los SST los que mostraron mayor correlación con los demás parámetros, así: IM, 98%; MS, 72%; pH, 65%; MF, 48% y ATT, -23% (Tabla 1).

En este estado, también se observó el cambio de color del fruto de verde a rojo oscuro, que se debe a la síntesis

de antocianos y degradación de clorofila (Salazar & Melgarejo, 2005). Al respecto, Hernández (2000) y Winkler *et al.* (1974) afirman que el envero se caracteriza, porque la baya cambia de color y se pone elástica. Además, en esta fase el crecimiento del pericarpio es muy lento, lo que explica el bajo aumento de MF y MS (Figuras 1 y 2). La semilla alcanza su madurez fisiológica y el desarrollo del embrión es rápido, procesos como la respiración, la fotosíntesis y el contenido de clorofila disminuyen (Mullins *et al.* 2000), también el fruto inicia su recubrimiento con la pruina y los aromas herbáceos disminuyen (Hidalgo, 1993; Reynier, 1995).

Estadio maduración: Este estado tuvo una duración de 42 días, comprendidos desde los 77dda hasta los 119dda (Figura 1); esta duración es similar a lo reportado por Hernández (2000), quien afirma que el estado de maduración puede durar de 40 a 60 días en la variedad Merlot. En concordancia, Piña & Bautista (2004) determinaron que, en condiciones tropicales, este periodo tuvo una duración de 25, 32 y 41 días para cultivares Sultanina, Perlón y Alphonse Lavallée, respectivamente. Por otro lado, se encontró que la masa fresca y seca aumentaron desde los 77dda hasta los 105dda y, luego, se estabilizaron hasta el final de este estado. Se pasó de 0,9 a 1,58g y de 0,09 a 0,16g para MF y MS, respectivamente (Figura 1 y 2), aumentos muy significativos, pues según Hernández (2000), en esta etapa, el peso del fruto aumenta en un 50%, aproximadamente, fenómeno que depende del suministro hídrico y del número de semillas de la variedad.

Por su parte, el pH se caracterizó por un marcado incremento al pasar de 2,35 a 3,22 (Figura 3); similar fue el comportamiento de los SST que alcanzó 23,07°Brix (Figura 4) y el IM incrementó hasta 20 (Figura 5), mientras que la ATT decreció pasando de 3,34 a 1,11 (Figura 4). Mullins *et al.* (2000) y Reynier (1995) reportan, además de los cambios mencionados para la maduración, la acumulación de minerales, formación de polifenoles, síntesis y acumulación de sustancias aromáticas, cambio en el color, ablandamiento de la baya y aumento de tamaño, el cual, está directamente relacionado con el incremento en la elongación celular y no en la división de células (Salisbury & Ross, 1994).

Al final de la maduración, se presentó alta dispersión en las variables ATT e IM (Tabla 1). No obstante, los demás cambios fisicoquímicos medidos tienden a ser

bien definidos para este cultivar. Por otro lado, una varianza del 89% fue explicada con el primer eje, según los componentes principales, este mismo análisis, pone de manifiesto la importancia de todas las variables (Tabla 1). Además, se expresa la evolución de los SST y la ATT con una correlación inversa del 90%, entre estas, pero a diferencia de los demás estados, el IM presentó una correlación directa con la primera (96%) e inversa con la segunda (-94%). El aumento de los SST, se debe en gran parte al aumento de MF (92%) y MS (92%), pero determina el aumento del pH (78%) (Tabla 1).

El inicio de la maduración ocurre, normalmente, después del cese del crecimiento de los pámpanos. Durante todo el período de maduración, el metabolismo de la planta se caracteriza por una mayor fotosíntesis, de manera que la parte de azúcares degradados por respiración es más reducida que durante el período de crecimiento de los pámpanos y de las bayas verdes. El aumento de los azúcares, se presenta por el transporte de estos a los órganos de almacenamiento, que son principalmente los racimos; los azúcares pueden provenir de la fotosíntesis, reservas presentes en tallos o por transformación del ácido málico (Reynier, 1995). Fuera de la transformación del ácido málico (gluconeogénesis), la acidez disminuye por combustión respiratoria, por la dilución, debida a la acumulación de agua y por la migración de bases procedentes de las raíces, que aumentan la alcalinidad de las cenizas (Reynier, 1995).

Estadio sobremaduración: Este es el último estadio del fruto de vid, comprendió desde el día 119 dda al 140dda (Figura 1), con una duración de 21 días. El 86% de la varianza fue explicado con el segundo eje de acuerdo con el análisis de componentes principales. Los CV indicaron que las variables fueron muy homogéneas, lo que permite inferir que los frutos de uva Pinot Noir se comportan de manera muy similar en la sobremaduración. A su vez, la variable más importante fue el MS, con el 88% de la varianza (Tabla 1), poniendo de manifiesto que la acumulación de biomasa en el fruto de uva varía dependiendo, entre otros factores, del aporte de agua, de nutrientes, del tipo de suelo y del manejo (Hidalgo, 1993). A medida que disminuyó la MF también lo hizo la ATT, con una correlación del 67%, pero aumentó el contenido de SST, IM y pH, con correlaciones de 94%, 84% y 58%, respectivamente (Tabla 1).

La MF decreció de 1,58g a 1,15g (Figura 1); la MS, de 0,16g a 0,14g (Figura 2) y ATT, de 1,11g a 1,0g

Tabla 1. Componentes principales y correlaciones lineales para los estadios fenológicos del fruto de *Vitis vinifera* L.

HERBÁCEO	MS	MF	pH	SST	ATT	IM	C1* (0,63)	C2 (0,92)
MS	1	0,99	-0,77	0,30	0,78	-0,34	0,47	0,18
MF		1	-0,77	0,31	0,79	-0,33	0,47	0,19
pH			1	-0,03	-0,82	0,60	-0,46	0,08
SST				1	0,16	0,67	0,06	0,74
ATT					1	-0,67	0,47	-0,01
IM						1	-0,30	0,60
CV (%)	75,6	77,06	6,61	16,52	13,56	23,31		
ENVERO	MS	MF	pH	SST	ATT	IM	C1 (0,62)	C2 (0,84)
MS	1	0,92	0,63	0,72	-0,24	0,46	0,48	0,00
MF		1	0,55	0,48	-0,02	0,46	0,40	0,18
pH			1	0,65	0,34	0,55	0,38	0,47
SST				1	-0,23	0,98	0,47	-0,11
ATT					1	-0,39	-0,10	0,81
IM						1	0,46	-0,25
CV (%)	6,25	6,26	2,1	11,55	2,29	12,1		
MADURACIÓN	MS	MF	pH	SST	ATT	IM	C1 (0,89)	
MS	1	0,98	0,75	0,92	-0,88	0,86	0,41	
MF		1	0,73	0,92	-0,91	0,86	0,41	
pH			1	0,78	-0,74	0,79	0,36	
SST				1	-0,90	0,96	0,42	
ATT					1	-0,94	-0,41	
IM						1	0,41	
CV (%)	10,43	11,85	10,83	17,07	26,72	35,85		
SOBREMADURACIÓN	MS	MF	pH	SST	ATT	IM	C1 (0,67)	C2 (0,86)
MS	1	-0,12	-0,19	-0,10	0,39	-0,28	-0,12	0,88
MF		1	-0,58	-0,94	0,67	-0,84	-0,44	-0,37
pH			1	0,56	-0,55	0,58	0,35	-0,04
SST				1	-0,78	0,94	0,47	0,16
ATT					1	-0,94	-0,45	0,21
IM						1	0,48	-0,04
CV (%)	13,15	11,96	3,90	6,02	6,85	12,03		

*C: componente principal.

(Figura 4). El pH incrementó de 3,22 a 3,57 (Figura 3); los SST, de 23,07 a 27,77 (Figura 4) y el IM, de 20,9 a 27,77 (Figura 5). La sobremaduración llega cuando la baya alcanza su máximo tamaño, para luego iniciar la disminución en el peso (Coombe & McCarthy, 2000), debido a que el flujo de fotoasimilados, vía floema, se interrumpe (Broussaud *et al.* 2001), por tanto, el fruto inicia su deshidratación, pero la concentración de SST aumenta considerablemente. Sin embargo, la síntesis de compuestos enológicos favorables (levaduras naturales, compuestos nitrogenados), se detienen y los compuestos aromáticos (linalol) y polifenoles (antocianos, flavonas, taninos) comienzan la degradación; no obstante, esta es un proceso necesario para obtener vinos tintos de calidad (Quijano, 2001).

En este momento, la baya se independiza metabólicamente, mas no funcionalmente de la planta y se hace más vulnerable a problemas fitosanitarios, como al oidio (*Uncinula necator* Burr.) y daños mecánicos (ataque de aves). En consecuencia, es más recomendable recolectarlo que dejarlo en la planta, siempre y cuando haya cumplido con los requerimientos fisicoquímicos del punto óptimo de cosecha, que, generalmente, es el factor más crucial para los enólogos y viticultores (Reynier, 1995).

El punto óptimo de cosecha, se puede determinar: teniendo en cuenta la evolución de los precursores glicosídicos (Jofré *et al.* 2006); mediante la evolución de los polifenoles (Saint-Cricq de Gaulejac *et al.* 1998); la madurez fenólica de la semilla (Harbertson *et al.* 2002); y con base en el punto de madurez tecnológica, como la relación SST/ATT (Hidalgo, 1993; Reynier, 1995), este último, es el indicador más empleado por los vitivinicultores del departamento de Boyacá.

Con base en el punto de madurez tecnológica, los frutos de Pinot Noir cultivados en condiciones agroecológicas de la Loma de Puntalarga, se deben cosechar a los 126dda, momento en el cual, se presentó un IM de 21,43, producto de una alta concentración de SST (24,4), bajo contenido de ATT (1,14) y pH de 3,33, MF=1,49g y MS=0,152g, estas masas son considerables, al tener en cuenta que los frutos inician su pérdida de peso por procesos de respiración y de transpiración, propios de la sobremaduración. Por tanto, en este punto de cosecha, se logra obtener frutos con características químicas adecuadas, para la elaboración de vinos de calidad y con un rendimiento representativo, que favorece al productor de uva.

CONCLUSIONES

En el cultivar de vid Pinot Noir, se observaron claramente los cuatro estadios fenológicos del fruto.

En el estado herbáceo, el cambio en los sólidos solubles fue el evento más determinante.

En el estado de envero predominó la variación de la acidez total titulable.

En la maduración, la concentración de SST fue el cambio más importante y, en el estadio de sobremaduración, el factor más representativo fue la masa seca.

El punto óptimo de cosecha de uva para vino cultivar Pinot Noir cultivados en condiciones agroecológicas de la Loma de Puntalarga es a los 126dda.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Doctor Marco Antonio Quijano Rico, investigador y vitivinicultor, propietario del Viñedo y de la cava Loma de Puntalarga, por su apoyo en la realización del presente trabajo. Este estudio, se desarrolló con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, en el marco del proyecto de capital semilla convocatoria 012 de 2007, "Crecimiento y desarrollo del fruto de *Vitis vinifera* L. bajo condiciones de altiplano tropical", SGI 447.

BIBLIOGRAFÍA

- BAUTISTA, D.; VARGAS, G. 1981. Estudio del ciclo y determinación de los requerimientos heliotérmicos de algunas variedades de vid en condiciones tropicales. *Agr. Tropical (Venezuela)*. 31(1-6):11-23.
- BROUSSAUD, F.; CHEYNIER, V.; NOBLE, A.C. 2001. Bitterness and astringency of grape and wine polyphenoles. *Australian J. Grape Wine Res.* 7:33-39.
- COOMBE, B.; MCCARTHY, M. 2000. Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian J. Grape Wine Res.* 6:131-135.
- HARBERTSON, J.; KENNEDY, J.; ADAMS, D. 2002. Tannins in skins and seeds of Cabernet Sauvignon,

- Syrah and Pinot Noir berries during Ripening. *Am. J. Enology Viticulture* 53(1):54-59.
- HERNÁNDEZ, A. 2000. Introducción al vino de Chile. Colección en agricultura de la Facultad de Agronomía e Ingeniería forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile. 101p.
- HIDALGO, L. 1993. Tratado de viticultura general. Mundi prensa, Madrid. 983p.
- JOFRÉ, V.; FANZONE, M.; ASSOFF, M.; RIVERA, M. 2006. Evolución de los precursores de aromas durante la maduración de uvas Cabernet Sauvignon (*Vitis vinífera* L.) de Agrelo y Tupungato (Mendoza, Argentina) y efecto de la maceración previa en frío. *Enología*. Edición internacional. 12(2):28-35.
- JONES, G.R.; DAVIS, E. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51(3):249-261.
- MULLINS, M.; BOUQUET, A.; WILLIAMS, L. 2000. *Biology of the Grapevine*. Cambridge, University Press. 239p.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA VIÑA Y EL VINO (OIV). 2005. Situación del sector vitivinícola mundial en 2005. Disponible desde Internet en: http://news.reseau-concept.net/images/oiv_es/client/Commentaire_Statistiques_2005_ES.pdf. (con acceso 03/08/08).
- PARRA C., A.; HERNÁNDEZ, J.E. 1997. Fisiología, postcosecha de frutas y hortalizas. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 64p.
- PIÑA, S.; BAUTISTA, D. 2004. Ciclo fenológico de cultivares de Vid (*Vitis vinífera* L.) para mesa en condiciones tropicales. *Bioagro*. 16(1):9-16.
- QUIJANO, M. 2006. Investigación e innovación. Promoción y defensa del "terroir" regional. *Cultura científica*, Tunja, Fundación Universitaria Juan de Castellanos. 4:35-41.
- QUIJANO, M. 2004. Ecología de una conexión solar. De la adoración del sol al desarrollo vitivinícola regional. *Cultura Científica*. 2:5-9.
- QUIJANO, M. 2001. Los vinos del valle del sol. *Cultura Científica*. 1:5-11.
- REYNIER, 1995. *Manual de viticultura*. Ed. Mundi prensa. 5ª ed. Madrid. 407p.
- RIBERAU-GAYON, P.; DONECHE, B.; DUBORDIEU, D.; LONVAUD, A. 1998. *Traite d'oenologie. Microbiologie du vin: Vinifications*. Dunod, Paris, Francia. 185p.
- SAINT-CRICQ DE GAULEJAC, N.; VIVAS, N.; GLORIES, Y. 1998. Maturation phenologique des raisins rouges. Relation avec la qualité des vins. Comparaison des cépages Merlot et Tempranillo. *Progres Agricole et Viticole*. 115:306-318.
- SALAZAR, D.M.; MELGAREJO, P. 2005. *Viticultura. Técnicas del cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Ed. Mundi-prensa, Madrid. 325p.
- SALISBURY, F.B.; ROSS C.W. 1994. *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica S.A., México. 759p.
- TESIC, T.; WOOLLEY, D.J.; HEWETT, E.W.; MARTIN, D.J. 2002. Environmental effects on cv. Cabernet Sauvignon (*Vitis vinífera* L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand. I. Phenology and characterization of viticultural environments. *Australian J. Grape Wine Res.* 8(1):15-26.
- WINKLER, A.; COOK, J.; KLIEWER, N.; LIDER, A. 1974. *General viticulture*. Univ. Cal. Press. Berkeley. 710p.
- WINKLER, A.J. 1948. Maturity tests for table grapes the relation of heat summation to time. *HortScience*. 51:295-298.

Recibido: Agosto 4 de 2008

Aceptado: Marzo 16 de 2009

RENDIMIENTO DE *Stevia rebaudiana* Bert. BAJO TRES ARREGLOS POBLACIONALES EN EL SINÚ MEDIO

YIELD OF *Stevia rebaudiana* Bert. UNDER THREE POPULATION ARRANGEMENT IN MIDDLE SINU

Miguel Espitia C.¹
Rafael Montoya B.²
Liliana Atencio S.³

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres arreglos de población sobre el rendimiento de hojas en dos genotipos de *Stevia rebaudiana* Bert., bajo las condiciones del Sinú Medio (Montería – Colombia), durante 16 semanas, del primer semestre de 2006. Se evaluaron seis tratamientos en arreglo factorial (2x3), originados de la combinación de dos genotipos de estevia (Morita 1 y Morita 2) y tres arreglos de siembra (20x20; 40x20 y 40x40cm entre surcos y plantas, respectivamente); para ello, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron las variables: rendimiento de hoja húmeda (RHOHÚ) y seca (RHOSE), relación RHOSE / RHOHÚ (RESEHÚ), porcentaje de humedad en las hojas (PHÚHO), relación hoja / tallo en húmedo (RHOTAHÚ) y en seco (RHOTASE). Se detectaron diferencias significativas ($p < 0,01$), entre genotipos sólo para RHOTAHÚ y RHOTASE. Los arreglos de población tuvieron efectos significativos

($p < 0,05$ y $0,01$) únicamente en la expresión del RHOHÚ, RHOSE, RHOTAHÚ y RHOTASE. La interacción genotipos x arreglos sólo fue significativa ($p < 0,05$) para RHOSE. El arreglo de población 20x20, mostró los más altos promedios de RHOHÚ (4654kg ha^{-1}) y RHOSE (1378kg ha^{-1}), superando en 83%, aproximadamente, al arreglo testigo 40x40. El genotipo Morita 1 expresó estadísticamente su mayor RHOSE (1586kg ha^{-1}) en el arreglo 20x20, mientras que en Morita 2 (1416kg ha^{-1}), se presentó en el arreglo 40x20. Se sugiere considerar el uso de los arreglos 20x20 y 40x20 en la siembra de Morita 1 y Morita 2, respectivamente, para aumentar el rendimiento de estevia en el Sinú Medio.

Palabras clave: Estevia, genotipos, rendimiento de hojas, distancias de siembra.

SUMMARY

The study objective was to evaluate the effect of three population arrangements on leaf yield in two genotypes of *Stevia rebaudiana* Bert., under environmental conditions of Middle Sinú (Montería - Colombia), during 16 weeks of the first term of 2006. Six treatments were evaluated in a factorial arrangement (2x3), originating from combination of two stevia genotypes (Morita 1 and Morita 2) and three populations arrangements (20x20, 40x20 and 40x40cm between rows and plants, respectively). A completely randomized block design with four replications was used. The traits: wet leaf yield (RHOHÚ), dry leaf yield (RHOSE), RHOSE/RHOHÚ ratio (RESEHÚ), moisture in leaves (PHÚHO), leaf/stem wet

¹ Ingeniero Agrónomo – Ph.D. Fitomejoramiento. Profesor Titular Universidad de Córdoba, Diagonal 50 No. 8 – 105 – Barrio Villa del Río – Montería (Córdoba). mespita@sinu.unicordoba.edu.co

² Ingeniero Agrónomo – M.Sc. Fisiología Vegetal. Profesor Titular Universidad de Córdoba). rmontoya@sinu.unicordoba.edu.co

³ Ingeniero Agrónomo. Asistente de Investigación. Universidad de Córdoba, lilo10_6@hotmail.com.

ratio (RHOTAHU) and leaf/stem dry ratio (RHOTASE), were analyzed. Significant differences were detected between genotypes ($p < 0.01$) only for RHOTAHU and RHOTASE. The populations arrangement had significant effects ($p < 0.05$ and $p < 0.01$) in the expression of RHOHU, RHOSE, RHOTAHU and RHOTASE. The genotypes by arrangement interactions were only significant ($p < 0.05$) for RHOSE. The plant arrangement 20x20, showed the highest average RHOHU (4654 kg ha^{-1}) and RHOSE (1378 kg ha^{-1}), surpassing by about 83% the 40x40 arrangement, considered the control. Morita 1 expressed statistically the most RHOSE (1586 kg ha^{-1}) in arrangement 20x20, whereas Morita 2 (1416 kg ha^{-1}) did so at the arrangement 40x20. The use of plant arrangements 20x20 y 40x20 for Morita 1 y Morita 2 is suggested to increase yield of stevia in Middle Sinú.

Key words: Stevia, genotypes, leaves yield, planting distances.

INTRODUCCIÓN

La estevia o hierba dulce es una planta herbácea perenne perteneciente a la familia Asteraceae, cuyas hojas son fuente de glicósidos de diterpeno (esteviosidos y rebaudiosidos), los cuales, se estiman tienen una capacidad endulzante 200 a 300 veces mayor que la sacarosa, extraída de la caña de azúcar, distinguiéndose de los edulcorantes artificiales por no tener sabor metálico y no ser cancerígeno (Tanaka, 1982; Soto & Del Val, 2002). Esta característica la hace una especie con gran potencial económico como endulzante de bajo poder calórico y grandes beneficios para la salud. Adicionalmente, posee alta demanda internacional por parte de Japón, China, Corea, Taiwán, Israel, Paraguay, Uruguay y Brasil (Álvarez, 2004).

Recientemente, la oficina de Administración de Alimentos y Drogas de USA (Food and Drug Administration, FDA) ha clasificado al rebaudiosido A purificado de *St. rebaudiana*, como endulzante, "Generalmente Reconocido como Seguro" (Generally Recognized as Safe, GRAS) en el uso de una variedad de alimentos y de bebidas, con determinadas condiciones de calidad, en niveles que oscilan entre 90 a 500mg de rebaudiosido por kilogramo de peso (FDA, 2008), lo cual, augura un futuro promisorio y sostenible para la producción, la transformación, el uso y la comercialización internacional de la estevia en Colombia, ya que el producto nacional

satisface los requisitos de calidad, a nivel de hoja húmeda, seca y procesada, que exige el mercado interno y externo (Espitia *et al.* 2008).

Entre los principales países productores de estevia sobresalen Japón, China, Taiwan, Tailandia, Korea, Brasil, Malasia y Paraguay. Los mayores importadores, mundialmente son Japón, China, Corea, Canadá, Australia, Unión Europea y USA (Hale, 2001; Marín, 2004; MINCOPAR, 2006). El mercado total de edulcorantes de alto poder y bajo contenido calórico es equivalente entre 12,000 a 15,000t de esteviósido por año. La conquista de una pequeña fracción de este volumen, por el esteviósido, representaría cifras significativas (IIAVH, 2006).

Marín (2004) señaló que en el 2007, se tendría un consumo estimado de 100t de extracto de estevia y, a partir de este año, con base en un crecimiento anual del 15%, para el 2015, se esperaría un consumo de 306t, equivalentes a 9000t de azúcar, dado el poder edulcorante de los esteviósidos y rebaudiosidos. Similarmente, con base en el rendimiento en la extracción industrial de estevia del 20% y el rendimiento de 7,5t de hoja/año, para satisfacer la demanda interna del país para el 2015, se tendrían que sembrar por lo menos 200ha. Sin embargo, aún cuando no existen cifras oficiales en Colombia, extraoficialmente, se habla de un área sembrada de, aproximadamente, 100ha, lo cual, sugiere una demanda interna en aumento, sin tener en cuenta los requerimientos del mercado para exportación, que cada vez se prevén están aumentando (Espitia *et al.* 2008).

Las labores que demanda el cultivo, lo convierten en un sistema altamente generador de empleos rurales y se constituye como una opción para los pequeños productores (Espitia *et al.* 2008; Jarma, 2003). En Colombia, trabajos adelantados en la región caribe, demostraron su adaptación a la oferta ambiental de esta parte del país, convirtiéndola en una alternativa de producción económica y sostenible para los sectores agrícola y agroindustrial (Espitia *et al.* 2008; Jarma *et al.* 2006; Jarma *et al.* 2005; Jarma, 2003).

En el ámbito internacional, se reportan densidades de población entre 40.000 a 250.000 plantas ha^{-1} , con arreglos en surcos sencillos dobles o triples. Las distancias de siembra más utilizadas en surcos sencillos

son de 20 x 20, 30 x 30, 40 x 20, 45 x 65, 50 x 20, 50 x 50, 70 x 20 y 80 x 10cm entre surcos y plantas, respectivamente (Sakaguchi & Tatsuiko, 1982; Brandle & Rosa, 1992; Pinaya, 1996; Lima *et al.* 1997; Midmore & Rank, 2002; Casaccia & Álvarez, 2006; Zubiarte, 2007; INCAGRO, 2008).

En la región Caribe, la Universidad de Córdoba ha venido desarrollando durante los últimos cinco años, trabajos de investigación en esta especie, en aspectos tecnológicos, relacionados con respuesta a la radiación (Jarma *et al.* 2005), multiplicación y propagación *in vitro* (Suárez *et al.* 2006; 2008), uso como edulcorante, manejo de propágulos, reconocimiento de enfermedades (Jarma, 2003), crecimiento y desarrollo (Jarma *et al.* 2006); sin embargo, en todos los estudios, se utilizó un solo arreglo de población de 40 x 40cm, entre surcos y plantas, respectivamente, lo cual, no ha permitido explorar el máximo potencial fisiológico de la especie en la región.

Los estudios de arreglos poblacionales son importantes y necesarios en las diferentes zonas productoras, porque: a) se busca que la planta maximice la expresión de su potencial genético y aproveche de manera más eficiente los factores de producción de clima y suelo, disponibles en cada localidad; b) el rendimiento depende del genotipo, ambiente y la interacción del genotipo con el ambiente; c) existe efecto significativo sobre la competencia intraplantas y con malezas, sanidad del cultivo y el aprovechamiento de la luz, agua y nutrientes; d) el rendimiento se incrementa con la densidad hasta alcanzar el óptimo, después del cual permanece constante o decrece al aumentar el número de plantas (Rodríguez, 2001; Espitia *et al.* 2008). Lo anterior, es de mayor interés, si se tiene en cuenta que en muchos cultivos incluidos la estevia, los agricultores establecen arreglos de poblaciones en sus siembras comerciales, sin tener en cuenta la plasticidad fenotípica de los genotipos sembrados (Rodríguez, 2001).

Diversas investigaciones han demostrado el efecto, las ventajas y las desventajas de los arreglos de población en diferentes especies, como lechuga (Lino, 2007); berenjena (Pérez *et al.* 2006); tomate (Barraza *et al.* 2004); melón (Nerson, 2002) y caraota (Díaz *et al.* 2001); sin embargo, las evaluaciones experimentales de distancias de siembra en estevia son escasas (Pinaya, 1996; Sakaguchi & Tatsuiko, 1982; Sumida, 1980), aunque, existen varios reportes con recomendaciones

de distancias y de densidades de siembras para el cultivo (Lima *et al.* 1997; Midmore & Rank, 2002; Casaccia & Álvarez, 2006; Zubiarte, 2007; INCAGRO, 2008).

Teniendo en cuenta la ausencia de información autóctona para el manejo agronómico exitoso de la estevia, en el Valle Medio del Sinú, se consideró necesario adelantar el presente estudio, con el objetivo de evaluar el efecto de tres arreglos de población sobre el rendimiento de hoja en dos genotipos de *St. rebaudiana*, Morita 1 y Morita 2, variedades introducidos a esta región desde Japón, hace aproximadamente diez años y los únicos materiales que se han venido sembrando, bajo las condiciones del Sinú Medio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio, se realizó en condiciones de campo en el primer semestre de 2006, en lotes experimentales de la Universidad de Córdoba (Montería, Colombia), ubicada en las coordenadas geográficas 8° 52' latitud norte y 76° 58' longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich y a 15msnm. El área pertenece a la zona climática cálido-moderada, a la formación Bosque Seco Tropical (BS-T) y a la zona agroecológica C_j (Palencia *et al.* 2006; Holdrige, 1986; IGAC, 1985). Los principales factores climáticos bajo las cuales se realizó el estudio fueron: temperatura media de 25 a 29°C, humedad relativa de 76 a 92%, brillo solar de 1,2 a 9,9 horas día⁻¹ y precipitación de 0,0 a 40,5mm día⁻¹ (Estación Meteorológica, Universidad de Córdoba).

Las plántulas para la siembra, se obtuvieron de ramas de plantas madres adultas (mayores de seis meses de edad) de *St. rebaudiana* variedades Morita 1 (M1) y Morita 2 (M2). Para evitar la floración, se realizaron podas periódicas, manteniéndose en estado vegetativo bajo condiciones de casa-malla con polisombra del 50%, permanente control de plagas, de enfermedades, de fertilización y de suministro de riego. El proceso de enraizamiento, se realizó aplicando en la base de las estacas ácido naftalenacético en polvo al 0,40%. Luego, las estacas fueron colocadas en bandejas plásticas durante un mes, empleando como sustrato la mezcla de arena y de limo en proporciones 2:1, respectivamente, desinfectada con agua caliente (100°C), previamente. Se usaron bandejas plásticas por su fácil manejo, mayor eficiencia y menores costos. Al momento del trasplante al sitio definitivo, las raíces de las plántulas fueron

desinfectadas sumergiéndolas en una solución de 2g L⁻¹ de Mancozeb del 80%.

En campo, se evaluaron seis tratamientos en arreglo factorial (2 x 3), originado de la combinación de los dos genotipos, M1 y M2 y tres arreglos de población (20 x 20, 40 x 20 y 40 x 40cm, entre surcos y plantas, respectivamente), lo cual, origina densidades de población de 250.000, 125.000 y 62.500 plantas ha⁻¹.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En razón a los tres arreglos poblacionales utilizados y con el objeto de asegurar un número suficiente de plantas en competencia completa durante las 16 semanas de estudio, se emplearon tamaños de parcelas de 8,4m² (20 x 20), 16,8m² (40 x 20) y de 36,8m² (40 x 40, considerado como testigo), lo cual originó una densidad de población por unidad experimental de 210 a 230 plantas/parcela (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos estudiados para la evaluación de las variables asociadas con el rendimiento en *Stevia rebaudiana* para Morita 1 (M1) y Morita 2 (M2), en condiciones del Sinú Medio.

Tratamientos	Genotipos	Arreglos poblacionales (cm)	Área / parcela (m ²)	Plantas / parcela (#)	Plantas ha ⁻¹ (#)
1	M1	20 x 20	(4,2 x 2,0)=8,4	210	250.000
2	M1	40 x 20	(8,4 x 2,0)=16,8	210	125.000
3	M1	40 x 40	(18,4 x 2,0)=36,8f	230	62.500
4	M2	20 x 20	(4,2 x 2,0)=8,4	210	250.000
5	M2	40 x 20	(8,4 x 2,0)=16,8	210	125.000
6	M2	40 x 40	(18,4 x 2,0)=36,8	230	62.500

Se evaluaron seis variables dependientes, a saber: 1) rendimiento de hoja húmeda (RHOHU); 2) rendimiento de hoja seca (RHOSE); 3) relación RHOSE/RHOHU (RESEHU); 4) porcentaje de humedad en las hojas (PHUHO); 5) relación hoja/tallo en húmedo (RHOTAHU) y 6) relación hoja/tallo en seco (RHOTASE). En cada unidad experimental, con el fin de estimar el RHOHU, se marcó una parcela productiva de 24 plantas, las cuales, se cosechaban a 10cm de altura, mediante podas periódicas (hojas + tallos), cada vez que se iniciaba la floración en el 50% de las plantas, ello, en razón a que las hojas son el producto de interés y es en este momento fisiológico, donde la hoja acumula la mayor concentración de esteviosidos y rebaudiosidos (Tanaka, 1982; Soto & Del Val, 2002). Las producciones parciales en fresco de cada unidad experimental, se empacaron en bolsas de papel, previamente identificadas, luego, se llevaron al laboratorio, en donde se procedió a separar y pesar las hojas y los tallos; los datos parciales de hojas de cada unidad experimental, se sumaron al final y se expresaron en kg ha⁻¹, teniendo en cuenta el área de cada parcela productiva.

Para obtener el RHOSE, se siguió la metodología descrita para RHOHU y las producciones parciales en fresco de hojas de cada unidad experimental, se secaron en horno por un periodo de 72 horas, a una temperatura de 70°C y se expresaron en kg ha⁻¹. La variable RESEHU, se obtuvo mediante la siguiente ecuación: RESEHU = (RHOSE/RHOHU)*100; el porcentaje de humedad en las hojas, se estimó a través de la siguiente fórmula: PHUHO = [(RHOHU - RHOSE)/RHOHU]*100; las relaciones RHOTAHU y RHOTASE, se calcularon a través de las ecuaciones: RHOTAHU = (peso fresco de hojas/peso fresco total de hojas más tallos)*100 y RHOTASE = (peso seco de hojas/peso seco total de hojas más tallos)*100. Con los datos finales obtenidos para cada variable, se llevaron a cabo los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias, con el uso del programa computacional GENES versión Windows (2004.2.1), desarrollado por Cruz (2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para las seis variables en estudio (Tabla 2) detectó diferencias estadísticas ($p < 0,01$) entre genotipos sólo para la RHOTAHU y la RHOTASE. Esto se debe a una ventaja genética de M2, que expresó una mayor proporción de hoja en relación al peso total de

hojas más tallos, tanto en fresco como en seco. Ello, posiblemente, se explique por la mayor área foliar, tasa absoluta de crecimiento y tasa de asimilación neta, lo cual, se traduce en mayor fotosíntesis y eficiencia en la producción diaria de biomasa por cada centímetro cuadrado de superficie foliar (Jarman *et al.* 2006).

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las seis variables asociadas con el rendimiento¹ de hojas, en dos genotipos estevia y tres arreglos de población.

F. V.	G.L.	RHOHU (kg ha ⁻¹)	RHOSE (kg ha ⁻¹)	RESEHU (%)	PHUHO (%)	RHOTAHU (%)	RHOTASE (%)
Bloques	3	812298,92ns	134480,04ns	67,12ns	67,12ns	60,88*	49,05ns
Genotipos (G)	1	279523,59 ns	1777,44ns	1,78ns	1,78ns	7548,72**	5988,83**
Arreglos (A)	2	9299331,01*	824791,96**	0,58ns	0,58ns	64,87*	95,16*
G x A	2	2078298,45ns	358736,81*	69,42ns	69,42ns	1,52ns	32,27ns
Error	15	1553578,17	72874,22	43,57	43,57	15,94	22,06
Total	23						
C.V (%)		33,52	24,28	21,48	9,52	6,66	7,44
Promedio		3717,8	1111,8	30,7	69,3	59,9	63,0

*, ** significativos al 5% y 1% de probabilidad, respectivamente. ns: no significativos.

¹. rendimiento de hoja húmeda (RHOHU), rendimiento de hoja seca (RHOSE), relación RHOSE/RHOHU (RESEHU), porcentaje de humedad en las hojas (PHUHO), relación hoja/tallo en húmedo (RHOTAHU) y relación hoja/tallo en seco (RHOTASE).

En la fuente de variación arreglos de población, se detectaron diferencias significativas al 1% de probabilidad para RHOSE y al 5% de probabilidad RHOHU, RHOTAHU y RHOTASE. Ello señala, que al menos uno de los arreglos utilizados, tuvo un efecto significativo en la expresión promedio de tales variables; sin embargo, ese efecto fue diferente en uno de los genotipos para el RHOSE, ya que la interacción genotipo por arreglos (G x A), sólo fue significativo ($p < 0,05$) para esta variable. La ausencia de diferencias significativas en la interacción G x A para el resto de las variables, sugiere que los dos genotipos, a pesar de tener diferencias fisiológicas en floración (M1=50 y M2=90 días después del transplante), mostraron un comportamiento estadísticamente similar en los tres arreglos de población estudiados, lo que señala que la respuesta agronómica de los dos genotipos en RHOHU, RESEHU, PHUHO, RHOTAHU y RHOTASE, no se vio afectada por los microambientes generados por las tres densidades de población utilizadas y, por

lo tanto, existe un único genotipo superior en los tres arreglos de población; resultados similares han sido encontrados para el rendimiento de hoja en fresco de estevia en Bolivia (Pinaya, 1996).

Rendimiento de hoja húmeda (RHOHU) y seca (RHOSE): Los promedios entre genotipos para RHOHU y RHOSE (Tabla 3) corroboran la ausencia de diferencias significativas detectadas en el análisis de varianza para estas dos variables e indican, además, que los dos genotipos mostraron un rendimiento de hoja en fresco y seco, estadísticamente, similar. El rendimiento acumulado de hoja fresca durante las 16 semanas del estudio, osciló entre 3610 a 3826kg ha⁻¹, para M2 y M1, respectivamente, con una media general de 3718kg ha⁻¹, aproximadamente. A su vez, el rendimiento de hoja seca osciló entre 1103 (M2) y 1120kg ha⁻¹ (M1), con una media general de 1112kg ha⁻¹. Rendimientos de hoja seca ligeramente inferiores (967kg ha⁻¹) son

Tabla 3. Promedios por genotipo para las seis variables asociadas con el rendimiento¹.

GENOTIPO	RHOHU (kg ha ⁻¹)	RHOSE (kg ha ⁻¹)	RESEHU (%)	PHUHO (%)	RHOTAHU (%)	RHOTASE (%)
M1	3825,8a	1120,4a	30,4a	69,5a	42,2b	47,2b
M2	3609,9a	1103,1a	30,9a	69,0a	77,6a	78,8a

Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según la prueba de Duncan.

1. Rendimiento de hoja húmeda (RHOHU), rendimiento de hoja seca (RHOSE), relación RHOSE/RHOHU (RESEHU), porcentaje de humedad en las hojas (PHUHO), relación hoja/tallo en húmedo (RHOTAHU) y relación hoja/tallo en seco (RHOTASE).

reportados en las condiciones del Valle del Cauca, por Bonilla *et al.* (2007), para las dos primeras cosechas, utilizando distancias de 40 x 40cm. Rendimientos de hoja fresca inferiores son reportados por Brandle & Rosa (1992), quienes en condiciones de campo en Canadá obtuvieron 2144 a 3494kg ha⁻¹, utilizando arreglos de siembra de 30 x 30cm, mientras que Lima *et al.* (1997), en Brasil, con distancias de 50 x 50 y 50 x 20cm, reportan rendimientos de 2300kg ha⁻¹, bajo condiciones de plantación comercial.

La Tabla 4 señala que las distancias de siembra de 20 x 20 y 40 x 20cm entre surcos y plantas, respectivamente, fueron los arreglos de población, en donde los genotipos expresaron, estadísticamente, los mayores rendimientos, tanto de hoja fresca (4654 y 3960kg ha⁻¹) como seca (1379 y 1201kg ha⁻¹), superando a la distancia comercial utilizada en Córdoba, de 40 x 40cm, en 83% a 56% en el rendimiento de hoja fresca, y en 82% a 59% en

el rendimiento de hoja seca, respectivamente. Esta respuesta, se debe, como lo señalan algunos autores (Rodríguez, 2001; Espitia *et al.* 2008), al mayor número de plantas por unidad de área (mayor densidad de población) y la arquitectura de planta arbustiva, que le permiten mejor aprovechamiento de la radiación solar (mayor captación neta de luz por parte del cultivo, aunque por planta puede ser menor, por mayor competencia intraplantas) agua y nutrientes, aun siendo considerada una planta C3 (Midmore & Rank, 2002), posiblemente, a la menor incidencia de malezas, lo cual, a su vez, facilita una mayor producción de biomasa con respecto a la distancia de 40 x 40.

La ventaja que ofrecen los arreglos de siembra con mayor densidad de población radica en que es posible aumentar el rendimiento de hoja fresca y seca en estevia en el Sinú Medio, con el uso de menores distancias de siembra entre surcos y plantas. Resultados similares son

Tabla 4. Promedios por arreglos de población para las seis variables asociadas con el rendimiento¹.

ARREGLOS (cm)	RHOHU (kg ha ⁻¹)	RHOSE (kg ha ⁻¹)	RESEHU (%)	PHUHO (%)	RHOTAHU (%)	RHOTASE (%)
(20x20)	4654,4a	1378,5a	30,9a	69,1a	63,2a	65,6a
(40x20)	3959,9a	1201,4a	30,4a	69,6a	57,8b	59,1b
(40x40)	2539,2b	755,4b	30,8a	69,2a	58,8b	64,5a

Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según la prueba de Duncan.

1. Rendimiento de hoja húmeda (RHOHU), rendimiento de hoja seca (RHOSE), relación RHOSE/RHOHU (RESEHU), porcentaje de humedad en las hojas (PHUHO), relación hoja/tallo en húmedo (RHOTAHU) y relación hoja/tallo en seco (RHOTASE).

reportados en otros países por varios autores (Pinaya, 1996; Sakaguchi & Tatsuiko, 1982; Sumida, 1980; Midmore & Rank, 2002; Casaccia & Álvarez, 2006; Zubiarte, 2007; INCAGRO, 2008), lo cual, los ha llevado a recomendar densidades de población de hasta 250 mil plantas ha⁻¹.

En la tabla 5, se muestra el RHOSE, bajo los tres arreglos de población estudiados. Se observa claramente que el genotipo M1 expresó su mayor potencial genético en rendimiento de hoja seca (1586kg ha⁻¹), cuando se sembró a una distancia de 20 x 20cm entre surcos y plantas, respectivamente, mientras que M2, lo hizo en el arreglo 40 x 20 y 20 x 20cm (1416 y 1171kg ha⁻¹). Ello sugiere, como lo reporta Jarma *et al.* (2006), que los dos genotipos estudiados por sus diferencias en precocidad a floración (45 días), altura de planta (25cm), área foliar (0,50cm²), tasa absoluta de crecimiento y tasa de asimilación neta, se ven afectados de forma diferencial en su respuesta en RHOSE y, a su vez, explica la interacción significativa ($p < 0,05$) genotipo x arreglo detectada en el análisis de varianza (Tabla 2). Los rendimientos de hoja seca encontrados en este estudio son superiores a los reportados en M1 y M2 por algunos productores en el departamento de Córdoba (1000kg ha⁻¹) y a los obtenidos en las condiciones del Valle del Cauca por Bonilla *et al.* (2007), quienes utilizando distancias de 40 x 40cm obtuvieron rendimientos promedios de 967kg ha⁻¹ para las dos primeras cosechas. Esta diferencia, se explica posiblemente, no sólo por las distancias de siembra, sino también por la aplicación de mejores prácticas agronómicas en el ensayo, en cuanto a riego, fertilización, control de malezas, insectos plagas y enfermedades, lo cual, a su vez, permitió que

los dos genotipos estudiados expresaran su mayor potencial genético en altura de planta (M1=39,3cm y M2=64,8cm) y área foliar (M1=1,94cm² y M2=2,33 cm²).

Porcentaje de humedad en las hojas (PHUHO) y relación entre el rendimiento de hoja seca y húmeda (RESEHU): El comportamiento promedio de los dos genotipos de estevia considerados en el estudio para estas dos variables (Tabla 3), señala que M1 y M2 presentaron similar PHUHO, con promedios que oscilaron entre 69,5% (M1) y 69,0% (M2). Los anteriores promedios indican que por cada 100kg de hoja fresca que se cosechan en estos genotipos de estevia, 69kg aproximadamente, corresponden al agua contenida en las hojas (humedad).

Los dos genotipos fueron igual de eficientes en su proceso de conversión del rendimiento de hoja húmeda a hoja seca, que se mide a través de la variable RESEHU, ya que sus promedios no fueron estadísticamente diferentes, presentando valores entre 30,4% (M1) y 30,9% (M2), valores que sugieren que por cada 100kg de hoja fresca que se producen en cada genotipo, se obtienen en promedio 31kg, aproximadamente, de hoja seca. La capacidad, estadísticamente igual, de conversión de hoja húmeda a hoja seca en los dos genotipos, se explica porque ambos presentan similares rendimientos y contenidos de humedad en las hojas.

La relación de conversión aproximada 3:1 de hoja húmeda a seca obtenida es de mucho interés a nivel comercial para productores, comercializadores y procesadores, ya que facilita determinar un precio

Tabla 5. Rendimiento promedio de hoja seca, RHOSE (kg ha⁻¹) para Morita 1 y Morita 2, bajo tres arreglos de población (20x20, 40x20 y 40x40cm).

GENOTIPOS	ARREGLOS POBLACIONALES (cm)			PROMEDIO
	20x20	40x20	40x40	
Morita 1	1586 a	987 bc	788 bc	1120
Morita 2	1171 ab	1416 a	722 c	1103
PROMEDIO	1379	1202	755	1112

Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes, según la prueba de Duncan.

justo, cuando se vende la producción de hoja en seco y no fresca. Esto permite una producción con mayor valor agregado, con secamiento de las hojas al sol, como se realiza en Córdoba. Resultados similares han sido reportados por Brandle & Rosa (1992), Lima *et al.* (1997) y Jarma (2003), con valores de RESEHU, que han oscilado entre 30 y 33%, con secamiento de hojas en estufas de secado (Brandle & Rosa, 1992; Lima *et al.* 1997) y al sol (Jarma, 2003).

En la tabla 4, se corrobora la ausencia de efecto significativo de las distancias de siembra sobre las variables PHUHO y RESEHU detectados en el análisis de varianza (Tabla 2); los tres arreglos muestran promedios no significativos en cada variable, con valores que oscilan alrededor de 69,3% para el PHUHO y 30,7% para la RESEHU. Estos resultados, se deben, posiblemente, y como lo mencionan algunos autores (Jarma, 2005; Pinaya, 1996; Brandle & Rosa, 1992; Sakaguchi & Tatsuiko, 1982; Sumida, 1980) a que las dos características son muy poco afectadas por las variaciones ambientales, son controladas por uno o pocos genes mayores y los dos genotipos difieren muy poco genéticamente para tales caracteres. A pesar de lo anterior, es posible detectar efectos ambientales en la estimación del PHUHO y RESEHU, cuando se realizan muestreos en diferentes horas del día o épocas de siembra (Pinaya, 1996; Brandle & Rosa, 1992).

Relación hoja/tallo en húmedo (RHOTAHU) y seco (RHOTASE): La prueba de comparación de medias (Tabla 3) señala que las diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los genotipos (Tabla 2), estuvieron explicada por el genotipo M2, el cual, con valores promedios de 77,6% y 78,8% en su RHOTAHU y su RHOTASE respectivamente, superó a M1 en un 35,4 y 31,6 puntos porcentuales en la RHOTAHU y RHOTASE, respectivamente. Lo anterior, se debe, como lo señala Jarma *et al.* (2006; 2005), a que las hojas de M2 presentan un mayor tamaño, que le permite responder de manera más eficiente a la máxima radiación incidente y lograr mayor fijación de CO_2 , lo que, se traduce en mayor acumulación de área foliar y ganancia de biomasa. No obstante, esta mayor eficiencia fisiológica en la relación hojas/tallo de M2 con respecto a M1, no se reflejó estadísticamente en el rendimiento acumulado final de hoja húmeda y seca, ya que los dos genotipos no mostraron diferencias significativas entre ellas.

La presencia de efectos estadísticos entre genotipos para la RHOTAHU y la RHOTASE, frente a la ausencia en el PHUHO y RESEHU, señala diferencias genéticas importantes entre Morita 1 y 2, para las dos primeras variables, pero no para las dos últimas. Esas diferencias genéticas, se expresan en una mejor distribución de fotosintatos hacia las hojas frente al tallo en M2 comparada con M1, lo cual, no necesariamente se tiene que reflejar en el PHUHO y RESEHU, ya que en éstas, lo que se evalúa es el contenido humedad en las hojas y no la eficiencia fisiológica de los dos genotipos.

La tabla 4 señala que la distancia de siembra de 20 x 20cm entre surcos y plantas, respectivamente, fue el arreglo de población, en donde en promedio los genotipos de estevia expresarán, estadísticamente, la mayor RHOTAHU y la mayor RHOTASE, con valores de 63,2% y 65,6%, respectivamente, superando a la distancia de siembra comercial utilizada en Córdoba de 40 x 40cm, en 4,4 puntos porcentuales en la RHOTAHU, pero sin ser estadísticamente superior a ésta en RHOTASE.

Como ya se mencionó para el rendimiento, esta respuesta diferencial se debe y como señalan algunos autores (Rodríguez, 2001; Espitia *et al.* 2008) a que el arreglo de siembra de 20 x 20cm, le confiere el espaciamiento óptimo a las plantas de estevia para que puedan maximizar la expresión de su potencial genético en su defensa y aprovechamiento de manera más eficientemente los factores de producción de clima y de suelo disponibles en la localidad del estudio, resultado, posiblemente, por una mayor distribución de fotoasimilados a la producción de hojas, produciendo tallos más delgados y menos ramificados. Lo anterior, a su vez facilita una mayor eficiencia fisiológica en la producción de biomasa en hojas con relación a tallos.

La ventaja que ofrecen los arreglos de siembra con mayor densidad de población utilizado en el estudio señala que no sólo es posible aumentar la relación hoja/tallo (húmedo y seco), sino, además, el rendimiento de hoja fresca y seca en estevia en el Sinú Medio, con el uso de distancias de siembras de 20 x 20cm entre surcos y plantas, respectivamente, ya que el costo que implica el uso de mayor cantidad de esquejes para siembra no es significativo en la estructura de los costos de producción (Espitia *et al.* 2008). Estos resultados concuerdan con las recomendaciones en otros países

por varios autores (Pinaya, 1996; Sakaguchi & Tatsuiko, 1982; Sumida, 1980; Midmore & Rank, 2002; Casaccia & Álvarez, 2006; Zubiarte, 2007; INCAGRO, 2008), en el sentido de aumentar los rendimientos de hojas a través del aumento de la densidad de siembra.

CONCLUSIONES

El uso de la distancia de siembra de 20 x 20cm permite aumentar la relación hoja/tallo (húmedo y seco), el rendimiento de hoja fresca y seca en estevia en el Sinú Medio, en comparación con la distancia comercial utilizada por los productores de 40 x 40cm.

El genotipo Morita 1 expresó su mayor rendimiento de hoja seca en el arreglo 20 x 20, mientras que en Morita 2, se presentó en el arreglo 40 x 20cm, por ello, se sugiere considerar el uso de estos arreglos poblacionales, para aumentar el rendimiento de estevia en el Sinú Medio. En promedio los dos genotipos mostraron un rendimiento de hoja en fresco y seco estadísticamente similar.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, J. 2004. *Stevia rebaudiana* Bertoni. Universidad EAFIT. Departamento de Negocios Internacionales. Documento elaborado para la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia. Medellín. 71p.
- BARRAZA, F; FISCHER, G; CARDONA, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en el Valle del Sinú Medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*. 22:223-228.
- BONILLA, C.R., SÁNCHEZ, M.S., PERLAZA, D.F. 2007. Evaluación de métodos de propagación, fertilización nitrogenada y fenología de estevia en condiciones del Valle del Cauca. *Acta Agronómica*. 56(3):131-134.
- BRANDLE, J.E.; ROSA, N. 1992. Heritability for yield, leaf-stem ratio and stevioside content estimated from a landrace cultivar of *Stevia rebaudiana*. *Can. J. Plant Sci.* 72:1263-1266.
- CASACCIA, J.; ÁLVAREZ, E. 2006. Recomendaciones técnicas para una producción sustentable del ka'a he'e (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) en el Paraguay. Instituto Agronómico Nacional. Programa de Investigación de KA'A HE'E. 53p. Disponible desde Internet en: http://www.steviaparaguay.com.py/recomendaciones-tecnicas_kaahee.pdf (con acceso el 25/01/2009).
- CRUZ, C.D. 2004. Programa GENES. Versao Windows. Aplicativo Computacional em Genética e Estatística. Editora UFV. Universidade Federal de Viçosa. Disponible desde Internet en: <http://www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm> (con acceso el 16/01/05).
- DÍAZ, C.; FIGUEROA, N.; WARNOCK, R. 2001. Estudio del crecimiento y desarrollo de la caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo diferentes densidades de población. *Rev. Fac. Agronomía*. 27(2):121-126.
- ESPITIA, M., MONTOYA, R., JARMA, A. 2008. *Stevia* en el Caribe Colombiano. Gráficas del Caribe Ltda. Montería – Córdoba. 84p.
- FDA FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. 2008. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000252. Rebaudioside A purified from *Stevia rebaudiana* (Bertoni). CFSAN/Office of Food Additive Safety. December 17. Disponible desde Internet en: <http://www.cfsan.fda.gov/~rdb/opa-g253.html> (con acceso el 5/01/2009).
- HALE, A. 2001. *Stevia rebaudiana*: Propiedades, mercados y factibilidad de producción de un cultivo de venta al contado en Bolivia. USAID/Bolivia. 21p. Disponible desde Internet en: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACU375.pdf (con acceso el 10/02/2009).
- HOLDRIGE, L. 1986. *Ecología basada en las zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José. Costa Rica. 214p.
- INCAGRO. 2008. Manual técnico de producción de *Stevia*. Disponible desde Internet en: http://www.incagro.gob.pe/~incagro/apc-aa-files/e457b3346514303468089b655b420d50/Manual_Tcnico_de_Stevia.pdf (con acceso el 25/01/2009).

- IGAC INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1985. Zonificación Agroecológica de Colombia. Memoria explicativa. Litografía IGAC. Bogotá, D. C. 57p.
- IIAVH INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ALEXANDER VON HUMBOLDT – BIOCOMERCIO. 2006. Investigación de mercados de Edulcorantes Naturales. 173p. Disponible desde Internet en: <http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/documentos/ESTUDIO%20EDULCORANTES%20HUMBOLDT.pdf> (con acceso el 16/01/2009).
- JARMA, A. 2003. *Stevia rebaudiana* Bert., alternativa de sustitución de cultivos ilícitos en Colombia. Documento interno. Informe Final de Proyecto. U. de Córdoba, Fac. Ciencias Agrícolas. Montería. 267p.
- JARMA, A.; RENGIFO, T.; ARAMÉNDIZ, H. 2006. Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. Agr. Col. 24(1):38-47.
- JARMA, A.; RENGIFO, T.; ARAMÉNDIZ, H. 2005. Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano: I. Efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. Agr. Col. 23(2):207-216.
- LIMA FILHO, O.F. de; MALAVOLTA, E; SENA, O.A. de; CARNEIRO, J.W.P. 1997. Absorção e acumulação de nutrientes em estévia *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni: I. Macronutrientes. Sci. Agric. 54(1-2):14-22.
- LINO E., L. 2007. Respuesta de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa*, L.) a diferentes densidades de plantación bajo régimen de cultivo semiprotegido. Rev. Agrotécnica de Cuba. 21:12-15.
- MARÍN, W. 2004. Sondeo de Mercado de la Estevia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá-Colombia. 66p. Disponible desde Internet en: <http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/documentos/Sondeo%20del%20Mercado%20de%20Estevia.pdf> (con acceso el 7/02/2009).
- MIDMORE, D.J.; RANK, A.H. 2002. A new rural industry – Stevia – to replace imported chemical sweeteners. RIRDC Web Publication No W02/022. 50p. Disponible desde Internet en: <http://www.rirdc.gov.au/reports/NPP/02-022.pdf> (con acceso el 16/02/2009).
- MINCOPAR MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO DE PARAGUAY (2006. Diagnóstico cadena stevia. Foro de competitividad de la cadena productiva de la Stevia. 42p. Disponible desde Internet en: <http://www.programapymes.gov.py/descarga/stevia/diagnosticos/diagnostico.pdf> (con acceso el 10/02/2009).
- NERSON, H. 2002. Relation between plant density and fruit and seed production in muskmelon. J. Am. Soc. Hort. Sci. 127(5):855-859.
- PALENCIA, G.; MERCADO, T.; COMBATT, E. 2006. Estudio Agroclimático del departamento de Córdoba. Ed. Gráficas del Caribe Ltda. Montería. 126p.
- PÉREZ, M.; MONTOYA, R.; CARDONA, C.; ARAMÉNDIZ, H.; ROBLES, J. 2006. Efecto de cuatro densidades de población sobre el crecimiento del fruto de berenjena (*Solanum melongena* L.). Rev. Temas Agrarios. 11(2):14-25.
- PINAYA, R.A. 1996. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de steviosido en cultivo de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Disponible desde Internet en: <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRISUM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000376> (con acceso el 5/02/2009).
- RODRÍGUEZ, L. 2001. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. Rev. Comalfe (Bogotá). 27:31-38.
- SAKAGUCHI, M.; TATSUIKO, K. 1982. As pesquisas japonesas com *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni e o esteviosido. Ciencia e Cultura. 34(2):235-248.
- SOTO, A.; DEL VAL, S. 2002. Extracción de los principios edulcorantes de la *Stevia rebaudiana*. Ciencias Agr. y Tecnología de los Alimentos. 20:5-9.

- SUÁREZ, I.; SALGADO, J. 2008. Propagación In Vitro de *Stevia rebaudiana* BERT. (Asteraceae-Eupatorieae) a través de organogénesis. Rev. Temas Agrarios. 13(1):40-48.
- SUÁREZ, I.; ESPITIA, M.; PERTUZ, I. 2006. Efecto de auxinas y citocininas en la multiplicación y enraizamiento In Vitro de *Stevia rebaudiana* Bertoni. Fitotecnia Colombiana. 6(2):1-8.
- SUMIDA, T. 1980. Studies on *Stevia rebaudiana* Bertoni as a new possible crop for sweetening resource in Japan. J. Cent. Agric. Exp. Sta. 31:1-71.
- TANAKA, O. 1982. Steviol-glycosides: New natural sweeteners. Trends in Analytic Chemistry (Netherlands). 1:246-248.
- ZUBIATE, F. 2007. Manual del Cultivo de la Stevia (Yerba Dulce). Disponible desde Internet en: http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=1337 (con acceso el 12/02/2009).

Recibido: Enero 31 de 2009

Aceptado: Abril 30 de 2009

FORMULACIÓN DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CARACOL EN CUNDINAMARCA Y BOYACÁ – COLOMBIA PARA EXPORTAR HACIA EL MERCADO ESPAÑOL

FORMULATION OF THE SNAIL PRODUCTIVE CHAIN IN THE DEPARTMENTS OF CUNDINAMARCA AND BOYACA – COLOMBIA FOR EXPORT TO THE SPANISH MARKET

Álvaro Lamprea Delgado¹
María Concepción Salazar Alonso²
Adriana Posada Arrubla³

RESUMEN

Para formular la cadena productiva del caracol, se consideraron dos referentes: la Unión Europea, específicamente España, y la normatividad en Colombia, en aspectos relacionados con la producción y la comercialización. Se propuso la cadena para desarrollar una oferta exportable de productos de uso alimenticio, para generar empleo, mejorar los ingresos para pequeños y medianos productores y consecución de divisas, permitiendo potencializar esta actividad agroindustrial, recién creada en Colombia. Esta investigación permitió determinar las oportunidades que tiene la exportación de caracol en el mercado español, lo mismo la actividad helicícola en Colombia, teniendo en cuenta los aspectos más relevantes de la cadena, como las empresas, los gremios, entre ellos Fedecohel, las universidades, el

sector financiero, además del gobierno. Esto para que se realicen gestiones coordinadas y lograr, en el futuro, proveer, en forma garantizada, un suministro de productos procesados o derivados de la carne del caracol y los subproductos, que se puedan producir y comercializar en economías a escala, en términos de volúmenes de producción, de calidad, de logística de distribución física, a nivel nacional e internacional, de empaques y embalajes y términos de negociación en el mercado meta, que permitan cumplir con los pedidos en el exterior. Para tal fin, se debe transformar el sistema tradicional de producción, para que sea más productivo y competitivo y, de esta forma, permitir a las empresas nacientes competir y acceder a los mercados internacionales, especialmente, al español.

Palabras clave: *Helix aspersa*, cadena productiva, comercialización internacional, producción, exportaciones.

SUMMARY

To formulate the snail productive chain two referents, the European Union one, specifically, Spain, as well as the Colombian norms, regarding aspects as production and commercialization, were considered. The chain, to develop an offer of exportable products of alimentary use, to generate employment, income improvement for

¹ Profesional en Comercio Internacional, Especialista en Gerencia de Mercadeo, Docente Investigador U.D.C.A. Dirección para correspondencia: alamprea@udca.edu.co

² Economista, Docente Investigadora U.D.C.A. Dirección para correspondencia: masalazar@udca.edu.co

³ Economista Agrícola, Especialista, Magíster. Dirección para correspondencia: aposada@udca.edu.co

small and medium producers, as well as the achievement of devises, allowing to potentialize this agro-industrial activity, recently created in Colombia, is proposed. This research allowed to determine the opportunities of the snail export to the Spanish market and the Helicicola activity, having in mind the most relevant aspects of the chain, the companies, the associations as Fedecohel, the universities, the financial sector and furthermore the government. This, in order to develop coordinated activities and in the future, to supply, in a guaranteed manner, processed snail products or meat derived and sub-products, produced and commercialized in economies, at scale, in terms of production, volume, quality, logistic of physical distribution at national and international level, paking and terms of negotiation in the market that allow them to fulfil the international market. For this, the traditional system of production has to be transformed, to make it more productive and competitive and this way to allow the nascent companies to compete and access the international markets, especially the Spanish one.

Key words: *Helix aspersa*, productive chain, international commercialization, production, export.

INTRODUCCIÓN

El caracol comestible, *Helix aspersa*, introducido a Colombia en el siglo pasado desde Brasil (Rodrigues, 1991), es una fuente alimenticia muy importante y un mercado en potencia, desaprovechado en el país, por no existir la cultura interna de su consumo, ni existe una cadena de valor que permita la comercialización adecuada, que cubra la demanda insatisfecha de los mercados internacionales.

En el ámbito internacional, los mayores consumidores de carne de caracol son Francia, España e Italia, donde España, se destaca por ser un importante consumidor y productor de caracoles, tradición que no solo se da a nivel de restaurantes sino también en los hogares, siendo la mayor demanda en otoño y durante las fiestas de navidad y fin de año. Es importante destacar cómo la ventaja que supone producir en contra de la estación de invierno es invaluable y pone a Colombia en situación de privilegio (Giraldo *et al.* 2006). España Importa alrededor de 4.000t anuales de caracol (Corporación Financiera Nacional CFN, 2003); durante temporada alta, se ofrece

a 2,50€/kilo caracol vivo y en temporada baja supera los 4€, llegando hasta 5€, el caracol precocido.

A partir de estas referencias, se infiere que España es demandante y Colombia es un potencial oferente, debido a que presenta una ventaja competitiva por las condiciones climáticas, que permiten una producción a gran escala durante todo el año, mientras que España, por sus estaciones, solo puede producirlos, a gran escala, en verano. Por lo cual, puede ofrecer el caracol a unos precios competitivos para exportación que oscilan entre 1,88€ y 3,40€, lo que representa un margen de rentabilidad 0,62€ por kilo, para el empresario (García, 2005). Sin embargo, la helicicultura en Colombia es una agroindustria naciente, que requiere de procesos productivos y comerciales tecnificados, para poder desarrollar una oferta exportable.

En América Latina, especialmente, Argentina, Perú y Chile, son los principales países exportadores de caracol al viejo continente, abriendo posibilidades para Colombia, debido a la alta demanda internacional, estimada en 300 mil toneladas año. Pero precisamente para poder ingresar al mercado europeo, se deben cumplir con ciertos requisitos, como el certificado sanitario, seriedad, calidad y compromiso de continuidad, aspectos que ya poseen los países europeos (Giraldo *et al.* 2006) y que en Colombia, se deben mejorar.

En el esfuerzo de Colombia para reproducir el caracol en cautiverio, se han introducido algunas especies, invasoras del medio natural por el manejo inadecuado que se le ha dado a los cultivos, por el abandono de los zocriaderos y por las malas prácticas de manejo, lo que causa una dispersión descontrolada en algunas regiones del país, por lo cual, en algunos casos, se considera como una plaga o invasor (REUNA, 2005). Por ello y con el fin de proteger el ambiente, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial no seguirá autorizando nuevas solicitudes de licencias ambientales de introducción de la especie *H. aspersa*, de conformidad con lo dispuesto en el numeral 6, del artículo 1, de la Ley 99 de 1993 y en el literal h, del artículo 8, de la Ley 165 de 1994, inmerso en el Convenio Sobre la Diversidad Biológica.

La forma más efectiva de controlar el mal manejo de los caracoles y reducir su impacto ambiental es permitir y fomentar su comercialización y el aprovechamiento de sus productos y subproductos, que podrían ser una

oportunidad y no una amenaza para desarrollar un nuevo subsector de la agroindustria colombiana. En la medida que se produzcan comercialmente, se reduciría el impacto ambiental, por que las autoridades ambientales podrían ejercer un efectivo control sobre esta actividad (Rousselet, 1986).

Por lo anterior, es importante determinar el tipo de aprovechamiento y seleccionar aquellas producciones que protejan el ambiente y generen una actividad económica sostenible y sustentable, acorde con la reglamentación nacional e internacional. Existen, por ejemplo, diferentes formas de producción para el caracol de tierra, una de ellas, identificar cuál se adecua más a las necesidades de los pequeños y medianos cultivadores en Colombia, por lo cual, se hace necesario tener el conocimiento y la tecnología que requiere este tipo de cultivos.

Un aspecto de referencia para programar el mercado colombiano de caracoles hacia el español, es que España, que ocupa el segundo lugar como demandante, después de Francia, cuenta con centros logísticos, importantes puertos, como Valencia, puerto atractivo por ser uno de los más eficientes, en el ámbito internacional, representando un punto estratégico para la distribución de alimentos hacia el resto del país (Montes & Montes, 2002). Pero a pesar de estas ventajas en infraestructura, no existe una normativa española específica para la producción, cría y comercialización del caracol, pues se regula por las normas generales de Sanidad y, la exportación, por los certificados exigidos en la aduana para la exportación del caracol vivo a España, como CONCAL (control de calidad), SANIM (Inspección sanitaria de importación), TSANR (Inspección sanitaria para el tránsito de mercaderías), VETER (Inspección veterinaria), CITES (Convención de Washington) (Sánchez, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso investigativo desarrolló las bases para la comercialización de carne de caracol desde Colombia y hacia el mercado español en tres etapas, siendo una investigación aplicada de tipo cuantitativa y cualitativa, con las siguientes actividades por etapa:

1. En la primera etapa, se realizó la revisión documental sobre la helicultura a nivel nacional e internacional,

especificando a cerca de las condiciones del mercado y de la normatividad característica en Colombia, la Unión Europea y, particularmente, en España.

2. Conjuntamente con la Federación Colombiana de Helicultores, se llevaron a cabo visitas de campo, entrevistas, la aplicación de la encuesta (Cuadro 1) y se realizó un focus group. En la encuesta, se analizan cinco variables, como se observa en el anexo (ambiental, sanitario, bioseguridad, productividad y comercialización), que fueron aplicadas a siete zocriaderos seleccionados, aleatoriamente, de acuerdo a su sistema de cría, de producción y de medidas de manejo ambiental y comercial. En el focus group se incluyeron a 30 empresarios del sector, teniendo en cuenta la base de datos suministrada por Fedecohel y, para obtener la muestra, se aplico la fórmula para poblaciones finitas:

n = tamaño de la muestra ajustada N = población en este caso helicultores

n° = muestra sin ajustar = S^2 / V^2

$$n = \frac{n^{\circ}}{1 + n^{\circ} / N}$$

3. Se realizó, además, un sondeo directamente en la feria Alimentaria 2008, en Barcelona (España), que permitió evidenciar cómo en los mercados los españoles son posibles compradores, de los oferentes colombianos.

4. Por último, se llevó a cabo el análisis normativo de la ley 1011, de 23 de enero de 2006, del decreto reglamentario 2490, de julio de 2008 (por el cual se permite la producción y la comercialización helicícola en Colombia), de la Ley 165 de 1994 (que aprobó el Convenio Sobre la Diversidad Biológica), del numeral 6, del artículo 1, de la Ley 99 de 1993, del literal h, del artículo 8 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, de la Ley 2490 del 2008 (sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos dedicados al procesamiento, envase, transporte, expendio importación, exportación y comercialización de caracol con destino al consumo humano), todo ello, con el fin de determinar las posibilidades del mercado internacional de caracoles.

Cuadro 1: Encuesta aplicada al grupo objetivo.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A
FACULTAD DE INGENIERÍA COMERCIAL
Estudio producción y comercialización de la carne de caracol con destino al mercado español

1. INFORMACIÓN GENERAL

- 1.1 Representante Legal _____
- 1.2 Razón Social _____ NIT _____
- 1.3 Dirección _____ 1.4 Teléfono _____
- 1.5 Celular _____ 1.6 E - mail _____

2. INFORMACIÓN PRELIMINAR

Marque con una X

- 2.1 Tipo de sistema: Intensivo _____ Mixto _____ Extensivo _____ Intensivo – Industrial _____
- 2.2 Especie de Caracol en Crianza Helix aspersa Müller _____ Helix aspersa máxima _____
- 2.3 Tipo de Manejo Convencional _____ Orgánico _____ Mixto _____
- 2.3 Producción estimada en pie kg, t, promedio de los últimos seis meses _____

3. ASPECTOS DE COMERCIALIZACIÓN

- 3.1 Tipo de comercialización Nacional _____ Internacional _____
- 3.2 Canal de distribución Mayoristas _____ Minoristas _____ Otro _____ Cual _____
- 3.4 Logística de la distribución (transporte) Terrestre _____ Marítimo _____ Aéreo _____

4. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y AMBIENTALES

- 4.1 ¿Cuenta con licencia ambiental? Si _____ No _____ En trámite _____
- 4.2 Tipo de organización a que pertenece: Asociación _____ Federación _____ Cooperativa _____ Otra _____
¿Cuál? _____

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cría de caracol en cautiverio, con fines de exportación a España, es una oportunidad de negocio para los agricultores colombianos que buscan una alternativa de solución a los problemas que ha enfrentado el sector, debido a la apertura económica implementada en el país. Lo anterior, aunado al tema ambiental que centra

la atención en la conservación de las especies nativas enfrentado con la sostenibilidad de la producción de especies foráneas, como es el caso del caracol de tierra, caracterizado por tener un alto contenido proteínico y por permitir generación de ingresos a los helicultores. Es de anotar que la Ley 811 de 2000, organiza esta actividad agroindustrial de forma tal, que posibilita desarrollar cultivos en ciclos de tipo abierto.

En Colombia, la actividad helicícola es relativamente nueva, aunque existen agricultores que han realizado algunos desarrollos, que se encuentran en etapa incipiente. Hay diferentes razones que han llevado a los helicicultores a abandonar o a suspender la producción por diferentes factores, entre los que se destaca la falta de alianzas estratégicas de los helicicultores, que no les permite iniciar las exportaciones, para cubrir la demanda internacional.

Según FEDECOHEL, la región de la Sabana Cundiboyacense ofrece las mejores ventajas comparativas (clima estable, temperatura ideal, especie existente en forma silvestre) y cuenta con la logística para la comercialización internacional de los productos helicícolas. Adicionalmente, algunas entidades, como el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje), PROEXPORT (Fondo de Promoción de Exportaciones de Colombia) y la CCB (Cámara de Comercio de Bogotá), cuentan con programas para apoyar la creación y desarrollo de las pymes, oportunidades que podría ser aprovechada por los empresarios helicícolas.

Pero es importante también que el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial confiera a la helicicultura el estatus de especie promisoría enmarcado en el desarrollo sostenible y tenga viabilidad por parte de las entidades gubernamentales, con el propósito de crear y desarrollar una cadena productiva en un subsector nuevo (García, 2005) y que, en particular, se definan las condiciones de comercialización del caracol hacia el mercado Español.

La cadena productiva del caracol: Para desarrollar y mejorar la competitividad del sector helicícola en Colombia, se requiere diseñar y organizar una cadena productiva, que tenga en cuenta las necesidades de la demanda internacional y, a partir de esta, analizar a los actores y a los agentes participantes en el desarrollo de la misma. La cadena de valor es una alianza vertical o red estratégica entre un número de organizaciones empresariales independientes dentro de una cadena (Hobbs & Cramer, 2000).

En el diseño de la cadena productiva, el enfoque de producción y de comercialización, es un punto de vista clave dentro del sector agroindustrial, debido a que identifica y analiza las barreras, las restricciones y/o puntos críticos de la cadena productiva del caracol, permitiendo un manejo de la información completo

e integral; así mismo, ofrece soluciones efectivas y de mayor impacto que mejoran la competitividad de la misma. Además de las relaciones y correlaciones entre los miembros que integran la cadena, en búsqueda de una competitividad sistémica.

Como base para la conceptualización y el análisis de sector helicícola, para organizar la cadena productiva del caracol en Colombia, se utilizó el enfoque sistémico empleado en el proceso de planificación estratégica de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria Embrapa (Modelo 1) (Castro, 1995). Por su parte, entre los actores fuera de las unidades productivas finca, se encuentran los proveedores de insumos, las agroindustrias, las estructuras de comercialización, los consumidores y las estructuras de apoyo a la producción.

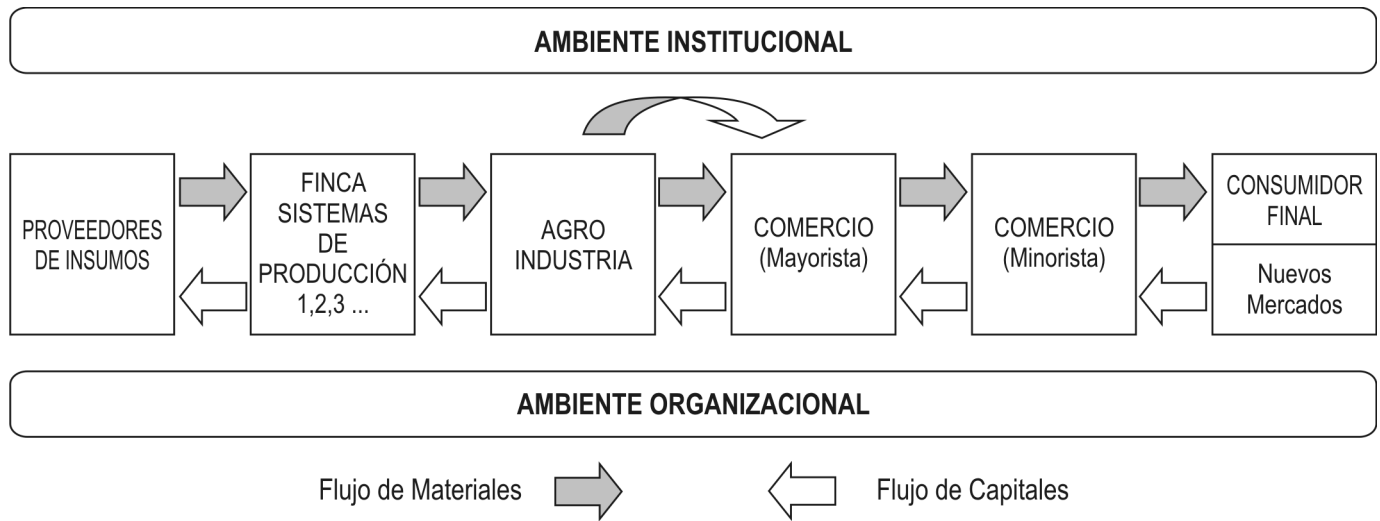
Es así como la visión de la cadena productiva debe tener tres variables fundamentales:

La producción, que incluye aspectos tales como: la planeación y organización de los factores de producción, el acceso a insumos y recursos, la producción misma, la clasificación y selección de los neonatos y caracoles de engorde, así como el envío del producto a los intermediarios. Posteriormente, se realiza el acopio, selección, empaque, transformación, diferenciación del producto, agrega valor, transporte y traspaso del producto.

En relación al mercadeo y comercialización internacional de una cadena productiva del caracol, su perspectiva se enmarca en la promoción y publicidad, el contacto de compradores, la gestión de mercado, la negociación de márgenes de precio y las condiciones de venta y, finalmente, entrega del producto.

Una de las barreras de entrada para la creación de la cadena productiva de caracol es la rentabilidad, ya que requiere que, en toda la cadena desde el productor hasta el distribuidor en el exterior, se generen beneficios.

Entre los elementos claves para organizar las funciones de los diferentes actores de la cadena, se encuentran: la normativa, en aspectos como la fijación de estándares de calidad para proveedores, la frecuencia de entregas y la calidad; lo judicial, en el control a los estándares en cumplimiento con la calidad y lo ejecutivo, en



Modelo 1. Cadena productiva básica formulada por EMBRAPA, Brasil. Fuente: Castro (1995).

la coordinación de la cadena productiva, ayudar a proveedores para cumplir con los estándares y, asociación de productores para apoyar a miembros para lograr estándares.

La propuesta de la cadena productiva del caracol es un enfoque de demanda externa, haciendo referencia a la relación de los grandes minoristas, intermediarios y productores, que manejan marcas y quienes juegan el papel de coordinadores organizados en redes de comercialización.

La comercialización de caracoles hacia La Unión Europea y hacia España: Dado que en España no existe una normativa específica sobre caracoles, la cría, la producción y la comercialización se somete a las normas generales sobre sanidad animal, explotaciones ganaderas y consumo.

Es de considerar, también, que el creciente consumo mundial de caracol, como alimento, esta determinado en aproximadamente 300.000t/año, con una demanda estimada insatisfecha de 30.000t/año, cuyo precio promedio por kilo oscila entre US\$5/US\$10 y 6€/11€ y que representa una oportunidad de negocio para los empresarios del subsector helicícola colombiano.

La cantidad mínima aceptada por un importador suele ser un pallet, 700 a 1000kg, generalmente, es enviado de prueba esperando pedidos de mayor volumen. Los

restaurantes suelen importar por sus propios medios, pero en menores cantidades, que pueden bajar hasta 500kg, situación que no sería rentable. El caracol vivo se exporta por avión, pero el flete es más caro. Vivo refrigerado, precocido, congelado o elaborado, se transporta en barco y el flete es más económico. “Caracoles, excepto los de mar”, vivos, frescos, refrigerados, congelados, salados, secos o en salmuera, con la siguiente apertura: su nomenclatura arancelaria incluye a los caracoles dentro de la posición N.C.E. 0307.60.00.100. P: “Caracoles de tierra (*H. aspersa*)” y 0307.60.00.900. H: “Los demás”. Los caracoles procesados y en conserva están incluidos en la posición arancelaria N.C.E 16.05.90.00 y sus caparazones en N.C.E. 05.08.00.00.

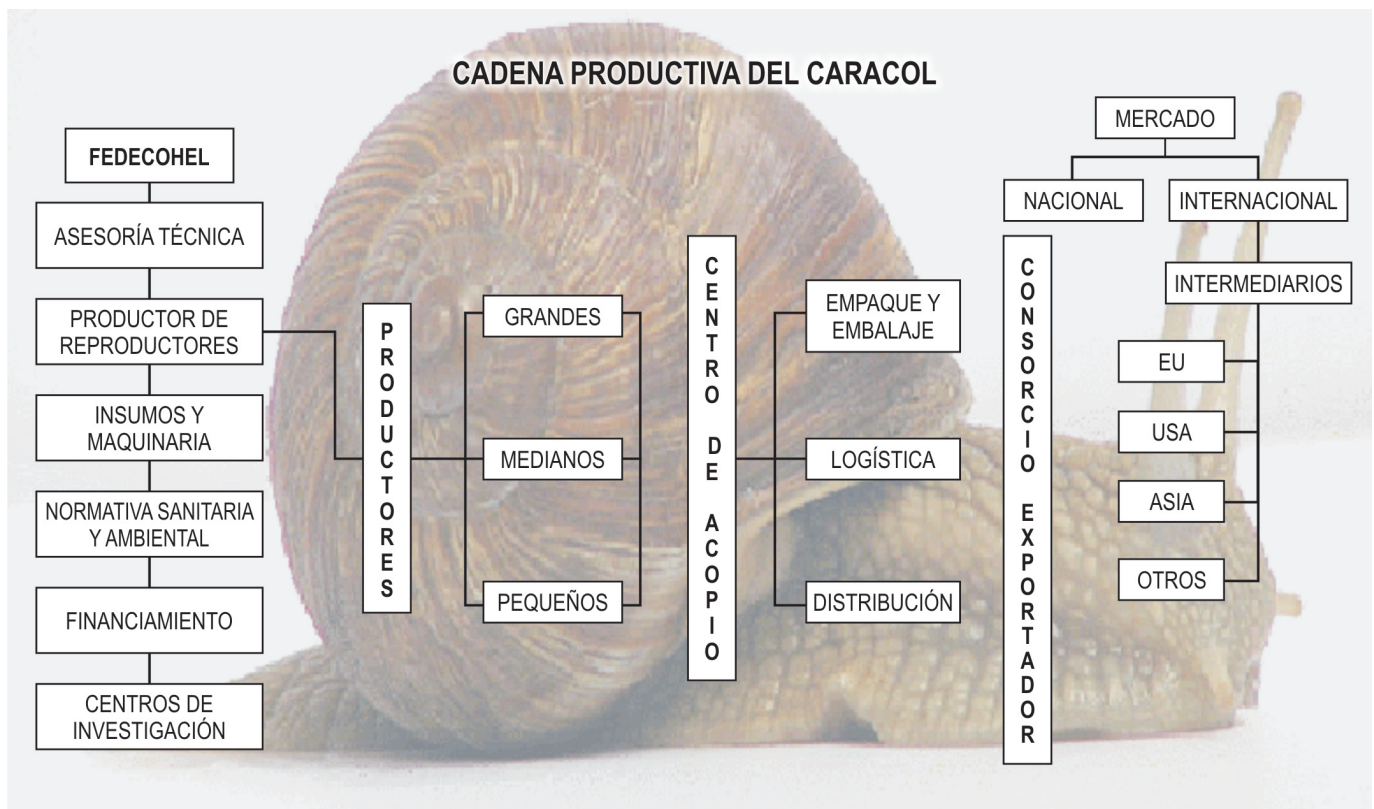
Para la comercialización, se deben considerar las regulaciones y las exigencias del mercado europeo, entre las más importantes, se encuentran: la norma HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), que enfatiza en el análisis de peligros, regula la seguridad y la higiene para productos alimenticios, durante todo su ciclo y la Globalgap, que es el código de buenas prácticas agrarias de la Asociación Europea de Minoristas. El Reglamento (CEE) n° 2658/87, del Consejo de 23 de julio de 1987, relativo a la nomenclatura arancelaria, estadística y al arancel aduanero común, creó una nomenclatura de mercancías; para el caso de los caracoles, el Código es 03.07.60, excepto los de mar, aptos para alimentación humana.

El importador es el responsable de la comercialización comunitaria del producto que importe y, como tal, debe conservar, a disposición de las autoridades de vigilancia, el expediente técnico y la declaración de conformidad del fabricante. Además, en la etiqueta puede constar el código de barras, aunque no es algo que sea obligatorio, colocar en la etiqueta de presentación del producto. La AECOC (Asociación Española de Codificación Comercial) es el representante en España de EAN internacional.

Las importaciones de caracoles a la UE precisan de un certificado sanitario que otorgan aquellos organismos o autoridades certificados, según la normativa comunitaria.

La importación de caracol, se realiza en vivo, congelado, semielaborado o elaborado. Por lo que respecta a Europa, los exportadores son conscientes que la mayoría de sus clientes solicitan, por lo general, el producto vivo, especialmente, desde noviembre a marzo. Usualmente, el transporte se efectúa por vía aérea para embarques desde latinoamérica.

De lo anterior, se deduce que existe una brecha de mercado entre la producción y la demanda que requiere un suministro continuo, en el cual, Colombia bien podría abastecer si existiera un encadenamiento productivo, como se muestra en la propuesta del Modelo 2.



Modelo 2: Propuesta cadena productiva caracol de tierra *Helix aspersa* para exportación.

Cabe destacar la necesidad de crear la cadena productiva definida por la Ley 811 de 2003, como el “conjunto de actividades que se articulan técnica y económicamente desde el inicio de la producción y elaboración de un producto agropecuarios, hasta su comercialización final. La Cadena puede ser conformada de común acuerdo, a nivel nacional, a nivel de una zona o región productora, por

los productores, empresarios, gremios y organizaciones más representativos tanto de la producción agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquera, como de la transformación, la comercialización, la distribución, y de los proveedores de servicios e insumos de tal manera que se manejen propuestas unificadas y se puedan aprender entre los mismos helicicultores de sus experiencias”.

Con la cadena, se tendrá la oportunidad de confrontar los diferentes sistemas de cría estudiados, sus ventajas y desventajas comparativas, en cuanto a producción, comercialización y manejo ambiental. Se establecen los instrumentos requeridos para aplicar en los casos particulares e incluye estrategias que permitan acercar más a los helicultores, como Formación de multiplicadores y Sistema de referenciación Helicícola.

Normatividad para la comercialización de carne de caracol en Colombia: Mientras en el mercado español de caracoles la norma aplicada es general, en el mercado colombiano, ya existe una norma específica para poder exportar la carne de caracol y los derivados de la helicultura. Antes de la existencia de la norma, en Colombia se producía el caracol en condiciones marginales y pequeñas cantidades, pero la existencia y puesta en práctica de la norma, ha posibilitado el poder mejorar las cantidades de producción y la calidad en la comercialización.

La Ley colombiana 1011 de 2006, reglamentada por el decreto 2490, del 9 de julio de 2008, decreta lo relacionado con la recolección, el cultivo, la selección, el manejo, el transporte, la comercialización y la exportación y otras disposiciones de la especie *H. aspersa*, como objeto regulador y determinante de las normas vigentes en materia de alimentos, calidad del agua, insumos agrícolas y pecuarios, protección al medio ambiente y los recursos naturales, ingredientes utilizados en la industria de alimentos, desechos de producción, comercialización, certificación y etiquetado

De otra parte, las definiciones Caracol, Ciclo Cerrado, Género *Helix*, *Helix aspersa*, modalidad o manejo Intensivo, operador, Plan de manejo Ambiental entre otras, permiten la correcta aplicación de lo dispuesto en el decreto en cuanto al reglamento técnico, por el cual, se señalan los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos dedicados al procesamiento, envase, expendio, transporte, Importación, exportación y comercialización del caracol.

La producción de la especie *H. aspersa* en cualquiera de sus modalidades, está supeditada a lo que se disponga en el Plan de Manejo Ambiental del zocriadero. Las actividades de tipo comercial, solamente se podrán realizar una vez se encuentre autorizada la fase comercial por parte de la Corporación Autónoma Regional o de Desarrollo

Sostenible competente y bajo los términos y condiciones allí establecidas, además, deben estar amparadas por un Sistema de Administración Ambiental (S.A.A).

El salvoconducto de movilización, así como su procedencia y destino, se determinan conforme lo dispuesto en la Resolución 0438 de 2001, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o por la norma que la modifique o sustituya y las medidas de bioseguridad que establezcan las autoridades ambientales y sanitarias, o amparados por el registro INVIMA.

Así mismo, los productores y/o exportadores deberán cumplir con los trámites y los requisitos establecidos para la expedición del certificado zosanitario de exportación que expide el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), dando cumplimiento a las normas establecidas por la autoridad sanitaria de destino y con los permisos que, para el efecto, corresponde expedir al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, conforme lo dispone la Resolución 1367 de 2000, del Ministerio del Medio Ambiente y demás requisitos que se establecen en las normas aplicables.

Cabe resaltar que la Organización Mundial de Comercio fue notificada de la existencia de las normas para comercialización de caracoles, mediante los documentos identificados con la nomenclatura G/TBT/N/COL/128.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La cría sostenible de caracoles en Colombia podría reducir el impacto ambiental causado por una especie no nativa, si se fomenta y permite su comercialización y el aprovechamiento de sus productos y subproductos, lo cual, podría generar ingresos y convertirse en una fuente de empleo, aprovechando racionalmente, las especies ya establecidas en el país.

La capacitación, la asesoría y el acompañamiento en aspectos relacionados con la producción y la comercialización del caracol permitieran ser más competitivo al sector helicícola colombiano; como se trata de una actividad incipiente y nueva, es necesario desarrollar su cadena productiva y fomentar campañas

de concientización en la comunidad, encaminadas a mejorar aspectos productivos, de comercialización, de asociatividad y de cooperativismo.

Para fortalecer la actividad helicícola en el país, se requiere crear sinergias que permitan diseñar y proponer la cadena productiva del caracol de tierra, de manera que posibilite desarrollar la especialización de los componentes de la cadena productiva (materias primas, pie de cría, levante, procesamiento, comercialización, la trazabilidad, entre otros factores), para mejorar la competitividad, con el fin de desarrollar exportaciones hacia el mercado europeo e identificar las características de la demanda, particularmente del consumidor de caracol, como alimento en España.

Con la existencia de una norma específica en Colombia, se crea la apertura de nuevos mercados no solo hacia España y Francia, consumidores más destacados, sino hacia otros mercados, como los de oriente, Norte América, Canadá y de América Latina. Además, con la norma se protege el ambiente y se diversifica la producción y comercialización agropecuaria.

La participación en ferias internacionales del sector alimenticio le ha permitido conocer a los helicicultores la competencia internacional, así como los gustos y las

preferencias de los consumidores para tener una visión global del sector y, de esta forma, desarrollar estrategias que le den bases para ser competitivos en los mercados internacionales, pues existen oportunidades reales y potenciales por aprovechar.

El desarrollo de la helicicultura debe estar orientado a crear una cultura de su consumo a nivel nacional, hasta lograr niveles de producción, que permitan el ingreso al mercado externo, impulsado por el enorme consumo de caracoles terrestres, para la gastronomía en el mundo entero; alrededor de la mitad de los caracoles comercializados en la UE tienen como destino la industria del congelado y las conservas, lo que requiere más investigación y desarrollo.

Es necesario mejorar el nivel productivo de zoocriaderos de caracol establecidos en el departamento de Cundinamarca porque es bajo o incipiente, como se observa en la tabla 1.

Se requiere mejorar la cadena logística del sector, llevando registros sistematizados de la edad del animal, así como el control a proveedores del alimento utilizado, la calidad del agua, los insumos y los materiales utilizados y, así, aumentar la calidad del producto final.

Tabla 1. Resultados, productividad y comercialización, basado en la encuesta.

Sistema	Manejo Zoocriadero	% Manejo	Manejo Ambiental	Producción real o estimación kg/mes	Comercialización
Intensivo (Municipio de Funza)	Convencional	14,1	Bajo	300 en pie estimada	Incipiente
Intensivo (Región del Tequendama)	Mixto	14,4	Bueno	50	Incipiente
Intensivo-industria (Municipio de Chía)	Mixto	14,.	Medio	20 (Estimación)	Incipiente
Mixto (Municipio de Cajicá)	Mixto	14,1	Bajo	140 (Estimación)	Bajo
Extensivo (Región del Guavio)	Orgánico	14,3	Medio	30 – 60	Bajo
Intensivo (Municipio de Choachí)	Orgánico	14,3	Medio	5.000	Medio
Intensivo- industria (Región del Sumapaz)	Mixto	14,4	Bueno	2500 (Estimación)	Bajo

Es importante concientizar a los helicultores del trabajo en equipo para que sirvan en cada región, con el apoyo y participación de la academia, el gobierno, el gremio y los helicultores independientes, con quienes se intercambien experiencias y se implementen acciones para optimizar procesos, mejorar su desempeño ambiental y aumentar la productividad.

Se recomienda buscar la implementación de una herramienta de mejoramiento "Sistema de Referenciación para el sector helicícola", con la cual, más que medir, comparar y establecer un nivel de desempeño entre diferentes empresas, aprender de otros a través de la identificación continua y comprensión de las mejores prácticas para desarrollar un determinado proceso o actividad. Finalmente, se sugiere acogerse a la iniciativa de producir orgánicamente, trabajando en trazabilidad, en análisis de ciclo de vida y en sostenibilidad ambiental y productiva.

BIBLIOGRAFÍA

- CASTRO, A. 1995. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Brasil Emprapa. 533p.
- CORPORACIÓN FINANCIERA NACIONAL. 2003 El cultivo de escargot. Ed Proexant. Santiago de Chile, 176p.
- GARCÍA, I. 2005. Estudio de prefactibilidad de la cría del Escargot en Colombia (Trabajo de grado) Bogotá. Fundación Universitaria San Martín. Escuela de Finanzas. 113p.
- GIRALDO, P.; RESTREPO, Q.; WAHANIK, P. 2006. Helicultura colombiana: ¿Alternativa productiva y exportadora? 18p.
- GUTIÉRREZ, F. 2002. El impacto de las especies introducidas en Colombia. Dirección de Ecosistemas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 126p.
- HOBBS, R.; CRAMER, V. 2000. Cadenas productivas de agricultura campesina. Coordinadora Integración y Organizaciones Económicas. Bolivia. 42p.
- LEY 99 de 1993. Prohibición a la importación de *Helix aspersa*.
- LEY 165 de 1994, por la cual se aprobó el Convenio Sobre la Diversidad Biológica.
- LEY 811 de 2003. Congreso de Colombia (junio 26). Diario Oficial No. 45.236 de 2 de julio de 2003.
- LEY 1011. Congreso de Colombia 2006. Diario Oficial No. 46.160 de 23 de enero de 2006.
- LEY 24 de 2008. Congreso de Colombia. Por la cual se autoriza la producción y comercialización de caracol.
- MONTES, E.A.; MONTES, F. 2002 Exportaciones de caracoles. Rev. Quipukamayoc Segundo Semestre. Lima, p.47.
- RESOLUCIÓN 0438 de 2001. Ministerio de Medio Ambiente. Por la cual se estableció el salvoconducto único para la movilización de especímenes biológicos.
- RESOLUCIÓN 1367 del 2000. Ministerio del medio Ambiente. Por la cual se establece el procedimiento para las autorizaciones de importación y exportaciones de especímenes de la diversidad biológica.
- REINA, RED DE EXTENSIÓN ACADÉMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL,. 2005. Validación de un sistema productivo con *Helix aspersa* bajo las condiciones agroecológicas del altiplano de Popayán. 26p.
- RODRIGUES, M.P. 1991. Manual práctico para a criação de caracóis (escargots). 2.ed. São Paulo: Ícone, 123p.
- ROUSSELET, M. 1986. Cria de caracol. Madrid. Mundi Prensa, 144p.
- SÁNCHEZ, N. 2004. El caracol *Helix aspersa*: Biología, Cultivo, Manejo, producción y comercialización. 100p.

Recibido: Agosto 25 de 2008

Aceptado: Abril 27 de 2009