

# REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXVII

DICIEMBRE DE 2003

NÚMERO 105

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DÍAZ-PIEDRAHITA



## CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
<b>Astronomía</b> (Astronomy)		-Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante <i>in vitro</i> de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae (Comparison of the chemical composition and antioxidant activity <i>in vitro</i> of the volatile secondary metabolites of plants of the family Verbenaceae)	
-Entrada de asteroides en atmósferas planetarias (Entrance of asteroids in planetary atmospheres)		<i>Elena E. Stashenko, Beatriz E. Jaramillo &amp; Jairo R. Martínez</i> .....	579
<i>Máximo Alejandro Roa Garzón &amp; José Gregorio Portilla</i> .....	477	<b>Zoología</b> (Zoology)	
<b>Botánica</b> (Botany)		-Variabilidad genética del bagre rayado <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Pisces: Pimelodidae) en el río Magdalena (Colombia) (Genetic variability of the striped catfish <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> [Pisces: Pimelodidae] from the Magdalena river, [Colombia])	
-Una nueva especie de <i>Zamia</i> L. (Zamiaceae) de los Andes de Colombia y clave actualizada para las especies del género en Colombia (A new species of <i>Zamia</i> [Zamiaceae] from the Andes of Colombia and an updated key for the Colombian species)		<i>Helena Gallo &amp; Jaime Díaz Sarmiento</i> .....	599
<i>Eduardo Calderón Sáenz &amp; Dennis Wm. Stevenson</i> .....	485	-Two additional new species of <i>Eleutherodactylus</i> (Leptodactylidae) from southwestern Colombia (Dos nuevas especies de <i>Eleutherodactylus</i> [Leptodactylidae] del sudoccidente de Colombia)	
<b>Ecología</b> (Ecology)		<i>John D. Lynch &amp; A.M. Suárez-Mayorga</i> .....	607
-Caracterización de la fauna de carábidos (Coleoptera: Carabidae) en un perfil altitudinal de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. (Characterization of the carabid fauna [Coleoptera: Carabidae] in an altitudinal transect of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia)		-Two new frogs ( <i>Eleutherodactylus</i> ) from the Serranía de Perijá, Colombia (Dos nuevas ranas [ <i>Eleutherodactylus</i> ] de la Serranía de Perijá, Colombia)	
<i>Edgar Camero-R.</i> .....	491	<i>John D. Lynch</i> .....	613
-Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el delta-estuario del río Magdalena, Colombia (Fauna associated with manglares and other wetlands in the estuary of the río Magdalena, Colombia)		<b>Notas</b> (Notes)	
<i>Luz Myriam Moreno-Bejarano &amp; Ricardo Álvarez-León</i> ..	517	-Método rápido de diagnóstico de <i>Micosphaerella musicola</i> Leach y <i>M. fijiensis</i> Morelet, agentes causantes de las sigatokas amarilla y negra (A rapid diagnostic method for <i>Micosphaerella musicola</i> Leach and <i>M. fijiensis</i> Morelet, causal agents of sigatokas amarilla and negra)	
-Aislamiento térmico del manto de hojas de Espeletinae de Colombia [bioforma caulirrosular] (Thermal isolation of the leaf mantle of Espeletinae of Colombia [bioform caulirrosular])		<i>Martha Cecilia Aguirre G., Jairo Castaño-Zapata &amp; Luis Eduardo Zuluaga</i> .....	619
<i>M.A. Murcia &amp; Luis Eduardo Mora-Osejo</i> .....	535	<b>Índice general del volumen XXVII, año 2003</b> (General index of volume XXVII) .....	625
<b>Historia de la Ciencia</b> (History of Science)		<b>Índice de autores</b> (Author index) .....	627
-El profesor Bernard Lewy y el Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario (Professor Bernard Lewy and the Institute of Natural Sciences, Physics and Mathematics of the Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario)		<b>Constitución de la Academia</b> (Members of the Academy) ..	629
<i>María Clara Guillén de Iriarte</i> .....	553	<b>Publicaciones de la Academia</b> (Publications of the Academy) .....	631
<b>Química</b> (Chemistry)			
-Análisis próximo de arcillas para cerámica (Next analysis of clays for ceramics)			
<i>Inés Bernal, H. Cabrera, C. Espitia, J. Mojica &amp; J. Quiñones</i> .....	569		

# ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

APARTADO 44763 - BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA  
SEDE DE LA ACADEMIA: TRANS. 27 No. 39A - 63/67 – Tel.: (571)3680365,  
Líneas de teléfono y FAX No. (571) 2443186, 2683290, 2682846  
BIBLIOTECA: CARRERA 3 A No. 17-34 - Piso 3o. TELÉFONO: 3414805  
*Correo electrónico: revista@accefyn.org.co*

DIRECTOR DE PUBLICACIONES: SANTIAGO DÍAZ-PIEDRAHITA  
COORDINADOR EDITORIAL: POLIDORO PINTO ESCOBAR

## COMITÉ EDITORIAL Período 2002 - 2004

VÍCTOR SAMUEL ALBIS GONZÁLEZ                      DIÓGENES CAMPOS ROMERO  
JAIRO MOJICA CORZO                                      JOHN D. LYNCH  
AUGUSTO RIVERA UMAÑA



### EMBLEMA DE LA ACADEMIA MATRIZ ESPAÑOLA

Esta revista es reseñada en:    Historia Mathematica,                      Math Sci (on line data base),  
Current Mathematical Publications,                      Index Kewensis,  
Mathematical Reviews,                      Zoological Record.  
PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias)  
Actualidad Iberoamericana (Índice Internacional de revistas en idioma castellano)

#### ARTÍCULO 37 DE LOS ESTATUTOS

**Del Director de la Revista.** Al Director de la Revista le corresponde la selección de los trabajos destinados a las diferentes publicaciones de la Academia. Estará asesorado por un comité editorial designado por la Corporación para un período de dos (2) años.

La responsabilidad de las ideas emitidas en la Revista corresponde a sus autores.

No se devuelve la colaboración espontánea ni se mantiene correspondencia sobre ella.

*República de Colombia*  
**MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL**



Libertad y Orden

Esta publicación cuenta con el apoyo financiero del Ministerio de Educación Nacional

Armada digital, impresión y acabados:  
EDITORA GUADALUPE LTDA. - Bogotá, D.C. - Colombia.  
Cra. 42 No. 10A-57 Tels.: 269 07 88 - 562 72 50. E-mail: ediguada@yahoo.es

# ENTRADA DE ASTEROIDES EN ATMÓSFERAS PLANETARIAS

por

Máximo Alejandro Roa Garzón<sup>1</sup> & José Gregorio Portilla Barbosa<sup>2</sup>

## Resumen

**Roa M.A. & J.G. Portilla.:** Entrada de asteroides en atmósferas planetarias. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 477-484, 2003. ISSN: 0370-3908.

Se presenta un modelo básico de entrada de asteroides en una atmósfera planetaria, basado principalmente en el trabajo desarrollado por **Chyba et al.** (1993). Las ecuaciones del modelo se solucionan mediante integración numérica y se usa como caso de prueba el evento Tunguska de 1908. El modelo planteado se usa para estudiar la entrada de asteroides y cometas en las atmósferas de los planetas Marte y Venus, y los resultados obtenidos son comparados con la evidencia experimental proveniente de la exploración de estos planetas con sondas espaciales.

**Palabras clave:** Entrada de asteroides, Ablación, Fragmentación catastrófica, Evento Tunguska.

## Abstract

We present a model of entry of asteroids and comets into a planetary atmosphere based on a model proposed by **Chyba et al.** (1993). The equations of the model are resolved by numerical integration and were applied to simulate the Tunguska event. The model is used in order to study the entry of asteroids and comets into the atmospheres of Mars and Venus and the results are compared with the observations obtained by probes sent to these planets.

**Key words:** Entry of asteroids, Ablation, Catastrophic disruption, Tunguska event.

## Introducción

El estudio de la entrada de asteroides examina los procesos que tienen lugar durante el vuelo del asteroide a través de la atmósfera del planeta considerado, así como el eventual impacto del cuerpo sobre la superficie. Se han hecho desarrollos de modelos teóricos al respecto, que han llevado a la obtención de ecuaciones que describen dicho problema: **Chyba et al.** (1993), **Hills & Goda** (1993), **Crawford** (1996), **McInnes** (1995). Estas ecuaciones han sido

aplicadas con éxito en la descripción de encuentros de pequeños asteroides (o cometas) con la Tierra, como el caso de la explosión registrada en Tunguska (Rusia) en el año de 1908. Las ecuaciones del modelo pueden ser aplicadas mediante integración numérica en el estudio del mismo fenómeno sobre las atmósferas de Marte y Venus, de forma que se pueden predecir algunos aspectos del comportamiento de los asteroides, tales como su desaceleración, su pérdida de masa y su fragmentación (en los casos en que ésta llegue a ocurrir).

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, mroa@ciencias.unal.edu.co

<sup>2</sup> Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, gportill@ciencias.unal.edu.co

También se puede inferir el tamaño de los cráteres que se producirían sobre las superficies de dichos planetas, lo que permite hacer una relación con la existencia de cráteres observada en estos cuerpos.

### Modelos de entrada atmosférica

Un objeto cósmico (asteroide o cometa) de pequeñas dimensiones que trata de impactar en la superficie de un planeta que está rodeado de una capa de gases experimenta una pérdida de su energía cinética a través de dos mecanismos: desaceleración y ablación. La descripción de estos mecanismos constituye un modelo de entrada a la atmósfera. El modelo que se ha utilizado extensivamente en este estudio es el propuesto por Chyba *et al.* (1993). Dicho modelo utiliza cuatro ecuaciones básicas: variación en altitud, desaceleración, ablación y cambio en el ángulo de trayectoria. Las ecuaciones en cuestión son:

$$\frac{dh}{dt} = -v \sin \theta, \quad (1)$$

$$m \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{2} C_D \rho_a A v^2 + mg \sin \theta, \quad (2)$$

$$Q \frac{dm}{dt} = -\frac{1}{2} C_H \rho_a A v^3, \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{g \cos \theta}{v} - \frac{C_L \rho_a A v}{2m} - \frac{v \cos \theta}{R_P + h}, \quad (4)$$

en donde  $h$  es la altura del objeto respecto a la superficie del planeta considerado,  $t$  la variable tiempo,  $v$  la velocidad del objeto,  $\theta$  el ángulo de inclinación medido a partir de la horizontal,  $m$  la masa del objeto,  $A$  su sección transversal,  $C_D$  el coeficiente de arrastre atmosférico,  $\rho_a$  la densidad atmosférica del planeta,  $g$  la aceleración de la gravedad,  $Q$  el calor de ablación,  $C_H$  el coeficiente de transferencia de calor,  $C_L$  es el coeficiente de sustentación y  $R_P$  el radio del planeta considerado.

La aceleración de la gravedad  $g$  es función de la altura  $h$  del objeto de acuerdo con la ley de gravitación universal:

$$g = \frac{GM_P}{(R_P + h)^2}, \quad (5)$$

donde  $M_P$  es la masa del planeta considerado y  $G$  es la constante de gravitación universal.

La densidad  $\rho_a$  de una atmósfera planetaria isotérmica puede representarse por una función exponencial que es función de la altura (Celnikier, 1995) del tipo:

$$\rho_a = \rho_0 e^{-h/H} \quad (6)$$

donde  $\rho_0$  es la densidad en la superficie del planeta (o en una altura de referencia) y  $H$  es una constante (usualmente llamada altura de referencia) que depende de la temperatura, del tipo de gases que integran la atmósfera y de algunas características físicas del planeta. Sin embargo, las

atmósferas de los planetas no son isotérmicas, por lo que en la práctica, para efectos de modelación, es conveniente sectorizar el perfil de densidad de una atmósfera en varias capas a través de un conjunto de ecuaciones semejantes a la ecuación (6) con valores distintos de  $\rho_0$  y  $H$ .

La ecuación (3) describe el cambio de masa originado por el calentamiento de la superficie del objeto que ingresa a velocidades hipersónicas a causa de la radiación proveniente del frente de choque atmosférico. Este calor es disipado por el proceso de ablación, o pérdida de masa (Öpik, 1958). El calor de ablación  $Q$  es una función del tipo de material y del proceso específico de ablación. En cuanto al coeficiente de transferencia de calor, las observaciones indican que este coeficiente es constante a grandes alturas sobre las superficies planetarias; para la Tierra, el coeficiente tiene un valor efectivo de  $C_H \approx 0.1$  a alturas superiores a  $\sim 30$  km. Sin embargo, la ecuación (3) debe ser ligeramente modificada, con base en la siguiente consideración. A medida que el objeto desciende, el coeficiente disminuye inversamente con la densidad atmosférica; luego,  $\dot{m}$ , que venía incrementándose, toma un valor efectivo constante. Este límite superior en  $\dot{m}$  ocurre debido a que los objetos grandes sufren ablación principalmente por la absorción de radiación térmica emitida por los gases calientes concentrados en la parte frontal del objeto. La temperatura alcanzada por los gases en la onda de choque está regulada fuertemente por ionización térmica en una temperatura de  $\sim 25\,000$  a  $30\,000$  K, con una débil dependencia de la velocidad, tamaño y composición del objeto. La tasa máxima de ablación estará dada por

$$Q \frac{dm}{dt} = -A\sigma T^4, \quad (7)$$

donde  $T$  es la temperatura de los gases ionizados y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann. Con esto en mente, la ecuación de ablación (3) queda ahora como

$$Q \frac{dm}{dt} = -A\dot{m} \left( \frac{1}{2} C_H \rho_a v^3, \sigma T^4 \right). \quad (8)$$

En relación con el coeficiente de sustentación,  $C_L$ , los valores sugeridos en la literatura (Passey & Melosh, 1980) son  $C_L \leq 10^{-3}$ , basados en investigaciones de cráteres terrestres; para la Tierra se considera  $C_L = 10^{-3}$ . El cambio de este coeficiente desde el valor planteado hasta un valor de 1 no afecta significativamente ( $\sim 1\%$ ) la altura de la explosión de los asteroides considerados en el modelo.

### Fragmentación catastrófica

El grado de "supervivencia" de un asteroide o cometa penetrando una atmósfera depende básicamente de su tamaño. En el caso de la atmósfera de la Tierra, objetos con tamaños superiores a 1 km en diámetro no sufren fragmentación fundamentalmente por el hecho de que la onda de presión generada por la resistencia de la atmósfera

no tiene tiempo de atravesar el objeto, pues éste antes ha impactado con la superficie. En otros términos: el objeto se comporta como si la atmósfera fuese inexistente. El resultado es la formación de un cráter de impacto. Por otro lado, objetos de tamaño moderado (y esto dependerá del tipo de atmósfera existente) serán, al atravesar la atmósfera, totalmente desintegrados por ablación o frenados lo suficiente como para que caigan libremente hasta la superficie (en forma de meteoritos). En contraste a estos dos casos, existirá un régimen de tamaño del objeto para el cual el destino final será la fragmentación catastrófica. En el caso de la atmósfera terrestre, está comprendido entre 10 y 100 metros de diámetro, aunque esto depende fuertemente de la composición química del objeto y de su velocidad de ingreso.

La fragmentación catastrófica produce la explosión atmosférica del objeto. La fragmentación distribuye la masa del objeto sobre un área mayor a la original, lo que incrementa la atmósfera interactuante y por tanto incrementa aún más la ablación y el frenado aerodinámico; el objeto que se fragmenta se detiene más abruptamente, entregando su energía cinética de una forma más explosiva que un objeto sin fragmentación. La deformación y fragmentación del objeto ocurren debido a la presión atmosférica diferencial a través del objeto. La cara frontal del objeto está sujeta a una presión media dada por

$$p_F = \frac{C_D \rho_a v^2}{2}, \quad (9)$$

mientras que la presión en la cara posterior es mucho menor. Esta diferencia de presiones produce la fuerza de arrastre presente en la ecuación de desaceleración (2) (primer término). Las presiones en los lados del objeto son mucho menores que  $p_F$ , por lo que el objeto no está confinado lateralmente. Los cuerpos se fragmentan como resultado de este esfuerzo aerodinámico. La fragmentación ocurre cuando la presión  $p_F$  excede la resistencia característica del material.

El modelo para el objeto que entra a la atmósfera se toma como un cilindro circular recto que se mueve a lo largo de su eje de simetría, como se observa en la figura 1. Para representar de forma aproximada un objeto equidimensional se utiliza un cilindro con altura  $l$  igual a su diámetro,  $2r$ . Para este modelo cilíndrico, el coeficiente de arrastre es de  $C_D \approx 1.7$ . La masa inicial del objeto,  $M_0$ , será igual a  $2\pi r^3 \rho_m$ , siendo  $\rho_m$  la densidad media del material.

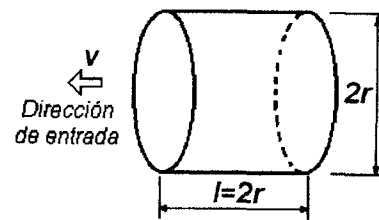


Figura 1: Cilindro que representa los objetos de prueba que penetran la atmósfera de un planeta.

La presión en la cara frontal del objeto es  $p_F$ . Se puede considerar que los esfuerzos axiales dentro del objeto decrecen linealmente desde su valor pico en la cara frontal  $p_F$  hasta un valor mucho menor ( $\ll p_F$ ) en la cara posterior. La presión en las caras laterales del objeto es mucho menor que  $p_F$ , y, excepto en la parte cercana al extremo posterior del cilindro, es pequeña comparada con los esfuerzos axiales. A medida que el cilindro penetra más profundamente en la atmósfera, los esfuerzos axiales se incrementan hasta que ocurre una falla elástica. El cilindro fluye hacia afuera, de forma transversal a la dirección del movimiento. Dado que la presión frontal  $p_F$  aumenta exponencialmente a medida que el objeto desciende a través de la atmósfera, su sección efectiva transversal se incrementa exponencialmente con el tiempo.

Como una primera aproximación, se asume que el cilindro se deforma globalmente para volverse una versión más comprimida de sí mismo. La presión interior promedio es  $p_F/2$ . Despreciando la presión de confinamiento del aire contra las paredes laterales, y asumiendo que se ha superado la resistencia del material  $Y_S$ , una aproximación al balance de fuerzas en las paredes del cilindro está dada por

$$(2\pi r l) \left( \frac{1}{4} C_D \rho_a v^2 \right) \approx m \frac{d^2 r}{dt^2}, \quad (10)$$

en donde la masa inercial se identifica con la masa  $m$  del cilindro. Asumiendo (como primera y burda aproximación) que la densidad  $\rho_m$  del cilindro fragmentado permanece constante,  $l$  y  $m$  pueden ser eliminados de la anterior ecuación para llegar a

$$r \frac{d^2 r}{dt^2} = \frac{C_D \rho_a v^2}{2\rho_m}. \quad (11)$$

la cual puede interpretarse como la ecuación diferencial que describe la evolución del radio del objeto en el proceso de la fragmentación.

### Disipación de la energía

Para lograr una correcta descripción de la disipación de la energía de un objeto atravesando la atmósfera por un

breve lapso de tiempo  $dt$ , se debe corregir el cambio en la energía cinética de dicho objeto en la atmósfera,  $dE_{atm}$ , por el cambio equivalente de la energía cinética en ausencia de la atmósfera,  $dE_{vac}$  (Sekanina, 1993). El cambio de energía cuando el objeto se desplaza a través de la atmósfera está dado por

$$dE_{atm}(t) = \frac{1}{2}(m + \dot{m}dt) [v + \dot{v}dt]^2 - \frac{1}{2}mv^2,$$

en donde  $\dot{m}$  es el cambio de masa, dado por la ecuación de ablación (8) y la aceleración total del objeto  $\dot{v}$  es dada por

$$\dot{v} = \dot{v}_{arras} + \dot{v}_{grav},$$

donde  $\dot{v}_{arras}$  y  $\dot{v}_{grav}$  son, respectivamente, la desaceleración debida al arrastre y la aceleración debida a la gravedad, esto es:

$$\dot{v}_{arras} = -\frac{C_D \rho_a A v^2}{2m}, \quad \dot{v}_{grav} = g \sin \theta.$$

El cambio de energía sin la presencia de una atmósfera es

$$dE_{vac}(t) = \frac{1}{2}m(v + \dot{v}_{grav}dt)^2 - \frac{1}{2}mv^2.$$

La deposición neta de energía,  $dE$ , se calcula al restar las dos ecuaciones del cambio de energía con y sin atmósfera. La ecuación resultante es

$$\begin{aligned} dE &= -\left(m\dot{v}_{arras} + \frac{1}{2}\dot{m}v\right)vdt \\ &- m(\dot{v}_{arras}dt)\left(\frac{\dot{v}_{arras}dt}{2} + \dot{v}_{grav}dt\right) \\ &- \dot{m}dtv\dot{v}dt - \frac{\dot{m}}{2}dt(\dot{v}dt)^2 \end{aligned}$$

Para ilustrar el efecto, se pueden obviar los factores con potencias altas de  $dt$ , obteniéndose:

$$\frac{dE}{dt} = -\left(m\dot{v}_{arras} + \frac{1}{2}\dot{m}v\right)v. \quad (12)$$

Ahora, ya que  $\dot{v}_{arras} < 0$  y  $\dot{m} < 0$ , se obtiene que  $dE > 0$ .

La deposición de energía por unidad de altura se puede hallar mediante la relación

$$\frac{dE}{dh} = \frac{dE/dt}{dh/dt}. \quad (13)$$

La altura de explosión de un objeto se toma como aquella en la que el objeto, una vez se ha fragmentado, deposita la máxima energía por unidad de distancia (Chyba *et al.*, 1993). La energía de explosión se toma como aquella depositada por el objeto después de que se ha deformado a dos veces su radio inicial (Sekanina, 1993).

### Solución del modelo: caso Tunguska

Las ecuaciones de desaceleración (2) y ablación (3) pueden solucionarse analíticamente para un objeto de forma esférica si se considera una atmósfera isotérmica, tomando a  $\theta$  y  $C_H$  como constantes (McInnes, 1995). Sin embargo, la solución analítica no permite la fragmentación de los objetos debido a las fuerzas aerodinámicas. Para solventar este inconveniente, se usa un método de diferencias finitas para solucionar las ecuaciones involucradas de altura (1), desaceleración (2), ablación (8) y ángulo de trayectoria (4). La densidad atmosférica  $\rho_a$  es interpolada a cada paso de tiempo a partir de las tablas de la atmósfera estándar terrestre (Anderson, 2000). Una vez que la presión central  $C_D \rho_a v^2/4$  excede la resistencia del material, la ecuación (11) se usa para calcular el radio cambiante  $r$  y la sección efectiva transversal  $A = \pi r^2$ . Además se calcula la deposición de energía por unidad de altura mediante la ecuación (13). Las ecuaciones son integradas numéricamente utilizando el integrador RADAU (Everhart, 1985), ampliamente utilizado en la integración de órbitas y en otros problemas que involucran una solución numérica de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer o segundo orden.

Para probar la efectividad del modelo y la eficacia del código planteado para resolverlo, se reprodujeron los resultados del estudio de Chyba *et al.* (1993) sobre la naturaleza del objeto que explotó sobre Tunguska, Rusia, el 30 de junio de 1908. Se modelaron 5 tipos de objetos: asteroides ferrosos, rocosos y carbonáceos, y cometas de periodos corto y largo, todos ellos entrando a  $45^\circ$ , que constituye el ángulo de inclinación más probable para un objeto incidente sobre un planeta, y con una energía cinética inicial de unos 15 megatones (1 megatón =  $4.18 \times 10^{15}$  joules) a una altura inicial de  $h_0 = 100$  km. Ello implica que fijado el valor de la velocidad de ingreso  $v_0$  y el de la masa  $M_0$ , dependiendo de la densidad  $\rho_m$  (y como el volumen es conocido) se puede determinar el radio inicial  $R_0$ .

Propiedad	ferroso	carbonáceo	rocoso
$\rho_m$ (kg m <sup>-3</sup> )	7900	2200	3500
$M_0$ (kg)	$5.6 \times 10^8$	$5.6 \times 10^8$	$5.6 \times 10^8$
$R_0$ (m)	22	34	29
$v_0$ (ms <sup>-1</sup> )	$15 \times 10^3$	$15 \times 10^3$	$15 \times 10^3$
$Q$ (J kg <sup>-1</sup> )	$8 \times 10^6$	$5 \times 10^6$	$8 \times 10^6$
$Y_S$ (Nm <sup>-2</sup> )	$1 \times 10^8$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^7$

Tabla 1: Propiedades físicas de asteroides.

Para los asteroides rocosos se compararon también 4 ángulos de incidencia:  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Los asteroides tienen velocidades iniciales  $v_0$  de 15 km/s, la velocidad media de impacto para asteroides que cruzan la órbita de la Tierra (Chyba, 1993). Las velocidades de incidencia de los cometas son de 25 y 50 km/s para los cometas de periodo corto y largo, respectivamente, que constituyen también

velocidades medias aproximadas. Los resultados obtenidos concuerdan con los de *Chyba et al.* (1993) y *Sekanina* (1983), favoreciendo la explicación de un asteroide rocoso como el objeto impactor en Tunguska, y descartando como candidatos a los asteroides carbonáceos y a los cometas. Las propiedades físicas de objetos considerados como posibles cuerpos que chocan contra la Tierra se resumen en las tablas 1 y 2.

Propiedad	periodo corto	periodo largo
$\rho_m$ (kg m <sup>-3</sup> )	1000	1000
$M_0$ (kg)	$2 \times 10^8$	$5 \times 10^7$
$R_0$ (m)	32	20
$v_0$ (ms <sup>-1</sup> )	$25 \times 10^3$	$50 \times 10^3$
$Q$ (J kg <sup>-1</sup> )	$2.5 \times 10^6$	$2.5 \times 10^6$
$Y_S$ (Nm <sup>-2</sup> )	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^5$

Tabla 2: Propiedades físicas de cometas.

El modelo de entrada de asteroides puede ser aplicado a cualquier cuerpo celeste con presencia de una atmósfera importante. El modelo se aplicó para los planetas Venus y Marte, con los mismos objetos de entrada usados en el caso Tunguska. En primera aproximación, se asume que los coeficientes de arrastre,  $C_D$ , y de transferencia de calor,  $C_H$ , tienen el mismo valor que en la Tierra; ésta aproximación ha sido asumida por otros autores (*Zanhle*, 1992). A continuación se describe la obtención de los datos requeridos para el modelo, los resultados logrados y la comparación de los resultados con datos obtenidos de los planetas por medio de sondas espaciales.

### Entrada de asteroides en Venus

Los datos necesarios para el modelamiento de la atmósfera venusina fueron obtenidos a partir de los datos experimentales registrados por la nave norteamericana *Pioneer* durante su viaje alrededor del planeta en los años 1978 y 1979. Los datos de la atmósfera media y baja se obtuvieron mediante cuatro sondas atmosféricas (*Seiff*, 1980). Los datos de la atmósfera alta se obtuvieron a partir del efecto de arrastre atmosférico sobre la nave (*Keating*, 1980). Puesto que las propiedades atmosféricas (densidad, presión y temperatura) de Venus dependen de factores como la latitud y la hora del día, se escogieron los datos de forma tal que correspondieran aproximadamente a un sitio de condiciones similares. Con estos datos se construye una tabla de densidad atmosférica vs. altura, y se busca una aproximación mediante mínimos cuadrados que los represente con un buen índice de correlación ( $r > 0.999$ ). Para lograr este ajuste de los datos, se dividió la atmósfera en varios sectores de altura, y a los datos de cada sector se ajustó un modelo exponencial.

La altura inicial de entrada del impactor se toma de forma tal que el término que representa el arrastre

atmosférico en la ecuación de desaceleración (2) sea representativo frente al término gravitacional. Esto ocurre para una densidad atmosférica de  $\sim 10^{-7}$  kg m<sup>-3</sup>, por lo que se elige una altura inicial de entrada de 150 km. Las velocidades de entrada de los objetos se calculan con ecuaciones derivadas de la solución del problema de los dos cuerpos (*Portilla*, 1996), utilizando órbitas elípticas o parabólicas, dependiendo del objeto considerado.

El modelamiento trata de comparar los destinos de diferentes objetos de tamaño similar cuando penetran la atmósfera de Venus. Los objetos muy pequeños sufrirán de ablación total o de desaceleración hasta velocidades de caída libre. Los objetos muy grandes no se fragmentarán debido a que no tienen suficiente tiempo de vuelo para sentir los efectos atmosféricos. Así, para observar los casos de fragmentación de objetos entrando a la atmósfera de Venus se debe hallar primero un radio promedio en el que los objetos sufren fragmentación. En el caso de Venus, esto se realizó resolviendo las ecuaciones del modelo para objetos rocosos, ya que éstos, junto a los asteroides carbonáceos, son los objetos que mejor muestran los efectos de la fragmentación. La velocidad de entrada se toma igual a la velocidad media de colisión. Con este análisis previo, se decide tomar un radio de 500 m para todos los objetos.

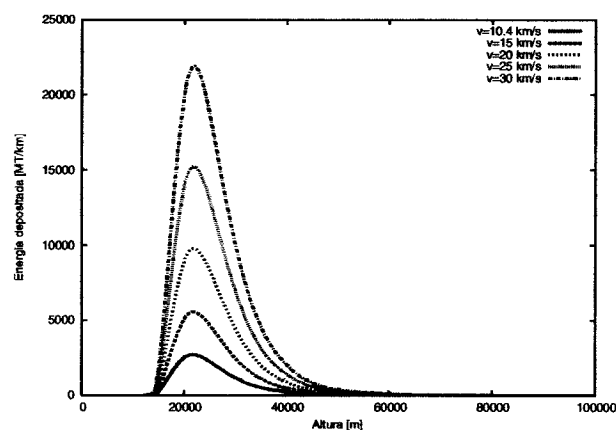


Figura 2: Curva de deposición de energía en función de la altura para asteroides rocosos entrando en la atmósfera de Venus.

La figura 2 muestra la curva de deposición de energía para asteroides rocosos con diferentes velocidades de entrada a Venus. Todos los asteroides han llegado a velocidades de caída libre a una altura de 13 kilómetros. Además, en la curva de deposición de energía se observa que los objetos explotan casi a la misma altura, 21-22 km, sin importar la velocidad con la que ingresen a la atmósfera venusina. Obviamente, la energía depositada por el asteroide que ingresa con mayor velocidad presenta un pico más alto, ya que su energía cinética inicial es mayor que la de los demás objetos; además, sufren de mayor ablación, es decir, pierden

mayor cantidad de masa en su paso por la atmósfera. Un asteroide rocoso debe poseer un radio de unos  $\sim 2$  km para lograr alcanzar la superficie de Venus.

Las curvas de deposición de energía para otros objetos presentan la misma forma que la observada anteriormente. Los resultados indican que para asteroides carbonáceos la velocidad de caída libre se alcanza a unos 19 km, mientras que explotan a alturas de 25 – 27 km. Los asteroides ferrosos presentan un mayor valor de resistencia del material, por lo que explotan a alturas menores (11 km); sin embargo, para asteroides ferrosos con radio de 1 km, se obtiene una velocidad de caída a la superficie de 13 km/s, lo cual indica que el cuerpo no deposita toda su energía cinética inicial en la atmósfera. Los cometas, por otra parte, se desaceleran completamente a una altura de 28 km; su explosión ocurre a alturas entre 34 y 35 km, mucho mayores que para los anteriores casos dada la menor resistencia y densidad del material que conforma este tipo de objetos.

Se observa claramente el efecto de la densa atmósfera de Venus sobre el ingreso de asteroides: todos los asteroides con diámetros inferiores a  $\sim 1$  km explotan, depositando toda su energía en la atmósfera, sin poder dejar un cráter en la superficie venusina. Solo los asteroides con diámetros mayores a  $\sim 1$  km constituyen la población que puede generar los cráteres observados en la superficie de Venus, y éstos asteroides constituyen una minoría de la población total de asteroides que cruzan la órbita de los planetas interiores (Rabinowitz, 1994). Los cometas, por su parte, deben tener diámetros aún mayores para que representen un peligro potencial para la superficie de Venus. A manera de comparación, un asteroide rocoso de 50 m de radio ya representa un peligro potencial para la superficie terrestre.

El incremento sustancial de densidad atmosférica en Venus a medida que disminuye la altura, produce la explosión de objetos de la misma masa, independientemente de su velocidad de entrada, a casi la misma altura sobre la superficie. Esto confirma el gran efecto de escudo que ejerce la atmósfera sobre su planeta. En efecto, los estudios realizados por las sondas espaciales de la superficie de Venus revelan muy pocos cráteres. El estudio de estos cráteres puede resumirse en una gráfica conocida como la curva de distribución acumulativa por tamaños de cráteres, observada en la figura 3. Estas gráficas se realizan mediante conteos de cráteres, e indican el número de cráteres por unidad de área existentes en la superficie y mayores a un diámetro determinado (Neukum, 1994). La curva de comparación observada en la gráfica se basa en la densidad de cráteres observada en la superficie lunar, que se supone no ha cambiado desde la etapa inicial de bombardeo del sistema solar; representa la densidad de cráteres que debería existir en un planeta si no existieran efectos atmosféricos y geológicos que afectaran la producción de cráteres. Nótese la gran diferencia existente para cráteres de diámetros inferiores a unos 20 a 30 km, en donde se presenta un déficit que refleja el efecto protector

de la atmósfera venusina. No existen cráteres de diámetros inferiores a 2 km, en total acuerdo con los resultados del modelo desarrollado.

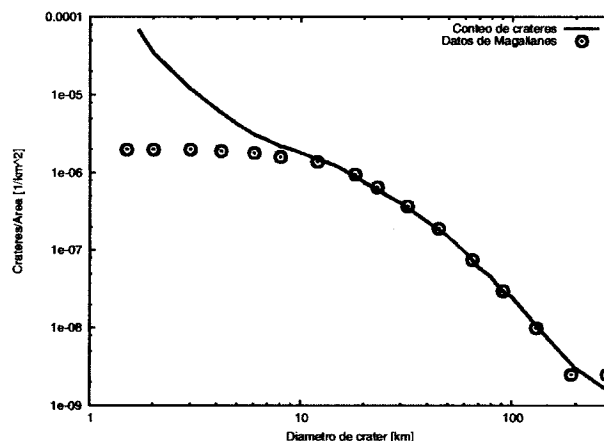


Figura 3: Curva de distribución acumulativa de tamaños de cráteres en Venus.

#### Entrada de asteroides en Marte

El modelo de la atmósfera marciana ha sido establecido a partir de datos obtenidos por las sondas norteamericanas *Vikingo* 1 y 2. Se creó una atmósfera de referencia de Marte, que presenta tres tipos de modelos: mínimo, nominal y máximo. El modelo utilizado fue obtenido del trabajo de Sehnal (1990). Se tomó el modelo nominal como referencia; dicho modelo está descrito por la ecuación

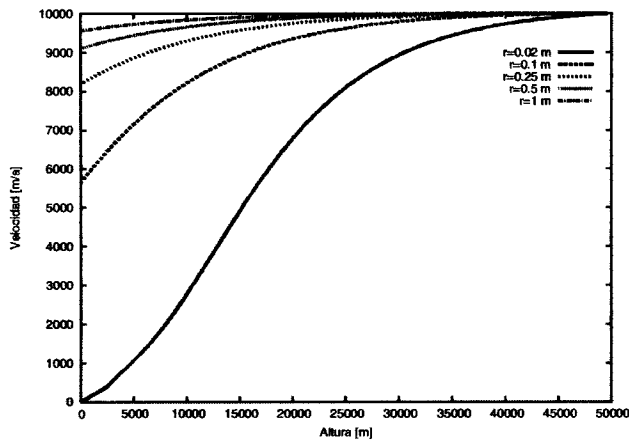
$$\ln \rho = a_{00} + a_{01} \sin \varphi + (a_{10} + a_{11} \sin \varphi)h + (a_{20} + a_{21} \sin \varphi)h^2,$$

en donde  $\varphi$  es la latitud sobre la superficie marciana, para la cual se tomó un valor promedio de  $\varphi = 45^\circ$ . Si la altura  $h$  se expresa en kilómetros, los valores de los coeficientes son:  $a_{00} = -4.1235$ ,  $a_{01} = -0.1206$ ,  $a_{10} = -0.0930$ ,  $a_{11} = 0.0136$ ,  $a_{20} = -0.00023$ ,  $a_{21} = -0.00011$ . La altura inicial del objeto se toma como 50 km, para que el efecto del arrastre atmosférico resulte significativo en la ecuación de desaceleración. Las velocidades iniciales de entrada se calcularon siguiendo los lineamientos ya descritos para el caso de Venus.

Para estimar el radio promedio en el que los objetos sufren de fragmentación se usaron asteroides carbonáceos, que tienen la menor resistencia y densidad del material que los conforma. Se asume que los objetos entran con una velocidad media de 10 km/s. La figura 4 muestra los resultados de este caso. Obsérvese que solo para un objeto de radio 2 cm se obtiene una desaceleración total. Para objetos de radios mayores su velocidad no disminuye notoriamente; por ejemplo, un asteroide carbonáceo de radio 10 cm llega a la superficie marciana con  $v = 5700$

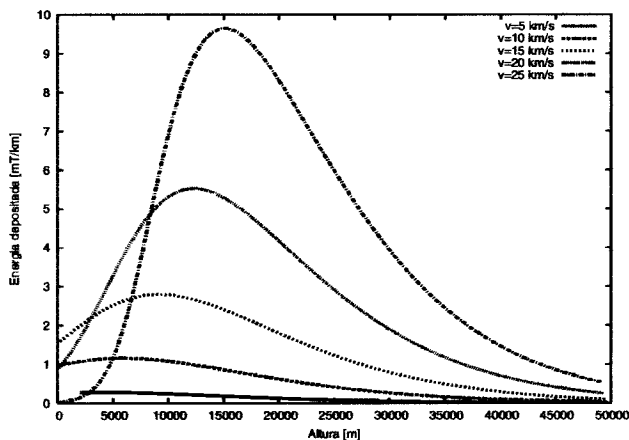


m/s (el 57% de su velocidad inicial). Este sorprendente resultado inicial muestra el escaso efecto que tiene la delgada atmósfera marciana sobre un objeto que entre en ella.



**Figura 4:** Curvas de velocidad en función de la altura para asteroides carbonáceos de pequeños tamaños penetrando la atmósfera marciana.

Tomando como radio de trabajo 5 cm, se obtiene la curva de deposición de energía por unidad de altura para asteroides rocosos con diferentes velocidades de entrada, mostrada en la figura 5. Nótese que en la escala vertical se utilizan unidades de millón/km (1 millón=10<sup>-3</sup> toneladas), dada la baja cantidad de energía depositada en la atmósfera por los bólidos estudiados.



**Figura 5:** Curvas de deposición de energía en función de la altura para varios asteroides rocosos que penetran la atmósfera marciana con distintas velocidades.

En el caso de asteroides ferrosos, la desaceleración que produce la atmósfera marciana sobre ellos es muy

baja, por lo cual el máximo de energía depositada se obtiene en el momento del impacto con la superficie del planeta. Así, los asteroides ferrosos no sufren fragmentación alguna. En el caso de los cometas, solo los objetos con radios menores a 10 m sufren de ablación total en la atmósfera; objetos de tamaño mayor chocan con la superficie sin disminuir apreciablemente su velocidad.

La atmósfera marciana resulta demasiado tenue para ofrecer alguna protección contra el ingreso de asteroides o cometas al planeta. Sólo objetos de diámetros menores a ~5 cm se ven afectados por la presencia de la atmósfera, sufriendo ablación y desaceleración. Sin embargo, los asteroides que ingresan a Marte no sufren de fragmentación; en el mejor de los casos, para asteroides carbonáceos de  $r=5$  cm, la atmósfera ejerce sobre el cuerpo una presión media del 40% de la requerida para la fragmentación. Objetos de diámetros mayores alcanzan sin ningún problema la superficie, produciendo cráteres de impacto. Puede concluirse entonces que la superficie marciana debe presentar una distribución de cráteres similar a la de la Luna, que no posee atmósfera. Se podría pensar en una abundancia de microcráteres en Marte, ya que casi cualquier objeto puede llegar a su superficie; sin embargo, procesos astrogeológicos propios del planeta rojo, como los fuertes vientos y tormentas de polvo y, muy probablemente, agua líquida corriendo sobre la superficie (como parecen evidenciar recientes fotografías obtenidas por el *Mars Observer*) hacen desaparecer rápidamente los cráteres de diámetros pequeños sobre la superficie gracias a la acumulación de polvo sobre ellos, en un fenómeno conocido como obliteración.

## Conclusiones

El modelo de entrada de asteroides expuesto explica satisfactoriamente los efectos atmosféricos (desaceleración y ablación) sobre un cuerpo que ingrese a un planeta. Fue probado en el caso terrestre en varias situaciones: caída libre de un objeto, movimiento de un satélite en órbita baja y entrada de un objeto en la atmósfera terrestre, obteniéndose en todas ellas una buena aproximación con los datos reales o con los resultados de otros modelos aplicados en los mismos casos. Las ecuaciones del modelo pueden aplicarse a otros cuerpos celestes (diferentes a la Tierra) siempre y cuando se posea información suficiente sobre ellos; se requiere un buen conocimiento de las propiedades físicas de dicho planeta (como la masa y el radio) y de su atmósfera, de la cual sería deseable disponer de datos como su composición química, perfil atmosférico y dinámica atmosférica.

Aplicando el modelo a la entrada de asteroides en Venus, se obtiene como resultado básico un radio crítico por debajo del cual ningún asteroide alcanza la superficie venusina; este radio se sitúa en torno a 1 km. Objetos con diámetros inferiores explotan en la atmósfera, depositando toda su energía en ella. Por tanto, un asteroide debe poseer un

diámetro superior a 1 km para generar un cráter de impacto sobre la superficie; este radio crítico es aún mayor en el caso de los cometas. El notorio incremento de densidad a medida que disminuye la altura sobre la superficie de Venus hace que objetos de la misma masa exploten a la misma altura sobre la superficie, independientemente de su velocidad de entrada al planeta. El modelo explica satisfactoriamente el comportamiento de la curva de distribución de cráteres para el planeta, que posee una deficiencia notoria en cráteres de diámetros inferiores a unos 20 a 30 km; las simulaciones predicen este déficit debido al fuerte efecto de escudo de la atmósfera venusina.

En el caso de la entrada de bólidos a Marte, se observó que la tenue atmósfera solo afecta la entrada de objetos de diámetros menores a ~5 cm. Además, los bólidos no llegan a sufrir fragmentación; la atmósfera solo los afecta produciendo una desaceleración en su movimiento. Todo objeto de diámetro mayor a 5 cm alcanza la superficie marciana, produciendo cráteres de impacto. De acuerdo a los resultados del modelo se podría esperar una abundancia de cráteres pequeños sobre Marte; sin embargo, esto no coincide plenamente con los estudios de poblaciones de cráteres marcianos. Los cráteres de diámetros pequeños desaparecen debido a procesos astrogeológicos propios de Marte.

Finalmente, el conocimiento del modelo de entrada de objetos en una atmósfera planetaria siempre podrá utilizarse como una herramienta eficaz para evaluar los riesgos de una posible colisión con un objeto extraño o para predecir los resultados de tal choque. Sin embargo, se espera que tal aplicación del modelo no sea necesaria, por lo menos en las próximas décadas, para planetas diferentes a la Tierra.

## Bibliografía

- Anderson, J. 2000. Introduction to Flight. Aerospace Science/Technology series. Ed. McGraw Hill.
- Celnikier, L.. 1995. Understanding the Physics of Meteoritic Descent. *Am. J. Phys.*, **63**: 524-535.
- Chyba, C.. 1993. Explosions of Small Spacewatch Objects in the Earth's Atmosphere. *Nature*, **363**: 701-703.
- , Thomas, P. & Zanhle, K. 1993. The 1908 Tunguska Explosion: Atmospheric Disruption of a Stony Asteroid. *Nature*, **361**: 40-44.
- Crawford, D. 1996. An Analytical Model of Meteoroid Entry into Planetary Atmospheres. Lunar and Planetary Institute.
- Everhart, E. 1985. An Efficient Integrator That Uses Gauss-Radau Spacings. En: *Dynamics of Comets: Their Origin and Evolution*, 185-202. Reidel Publishing Company.
- Hills, J. & Goda, P. 1993. The Fragmentation of Small Asteroids in the Atmosphere. *Astron. J.*, **105**: 1114-1144.
- Keating, G., Nicholson, J. y Lake, L. 1980. Venus Upper Atmosphere Structure. *J. Geophys. Res.*, **85**: 7941-7956.
- McInnes, C. 1995. Trans-Atmospheric Dynamics of an Ablating Hypervelocity Body. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **274**: 110-114.
- Neukum G. e Ivanov B. 1994. Crater Size Distributions and Impact Probabilities on Earth from Lunar, Terrestrial-planet, and Asteroid Cratering Data. En: *Hazards due to comets & asteroids*. The University of Arizona Press, 359-416.
- Öpik, E. 1958. *Physics of Meteor Flight in the Atmosphere*, Interscience Publishers Inc., New York.
- Passey, Q. & Melosh, H. 1980. Effects of Atmospheric Breakup on Center Field Formation, *Icarus*, **42**: 211-233.
- Portilla, G. 1996. El problema de los dos cuerpos y el problema del satélite artificial en ecuaciones diferenciales de primer orden. *Rev. Acad. Colomb. Cien.*, **20**: 25-32.
- Rabinowitz, D. et al. 1994. The Population of Earth-crossing Asteroids. En: *Hazards due to comets & asteroids*. The University of Arizona Press, 285-312.
- Sehnal, L.. 1990. Analytical Models of Mars' Atmosphere Density. *Bull. Czech. Acad. Sci.*, **41**: 115-117.
- Seiff, A. et al. 1980. Measurements of Thermal Structure and Thermal Contrasts in the Atmosphere of Venus and Related Dynamical Observations: Results From the Four Pioneer Venus Probes. *J. Geophys. Res.*, **85**: 7903-7933.
- Sekanina, Z.. 1983. The Tunguska Event: No Cometary Signature in Evidence. *Astron. J.*, **88**: 1382-1414.
- . 1993. Disintegration Phenomena Expected During Collision of Comet Shoemaker-Levy 9 with Jupiter. *Science*, **262**: 382-387.
- Zanhle, K. 1992. Airburst Origin of Dark Shadows on Venus. *J. Geophys. Res.*, **97**: 10243-10255.

# UNA NUEVA ESPECIE DE *ZAMIA* L. (ZAMIACEAE) DE LOS ANDES DE COLOMBIA Y CLAVE ACTUALIZADA PARA LAS ESPECIES DEL GÉNERO EN COLOMBIA

por

Eduardo Calderón-Sáenz<sup>1</sup> & Dennis Wm. Stevenson<sup>2</sup>

**Calderón-Sáenz, E. & D. Wm Stevenson:** Una nueva especie de *Zamia* L. (Zamiaceae) de los Andes de Colombia y clave actualizada para las especies del género en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **27**(105): 485-490, 2003. ISSN 0370-3908.

## Resumen

Se describe e ilustra *Zamia oligodonta* sp. nov. proveniente de los Andes de Colombia en el departamento de Risaralda. Esta nueva especie se diferencia claramente de las demás especies del género por la presencia, en los folíolos, de unos dientes subapicales gruesos, junto con un ápice acuminado-falcado. Se establece una comparación morfológica con especies afines del género y se presenta una clave revisada para las especies colombianas de *Zamia* L.

**Palabras clave:** Zamiaceae, *Zamia*, Colombia, *Zamia oligodonta*, Neotrópico, Nuevos taxones, Taxonomía.

## Abstract

*Zamia oligodonta* sp. nov., from the Andes of Colombia (department of Risaralda), is described and illustrated. This new species can be distinguished from other species in the genus, through the presence, on the leaflets, of a few coarse subapical teeth, along with an acuminate-falcate apex. A morphological comparison with related species in the genus is established and a revised key for the Colombian species of the genus *Zamia* L. is presented.

**Key words:** Zamiaceae, *Zamia*, Colombia, *Zamia oligodonta*, Neotropics, New species, Taxonomy.

<sup>1</sup> Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander-von-Humboldt, A.A. 8693, Bogotá D.C., [ecalderon@humboldt.org.co](mailto:ecalderon@humboldt.org.co)

<sup>2</sup> The New York Botanical Garden, Bronx, NY 10458 USA, [dws@nybg.org](mailto:dws@nybg.org)

Al usar la clave para las especies colombianas del género *Zamia* L., publicada en la monografía No. 21 de la Flora de Colombia (Stevenson, 2001), resultó imposible encontrar un nombre satisfactorio para un material proveniente del departamento de Risaralda. Una mirada atenta reveló que se trataba de una especie no descrita hasta ahora y por ello se describe entonces a continuación:

***Zamia oligodonta*** E. Calderón-Sáenz & D. W. Stevenson, *spec. nov.* (Fig. 1)

Cataphylla triangularia-aequilateralia (nisi iuxta strobilum, ubi ipsa sunt triangularia-elongata). Foliola plicata, plana, acuminata, apicaliter leviter falcata, et 1-3(5) dentibus magnis et irregularibus prope apicem praedita. Nervi seiuncti sulcis profundis 2-3 mm latis. Strobilus masculus solitarius, cylindraceo-conicus usque ad cylindraceo-ovoideum, apice obtuso, flaveus-virideus-griseus dum iuvenis, pedunculo brevi partim oblecto

cataphyllis elongatis. Strobilus femineus sessilis. Unicus strobilus masculus hucusque notus habet 6 series verticales microsporophyllum visibilium e latere et insuper praebet regionem apicalem compositam a 4-5 seriebus horizontalibus microsporophyllum sterilium.

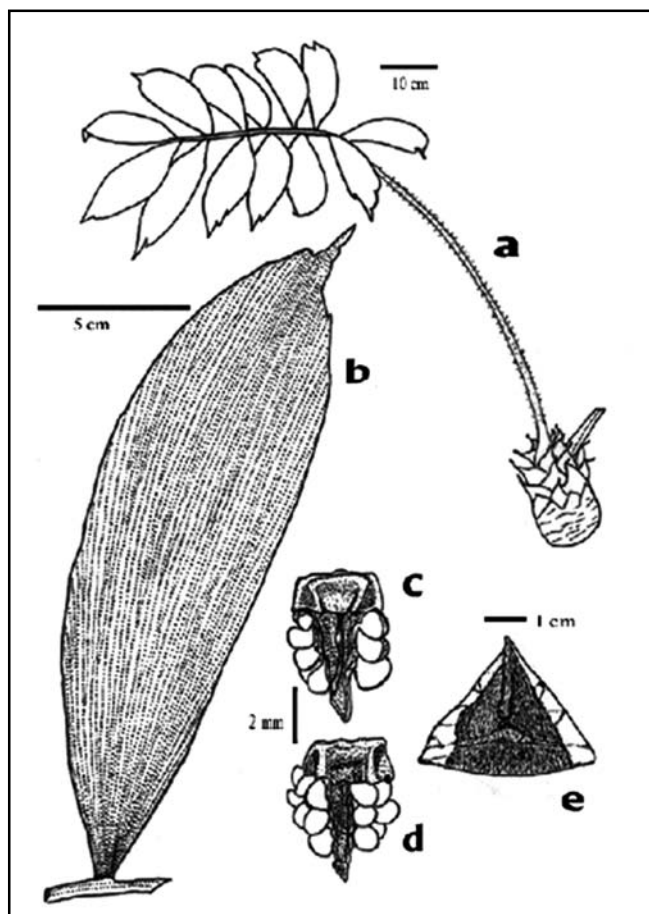
**Catáfilos** triangulares-equiláteros (exceptuando en la vecindad del estróbilo, donde son triangulares- alargados). **Foliolos** plicados, planos, acuminados, ligeramente falcados apicalmente, y con 1-3 (5) dientes grandes e irregulares cerca al ápice. Nervaduras separadas por surcos profundos de 2-3 mm de ancho. **Estróbilo** masculino solitario, cilindro-cónico a cilindro-ovoide, de ápice obtuso, amarillo-verdoso-grisáceo cuando joven, con un corto pedúnculo que está parcialmente cubierto por catáfilos alargados. Estróbilo femenino sésil. El único estróbilo masculino hasta ahora observado tiene 6 hileras verticales de microsporófilos visibles lateralmente, y además presenta una región apical compuesta por 4-5 hileras horizontales de microsporófilos estériles.

### Descripción

**Plantas** con una a tres hojas. **Tallo** hipogeo, corto, de 6 a 12 cm de diámetro, con catáfilos triangulares aproximadamente equiláteros (salvo en la vecindad del esporófilo, donde son más alargados). **Catáfilos** con aristas de 4 cm, y con un compacto tomento plateado-grisáceo sobre casi toda la cara abaxial (exceptuando en el área cerca a los bordes laterales, donde son de coloración marrón oscura-rojiza).

**Hojas** tiernas de una coloración dorada (Figura 2), con un ralo y efímero tomento de color gris-ferrugíneo. Hojas maduras de 55 a 125 cm de longitud, con pecíolos entre 35 y 65 cm, y raquis entre 25 y 60 cm, cada hoja con (8) 10-15 (17) folíolos opuestos o subopuestos, cada folíolo de 7 a 13 cm de ancho por 20 a 40 cm de longitud. **Pecíolos** medianamente espinosos hacia la base, pero poco espinosos distalmente. Algunas espinas (una minoría) son bífidas.

**Raquis** desprovisto de espinas (o con tan sólo unas pocas en los segmentos proximales, pero con los últimos dos segmentos inermes), y compuesto de unos 3 a 8 segmentos, c/u con 5-10 cm de longitud, con sección redondeada hacia el lado abaxial, pero con un ángulo o quilla por el lado adaxial. Parte terminal del raquis a manera de látigo (Figura 3), con 15-20 (25) mm de longitud, y provisto de un tomento pardo-rojizo (pelos hasta de 1,5 mm), lo que le da un aspecto penicilado, cuando joven. La longitud del látigo es tres veces el diámetro del segmento precedente del raquis. **Folíolos** cartáceo-coriáceos, obovados y ligeramente falcados (con el margen proximal



**Figura 1.** Caracteres vegetativos y microsporófilos (?) de *Zamia oligodonta* sp. nov. a. Hábito. b. Foliolo. c-d. Microsporófilo (?), haz y envés. Catáfilo vegetativo.



**Figura 2.** Hoja tierna de *Zamia oligodonta*, mostrando la típica coloración vernal dorada, así como los pocos dientes grandes que hay hacia el ápice de los folíolos.



**Figura 3.** Parte del holotipo de *Zamia oligodonta*, mostrando un folíolo, algunos ápices y la región del ápice foliar, incluyendo el látigo del raquis (ver arriba-izquierda). La escala del lado muestra centímetros.

más convexo que el margen distal), pero relativamente planos (generalmente no se escinden al ser prensados), con márgenes revolutos y superficie claramente plicada, y provistos de unos pocos (uno a tres) dientes gruesos irregulares (de hasta 5 mm de longitud) cercanos al ápice, generalmente sobre el margen proximal, y además con una cauda (o porción apical) bien diferenciada y ligeramente curvada en la dirección del raquis. Las costillas o nervaduras están separadas por surcos de 2 a 3 mm de ancho. **Estróbilo** polínifero solitario (en la única planta masculina fértil conocida), amarillo-verdoso-grisáceo cuando joven (Figura 4), cilíndrico a ligeramente cónico, de ápice obtuso, con una longitud total de 7,2 cm y con una anchura máxima de 2 cm (en el tercio basal de la región fértil del estróbilo), con seis hileras de microsporófilos visibles lateralmente y con una región apical compuesta por cuatro a cinco hileras horizontales de microsporófilos estériles. El único estróbilo masculino conocido incluye un pedúnculo de 1,1 cm (Figura 5), parcialmente cubierto por cerca de cuatro catáfílos alargados; estos catáfílos estrobilares son escasamente tomentosos y de un color marrón oscuro rojizo (en contraste con los catáfílos vegetativos, que son de un color más plateado). Estróbilo femenino sésil, 5 x 7 cm, con dos hileras verticales de macrosporófilos fértiles lateralmente

visibles; cada macrosporófilo con una anchura aproximada de 2,2 cm (Figura 6).

**Etimología:** El epíteto específico proviene de las raíces griegas *oligo* (= pocos) y *odonto* (= dientes), en alusión a la presencia de unos pocos dientes en la región apical de cada folíolo.

**Holotipus:** *Calderón-Sáenz 174* (FMB), planta masculina con un estróbilo polínifero, cultivada por E. Calderón-Sáenz, octubre 1999. Proviene de un ejemplar originalmente encontrado en el departamento de Risaralda, Colombia, en zona de bosque subandino.

**Material adicional examinado:** *Calderón-Sáenz 175* (JAUM), 182 (COL) y 183 (FMB, NY), estériles, cultivados por E. Calderón-Sáenz, provenientes de la misma localidad en Risaralda.



**Figura 4.** Estróbilo masculino inmaduro de *Zamia oligodonta*. Nótese los catáfilos vegetativos anchos (hacia la parte inferior de la fotografía) así como los catáfilos alargados tapando el pedúnculo (hacia la base del estróbilo).

## Discusión

Varios individuos estériles de *Z. oligodonta* sp. nov. fueron observados en la localidad tipo, pero hasta la fecha sólo se han observado dos plantas en estado reproductivo (cultivadas), y las cuales portaban un solo estróbilo masculino y un solo estróbilo femenino, respectivamente. La especie aquí descrita se diferencia claramente de otras especies del género por las características vegetativas, y especialmente por la presencia, en la región distal de cada folíolo, de unos pocos dientes grandes y un ápice acuminado y ligeramente curvado hacia el extremo distal de la hoja, todo esto aunado a una textura plicada de los folíolos (ver, comparación con otras especies).



**Figura 5.** Detalle de un estróbilo masculino de *Zamia oligodonta*, después de la dehiscencia (del holotipo).

Por otro lado, aunque el estróbilo masculino de *Zamia oligodonta* muestra un número relativamente elevado de hileras verticales de microsporófilos fértiles, al estilo de *Z. obliqua* A. Braun, de *Z. encephalartoides* D. W. Stev. y de *Z. montana* A. Braun, las diferencias vegetativas con éstas son muy evidentes, especialmente con *Z. obliqua* y *Z. encephalartoides*. De otro lado, aunque *Z. montana* y *Z.*



**Figura 6.** Estróbilo femenino inmaduro de *Zamia oligodonta* (algunos catáfilos han sido doblados hacia abajo)

*oligodonta* se parecen en varios rasgos (por ejemplo en la forma de los catáfilos y los esporófilos; o por la preferencia de hábitats premontanos), *Z. montana* es arborescente y sus folíolos no son acuminados (aunque también son plicados) ni tienen los gruesos dientes subapicales de *Z. oligodonta*.

*Zamia oligodonta* se parece a un poco a *Z. amplifolia* Masters, de la Cordillera Occidental colombiana, por la textura de los folíolos, con surcos profundos entre las fuertes nervaduras. Sin embargo, en *Z. amplifolia* los folíolos son aún más gruesos, más simétricos, menos aplanados y de forma más elíptica, y además no hay dientes en ninguna parte del margen y tampoco son acuminados. Adicionalmente, en *Z. amplifolia* los surcos entre las nervaduras son el doble de anchos que en *Z. oligodonta*, y además los catáfilos son generalmente más alargados, las hojas tiernas son más rojizas, y los látigos son proporcionalmente más cortos.

*Zamia oligodonta* también es comparable con *Z. skinneri* Warsz. ex A. Dietrich de Panamá, con la que comparte los folíolos plicados y acuminados, además de los prominentes dientes en la parte distal de los márgenes de los folíolos. Sin embargo en *Z. skinneri* los ápices no son falcados y el número de dientes es mayor. Adicionalmente las plantas de *Z. skinneri* son mucho más robustas, con tallo arborescente de hasta 4 m.

También hay un parecido superficial de esta nueva especie con *Z. cunaria* Dressler & D. W. Stev. de Panamá, y *Z. amazonum* D. W. Stev. Sin embargo, en estas últimas no hay unos pocos dientes subapicales gruesos (aunque

los márgenes pueden ser denticulados en el tercio superior), los ápices no están claramente incurvados y la superficie de los folíolos no es plicada.

Otra especie parecida a *Z. oligodonta* es *Z. purpurea* A. P. Vovides *et al.* de México, por los tallos subterráneos y por los folíolos acuminados, con venas juntas pero prominentes. Sin embargo, *Z. purpurea* puede tener hasta 5 pares de folíolos elípticos de coloración vernal púrpura, con dientes homogéneamente esparcidos en el tercio superior, mientras que en *Z. oligodonta* las hojas tienen hasta 8 ó 9 pares de folíolos de coloración vernal dorada y sólo hay unos pocos dientes subapicales grandes e irregulares.

Con *Zamia oligodonta* sp. nov., ya son ocho las especies de *Zamia* con hojas plicadas, grupo que incluye también a *Z. wallisii* A. Braun, *Z. montana*, *Z. roezlii* Linden, *Z. skinneri*, *Z. amplifolia*, *Z. dressleri* y *Z. neurophyllidia* D.W. Stev. La mayoría de estas especies también se caracterizan por tener láminas foliares relativamente gruesas (cartáceas a coriáceas) y por los márgenes aserrados, ondulados o irregularmente dentados hacia el tercio distal de los folíolos.

El sitio exacto de la localidad tipo de esta nueva especie se mantiene en reserva, para evitar el saqueo indiscriminado por parte de comerciantes inescrupulosos, y teniendo en cuenta que algunas de las Zamiaceae colombianas pueden estar siendo recolectadas en exceso con fines comerciales; además, esta familia de plantas está considerada entre las más amenazadas de Colombia.

A continuación se presenta una nueva clave para las especies colombianas del género *Zamia* L., con base en la clave presentada por **Stevenson** (2001) pero ligeramente modificada para incluir la nueva especie aquí descrita:

#### Clave para las especies colombianas de *Zamia*

- 1- Folíolos fuertemente surcados entre las venas por la haz, dando la apariencia de plegados.
  - 2- Folíolos con 1-3 dientes irregulares y grandes, cerca del ápice ..... *Z. oligodonta*
  - 2'- Folíolos con el margen liso, ondulado, denticulado o dentado (cuando dentado, entonces con más de 3 dientes regularmente dispuestos a lo largo del margen)
    - 3- Folíolos dentados al menos en el tercio distal, con peciólulo; tallo subterráneo ..... *Z. wallisii*
    - 3'- Folíolos enteros, sésiles; plantas arborescentes.
      - 4- Folíolos lineares, basalmente falcados .....  
..... *Z. roezlii*

- 4'- Folíolos elípticos u obovados.
- 5- Folíolos angostamente obovados, con margen esparcidamente serrulado en el tercio distal. Antioquia .....*Z. montana*
- 5'- Folíolos elípticos, con margen entero. Valle .....*Z. amplifolia*
- 1'- Folíolos lisos a levemente estriados, pero no surcados por la haz ni aparentemente plegados.
- 6- Folíolos con peciólulo y un reborde glanduliforme semicircular en la base de la lámina ..*Z. manicata*
- 6'- Folíolos sésiles, sin reborde glanduliforme.
- 7- Folíolos enteros o con unos pocos dientes diminutos hacia el ápice.
- 8- Pecíolo inerme; folíolos fuertemente coriáceos, con margen revoluta .....*Z. encephalartoides*
- 8'- Pecíolo con aguijones; folíolos membranáceos, cartáceos o papiráceos, rara vez (en *Z. lecointei*) coriáceos, la margen no revoluta.
- 9- Pecíolo con aguijones esparcidos y no ramificados; raquis sin aguijones.
- 10- Folíolos membranosos. Hojas 30-70 cm de largo, con 4-10 pares de folíolos de 12-15 cm de largo; pecíolo hasta de 35 cm de largo .....*Z. hymenophyllidia*
- 10'- Folíolos papiráceos a coriáceos. Hojas de 1-2 m de largo, con 20-40 pares de folíolos de 30-40 cm de largo; pecíolo hasta de 1(-2) cm de largo .....*Z. lecointei*
- 9'- Pecíolo y raquis con aguijones densamente distribuidos y por lo general ramificados.
- 11- Folíolos imbricados, lanceolados, 40-80 pares; pecíolo glabro, aunque con aguijones .....*Z. chigua*
- 11'- Folíolos no imbricados, oblongo-lanceolados, 10-30 pares; pecíolos ferruginosos .....*Z. amazonum*
- 7'- Folíolos con dientes conspicuos.
- 12- Folíolos elípticos a oblongo- elípticos.
- 13- Folíolos membranosos, biserrados . .....*Z. disodon*
- 13'- Folíolos papiráceos, finamente serrulados.
- 14- Hojas con 10-20 pares de folíolos elípticos, falcados y con la base oblicua; plantas arborescentes ... .....*Z. obliqua*
- 14'- Hojas con 3-6 pares de folíolos oblongo-elípticos y con la base simétrica; tallos subterráneos.....*Z. ulei*
- 12'- Folíolos oblongo-lanceolados a linear-lanceolados.
- 15- Folíolos largamente linear-lanceolados, falcados hacia la base, dientes marginales aculeados y en ángulo más o menos recto; plantas arborescentes .....*Z. poeppigiana*
- 15'- Folíolos oblongo-lanceolados, cuneados basalmente, dientes marginales serrados y en ángulo más o menos agudo; tallos subterráneos.
- 16- Hojas con 4-10 pares de folíolos falcados hacia el ápice; pecíolo de color púrpura oscuro a negro, con aguijones diminutos .....*Z. melanorrhachis*
- 16'- Hojas con 15-35 pares de folíolos simétricos; pecíolo verde, con aguijones conspicuos.....*Z. muricata*

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Isabel Cristina Tobón los dibujos realizados y a Pedro Ortiz V. (S.J.) por la diagnosis latina. También se agradece a Carlos Esteban Congote por su invaluable apoyo durante la fase de campo. El personal del herbario FMB (herbario del Instituto Alexander-von-Humboldt en Villa de Leyva) brindó apoyo para el montaje de los ejemplares.

### Referencias bibliográficas

- Stevenson, D. W. 2001. Orden Cycadales. Flora de Colombia, Monogr. 21. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.



# CARACTERIZACIÓN DE LA FAUNA DE CARÁBIDOS (COLEOPTERA: CARABIDAE) EN UN PERFIL ALTITUDINAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA

por

Edgar Camero-R.<sup>1</sup>

## Resumen

**Camero-R., E.:** Caracterización de la fauna de carábidos (Coleoptera: Carabidae) en un perfil altitudinal de la Sierra Nevada de Santa Marta-Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **27** (105): 491-516, 2003. ISSN 0370-3908.

La composición de la fauna de carábidos fue estudiada a lo largo del perfil altitudinal Minca-Cerro Kennedy de la Sierra Nevada de Santa Marta desde los 700 a los 2620 m, utilizando trampas de caída (pitfall) y métodos de recolección manual en sitios de bosque nativo y de plantaciones de coníferas. Los resultados de composición y distribución de la fauna recolectada muestran diferencias entre las trampas utilizadas en cada sitio de muestreo a lo largo del perfil altitudinal, al igual que diferencias en abundancia de especies, braquiptería y endemismo. Se registraron tres nuevas especies de carábidos para Colombia.

**Palabras clave:** Carabidae, coleoptera, insectos, Sierra Nevada de Santa Marta, ecología, zonación, perfiles, distribución, biodiversidad.

## Abstract

Carabidae faunal composition in Sierra Nevada de Santa Marta was studied along Minca- Cerro Kennedy altitudinal gradient from 700 to 2620 m, by two different pitfall trap methods and by manual collection of samples in forests, coffee and pine plantations. Results show differences in number of pitfall traps to collect carabid fauna in each sample station, differences in carabid composition and distribution along the altitudinal gradient, and differences in zones by abundance, brachiptery and endemisms. Three new records were registered for Colombian carabid fauna.

**Key words:** Carabidae, coleoptera, insects, Sierra Nevada de Santa Marta, ecology, zonation, gradients, distribution, biodiversity.

<sup>1</sup> Biólogo, M.Sc. Profesor Asistente Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 23893, Bogotá-Colombia. edgarcamero@hotmail.com

## 1. Introducción

### 1.1. Generalidades

El estudio de la fauna de insectos proporciona información sobre el estado de los ecosistemas, su productividad y los niveles de contaminación acuática y atmosférica, puesto que interacciones como intercambios genéticos, biomasa y energía transferidas en los ecosistemas, se encuentran directamente relacionadas con las poblaciones de insectos (**Brown**, 1991); así mismo, es importante la identificación de especies de insectos indicadoras de los diferentes tipos de ecosistemas, que mediante monitoreos periódicos, registren su continuidad en el tiempo (**Nilsson et al.**, 1994).

La diversidad de insectos en los ecosistemas tropicales es de gran importancia, debido a que en esta zona existe una gran diversidad de ecosistemas a causa de la topografía, lo cual incide directamente sobre el aislamiento de las poblaciones y sobre el grado de endemismo de las especies (**Brown**, 1991). Allí las poblaciones de insectos están seriamente amenazadas a causa del vertiginoso avance de la deforestación de los ecosistemas naturales, lo cual genera la extinción de gran cantidad de recursos naturales regionales incluyendo especies aún no descritas y, posiblemente, de gran importancia económica (**Gordon**, 1985).

Dentro de la entomofauna mundial, Carabidae es una de las familias más numerosas y abundantes del mundo (**Dillon & Dillon**, 1972), y se distribuye geográficamente en todos los ecosistemas terrestres a excepción de la Antártida (**Erwin**, 1981; 1985).

La familia Carabidae está representada en el mundo por más de 30 mil especies; 5.000 de ellas se encuentran en el trópico, se ubican en 9 subfamilias, 50 tribus y 366 géneros (**Reichardt**, 1977) y corresponde a uno de los grupos de coleópteros de mayor importancia porque indican el estado de conservación de los suelos. En Colombia es importante por su alta frecuencia y abundancia en ecosistemas de baja intervención (**Camero**, 1999; **Camero & Chamorro**, 1996, 1997, 1999), lo cual integra información ecológica sustancial acerca del funcionamiento de la comunidad ecosistémica y sobre el estado de conservación de los mismos (**Day & Carthy**, 1988; **Ribera & Foster**, 1993).

Según **Campbell** (1987), es posible obtener información ecológica detallada a partir de resultados de caracterizaciones espacio-temporales periódicas, lo cual facilita el estudio del comportamiento de las comunidades, con

miras a establecer comparaciones posteriores en ecosistemas con distinto grado de alteración; sin embargo, en Colombia se carece de información ecológica pertinente a las especies y poblaciones de carábidos y de colecciones de referencia lo suficientemente completas.

Tanto la composición como la distribución de las especies de la familia Carabidae varían en la medida que se asciende a lo largo de un gradiente altitudinal; las especies encontradas en el perfil caracterizan un ecosistema natural en particular, debido al alto grado de especiación alopátrica y de endemismos del neotrópico. La Sierra Nevada de Santa Marta es una isla continental que posee gran cantidad de endemismos por su aislamiento de la cordillera andina y por su diversidad de climas; resultados de estudios faunísticos presentan baja similaridad y gran discontinuidad ecológica entre muestras procedentes de distintas zonas altitudinales (**Adams**, 1973).

El estudio de la fauna de coleópteros de la familia Carabidae a lo largo de un perfil altitudinal en la Sierra Nevada de Santa Marta, permitirá tipificar ecosistemas naturales vecinos al igual que ecosistemas andinos similares, correlacionando los resultados de la diversidad faunística con factores ecológicos externos. La tipificación de la fauna en bosques naturales y cultivos de pino y café contribuirá a iniciar el conocimiento de esta importante familia en Colombia.

### 1.2. Variación morfológica

La mayoría de las especies adultas de la familia presentan coloración corporal negra, café oscuro, amarilla, azul metálica, verde o púrpura (**Dillon & Dillon**, 1972) y la coloración de sus patas va desde monocromática a bicolor (**Erwin**, 1981). La reflexión metálica es común en grupos como Lebiini y Callistini más que en otros (**Erwin**, 1981).

No obstante la estabilidad de sus características morfológicas, la familia Carabidae presenta variaciones debidas a adaptaciones al hábitat. Así, pueden encontrarse modificaciones del plan morfológico general que facilitan su capacidad para correr, excavar o nadar; estos insectos, utilizan además mecanismos como relojes internos, ciclos circadianos, captación de la presencia de algas o percepción de sustancias volátiles para la elección de condiciones de hábitat favorables. Dentro de los principales factores limitantes que inciden en el óptimo desarrollo de las poblaciones de carábidos están la temperatura, la humedad, la disponibilidad de alimento, la presencia de competidores y las estaciones climáticas (**Thiele**, 1977; **Nagel**, 1979; **Lövei & Sunderland**, 1996).

### 1.3. Ecología de gradientes

La composición de especies en un ecosistema presenta variaciones a lo largo de gradientes altitudinales. El estudio del costo, la eficiencia ecológica y de los recursos naturales necesita en primer término métodos de muestreo flexibles, logísticamente simples y sensibles a los métodos de análisis. Estos parámetros deben establecerse en estudios que involucren la diversidad biológica mediante el uso de gradientes (**Ludwing & Cornelius**, 1987).

El estudio ecológico de los gradientes y su respectivo análisis, permite encontrar discontinuidades (ecotonos) entre ecosistemas vecinos. Dichas discontinuidades pueden obtenerse mediante técnicas de distancia entre muestras, las cuales pueden ser aplicables en estudios de cobertura vegetal, fauna o suelos (**Ludwing & Cornelius**, 1987); la medida de la composición relativa de las comunidades puede conocerse por medio de técnicas de análisis estadístico (**Ter Braak**, 1986). De otra parte, la estructura de la comunidad varía sustancialmente con la edad del bosque, el tipo de especies de árboles y el tipo de suelo. Para el caso de la fauna de carábidos, las zonas con gran amenaza para la biodiversidad en general tienen pocas de sus especies (**Walsh et al.**, 1993).

Según **Terborgh** (1971), existen tres modelos con capacidad de predicción los patrones de distribución de las especies a lo largo de gradientes altitudinales. En el modelo 1, los límites de distribución de las especies están determinados por exclusión competitiva; cada especie mostrará posición óptima en el gradiente cuando alcance el máximo de abundancia; el óptimo de abundancia declinará más o menos rápido dependiendo de la amplitud ecológica de las especies. El óptimo depende tanto de la interacción de las especies con variables físicas como temperatura y humedad a lo largo del gradiente, como de variables biológicas tales como productividad neta de las plantas, densidad de insectos y componentes epífitos, los cuales tienen siempre variación a medida que se asciende en el perfil.

En el modelo 2, los límites de distribución de las especies están determinados por exclusión competitiva. Cuando los requerimientos ecológicos de dos o más especies son bastante similares, su coexistencia será inestable y sus poblaciones serán forzadas a ocupar dominios exclusivos; la abundancia de dos especies será menor en su zona de contacto y aumentará a mayor distancia de ésta. En la zona de contacto habrá disminución en las curvas de densidad poblacional, al igual que interacción repul-

siva. Los puntos de exclusión de dos especies competidoras caerán coincidentalmente en los ecotonos, y las curvas de densidades poblacionales caerán también en sitios donde estén expuestas a interacciones de predación y parasitismo.

Para el modelo 3, los límites de distribución de las especies están determinados por discontinuidades en el hábitat. Si las poblaciones son bloqueadas por discontinuidades en el hábitat, habrá declinación masiva en las curvas poblacionales en los ecotonos. Los ecotonos actúan como fuertes barreras donde las curvas de las poblaciones se truncan abruptamente.

Aunque los tres modelos hacen sus predicciones independientemente, la amplitud de las especies responde a cambios graduales de condiciones favorables a lo largo del gradiente; la posibilidad de expansión de las especies está expuesta a la intensidad de factores controladores que se oponen a su natural tendencia de dispersión.

Es de esperarse que existan diferencias en la composición de las especies de carábidos a lo largo de gradientes altitudinales, donde la selección de poblaciones por factores externos genera cambios intraespecíficos en su historia evolutiva, y la diferenciación de poblaciones seleccionadas produce poblaciones de especies distintas, emparentadas entre sí al menos en un mínimo de variaciones corporales (**Krekeler**, 1962).

Las especies de carábidos pueden variar en la forma de los ojos, su talla, coloración, iridiscencia, microestructuras elitrales, presencia o ausencia de setas y reducción o pérdida de sus alas posteriores por cambios medioambientales o de intervención en sus ecosistemas naturales (**Krekeler**, 1962; **Erwin**, 1981). La regeneración sucesional de los ecosistemas viene acompañada por cambios en la composición de las especies y por el incremento en el número de especies aladas sobre las braquípteras (**Erwin**, 1981).

El aumento de la altitud en ecosistemas naturales, se refleja en cambios en la composición natural de las especies de artrópodos (**Janzen**, 1993); para la fauna de carábidos, a medida que se asciende en un perfil altitudinal natural, aumentan las formas braquípteras sobre las aladas (**Brandmayr**, 1983; **Ball**, 1992). La estabilidad de los hábitats medida en cantidad de endemismos, determina que las formas braquípteras predominen en zonas altas; la braquíptera deducida del análisis de los patrones de frecuencia de las especies en zonas altas prevalece en los componentes endémicos de la fauna, mientras que la macroptera prevalece en los componentes inmigrantes y emigrantes. Por ello se considera la morfología de las alas

posteriores como una medida del poder de dispersión de las especies (**Brandmayr**, 1983; **Ball & Currie**, 1997); todas las técnicas usadas para la ordenación o clasificación de las comunidades de carábidos a lo largo de gradientes utilizan este parámetro como la medida del poder de dispersión de las comunidades, e indirectamente, la estabilidad de los ecosistemas (**Brandmayr**, 1983).

La medida del parámetro de braquiptería debe ir acompañada del conocimiento del tipo de vegetación, la caracterización del tipo de suelo y factores medioambientales como humedad, altitud y temperatura. Se presume que los factores más importantes que inciden en la manifestación braquíptera de la mayoría de las especies de carábidos dentro de un ecosistema son el balance hídrico, la tipología edáfica y la altitud. En cuanto a la tipología edáfica, el porcentaje de especies braquípteras en un ecosistema está directamente relacionado con la capacidad de retención de agua del suelo, su génesis, tipo y textura; así, resulta mayor el braquipterismo en suelos con baja retención de humedad, en suelos litomórficos que hidromórficos, en litosoles que en suelos aluviales y en suelos limosos que arcillosos (**Brandmayr**, 1983).

La importancia del vuelo en las especies de carábidos, radica en la necesidad de emigración bajo circunstancias medioambientales adversas; la pérdida de la facultad del vuelo es producto de fuerzas de selección que actúan, ya sea en parte de la población, o en la totalidad de los miembros de una especie. Esta se manifiesta directamente sobre la reducción de la talla de las alas y/o del metatórax, la fusión de élitros, o sobre los músculos que permiten el vuelo (**Brandmayr**, 1983, 1991; **Ball & Currie**, 1997). Por lo tanto, existe presión constante de la selección natural sobre el poder de dispersión de las especies de Carabidae, manifestándose sobre los genes que regulan dicha capacidad. Genéticamente la braquiptería es un carácter dominante de las comunidades, donde sólo individuos homocigóticos recesivos presentan capacidad de vuelo, y es entonces esta presión natural la que determina la formación de nuevas especies y la extinción de otras (**Brandmayr**, 1983; 1991). La estabilidad ecosistémica propicia la braquiptería y directamente el grado de endemismos en una comunidad, mientras que las alteraciones de las condiciones naturales son aptas para especies macrópteras con bajos índices de endemismos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en un perfil altitudinal, desde los 700 m hasta los 2620 m, correspondientes a las

estaciones Minca, María Teresa, La Victoria, Betoma, San Lorenzo y Cerro Kennedy, ubicadas entre los 11° 9'N hasta los 11° 4'N, y desde los 74° 7'W hasta los 74° 2'W (Figura 1). En el perfil se escogieron seis estaciones de muestreo (Figura 2), tanto en área de bosques como de cultivos tradicionales: en las estaciones Minca a 700 m de altura, María Teresa a 790 m y La Victoria a 1097 m, se tomaron muestras en áreas tanto de bosque como en cultivos de café; mientras que en las estaciones Betoma a 2149 m, San Lorenzo a 2280 m y Cerro Kennedy a 2620 m, se tomaron muestras en áreas de bosque nativo y en plantaciones de pino.

El régimen de precipitación del perfil estudiado (Minca-Cerro Kennedy) es, según **Rangel & Aguilar** (1995), bimodal tetraestacional, con 200 a 300 mm mensuales de precipitación. Se presentan dos períodos secos, comprendidos entre los meses de diciembre a marzo y de julio a agosto, y dos períodos lluviosos, de abril a junio y de septiembre a noviembre. La precipitación por debajo de la franja de los 1000 m es inferior a los 1500 mm anuales y de 3000 mm entre los 2000 y los 3000 m.

Las temperaturas medias mensuales tienen variación promedio de 2.5°C con mayores registros entre los meses de abril a junio; la temperatura máxima promedio anual es de 32.7°C, la mínima de 8°C, la media de 26°C para la zona subandina y 18°C para la zona andina.

La humedad relativa promedio de la zona es del 60% a 500 m de altitud, valor debido a la proximidad del mar. Tanto la temperatura promedio de las seis estaciones de muestreo (Tabla 1), como su humedad relativa, fueron medidas con un polímetro convencional durante el período de estudio.

Puede afirmarse que todos los factores de formación influyen directa o indirectamente en la génesis y evolución de los suelos presentes en la Sierra Nevada de Santa Marta; sin embargo, se observa que el relieve, el clima y el material parental son, indudablemente, los factores que mayor influencia han ejercido en el desarrollo de estos suelos.

La interacción de estos factores dominantes favorece la formación de una variada gama de suelos ubicados en una climosecuencia, que para efecto del presente estudio se extiende desde el cálido húmedo (500 m), hasta el muy frío y muy húmedo (3300 m), en donde los suelos dominantes pertenecen a los subgrupos: Typic Dystrudepts y Humic Dystrudepts para la parte baja y Typic Udorthents, Typic y Lithic Cryorthents para la parte alta.

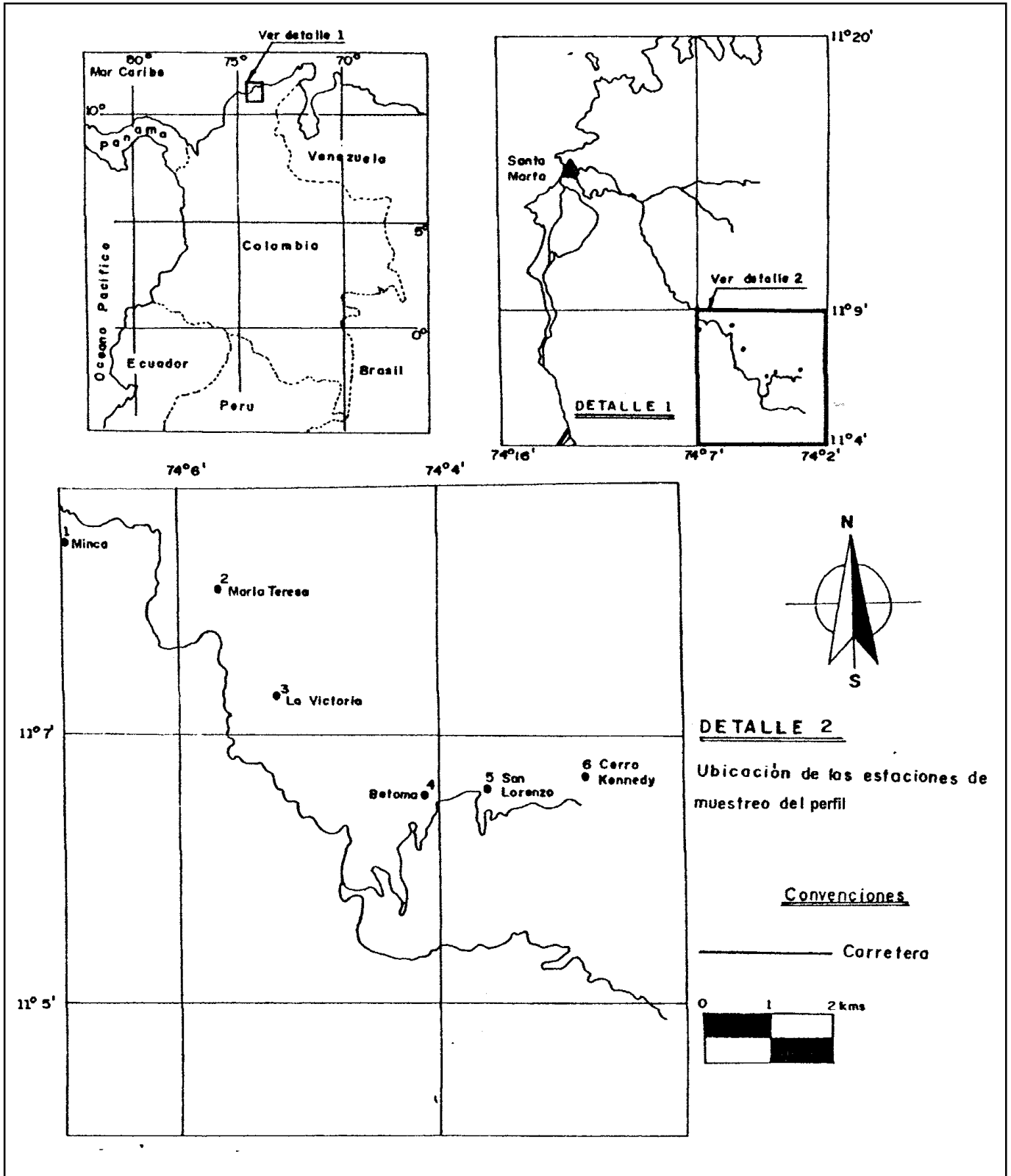


Figura 1. Ubicación geográfica del gradiente altitudinal Minca-Kennedy de la Sierra Nevada de Santa Marta

**Tabla 1.** Altura, temperatura y humedad relativa de las estaciones de muestreo del perfil Minca-Cerro Kennedy en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia).

Estación	Altura (m)	Promedios	
		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Minca	700	28.5	67.0
María Teresa	790	25.0	85.5
La Victoria	1097	24.0	87.0
Betoma	2149	18.0	74.0
San Lorenzo	2280	13.0	81.3
Cerro Kennedy	2620	20.0	81.0

La secuencia de suelos anotada permite deducir que a medida que disminuye la temperatura aumenta el contenido de materia orgánica, dando origen a espesos epipedones (úmbricos) de color negro, con abundante contenido de carbono orgánico.

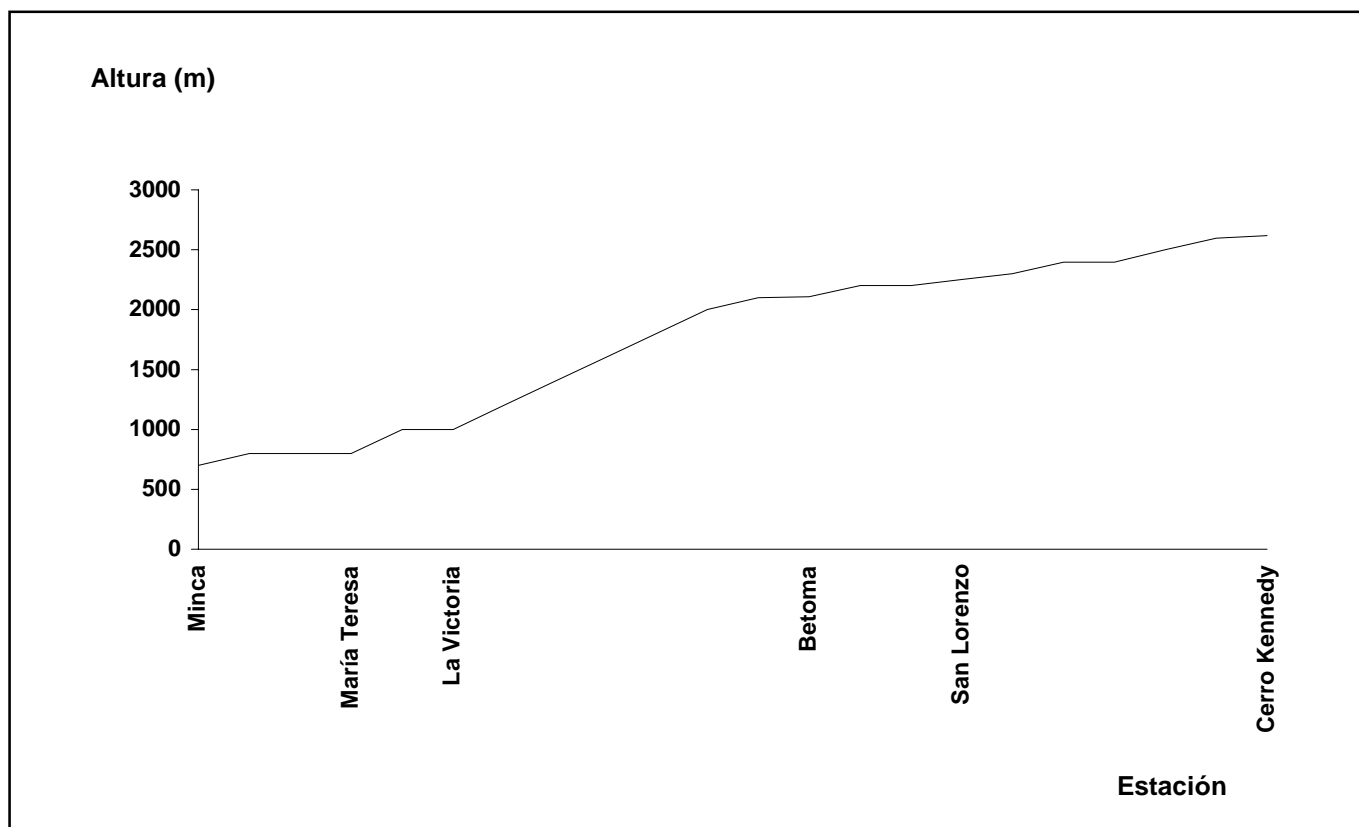
En general, se trata de suelos de reacción ácida a extremadamente ácida, pobres en calcio, magnesio, potasio

y fósforo, lo cual se traduce en una fertilidad desde baja a muy baja (IGAC, 1995).

Debido a la ubicación geográfica de la Sierra y por lo tanto a su efecto de intercepción de la circulación de los vientos alisios del noreste, existe una distribución diferencial de la vegetación, donde se encuentran desde pastizales y matorrales de páramo, hasta bosques de la región ecuatorial y media (Rangel & Garzón, 1995).

Según Adams (1973), el perfil de estudio Minca-La Victoria es un Bosque Montano de vegetación densa, con presencia de epífitas en la base de los árboles; según el mismo autor, el perfil La Victoria-Cerro Kennedy corresponde a un Bosque Montano nublado de vegetación densa con epífitas en la copa de los árboles, altas poblaciones de líquenes y bambúes y alto grado de endemismos.

Según la clasificación de Cuatrecasas (1989), la estación Minca al igual que la estación María Teresa corresponden a una Selva Inferior; las estaciones La Victoria, Betoma y San Lorenzo a Selva Subandina, y la estación Cerro Kennedy a Selva Andina. Para Rangel & Garzón (1995), las estaciones Minca y María Teresa, correspon-



**Figura 2.** Altura sobre el nivel del mar (m) de las estaciones de muestreo, perfil Minca- Cerro Kennedy.

den a la Asociación Poulsenio armatae-Perseetum americanae de tipo selvático, con árboles gigantes de *Poulsenia armata* y *Persea americana* asociados con *Ossaea cucullata* y *O. micrantha*.

La estación La Victoria pertenece a la Asociación Dyciocaryo schultzei-Zygietum longifoliae dominada por *Dyciocaryum schultzei* y acompañada por especies diagnósticas como *Palicourea crocea*, *Saurauia yasicae*, *Norantea guianensis*, además de *Coussapoa sp.* y *Acalypha sp.*; la estación Betoma, se caracteriza por la presencia y dominancia de *Graffenrienda santamartensis*, *Faramea santamartensis*, *Lozania mutisiana*, *Cyathea divergens*, *Securidacca sp* y *Peperomia choriensis* (Rangel & Garzón, 1995).

La estación San Lorenzo corresponde a la alianza Gustavo speciosae-Tovomitium weddellianae con un estrato arbóreo hasta de 35 metros de altura; entre las especies leñosas características se encuentran *Gustavia speciosa*, *Sloanea sp.* y las palmas *Geonoma sp.*, *Chamaedorea sp.*, y *Dyciocaryum schultzei*. La estación Cerro Kennedy corresponde a la asociación Dyciocaryo schultzei-Zygietum longifoliae, selva ecuatorial con elementos superiores a 30 metros de altura en cuyo sotobosque abundan las palmas y los helechos arborecentes, asociadas con especies como *Palicourea crocea*, *Saurauia yasicae*, *Coussapoa sp.*, *Weinmannia pinnata* y *Brunellia integrifolia* (Cleef & Rangel, 1984; Rangel & Garzón, 1995; Rangel *et al.*, 1997).

## 2.2. Colección y determinación taxonómica

La captura de especímenes se realizó mediante la aplicación de dos métodos diferentes y el empleo de quince trampas *pitfall* en cada uno de los bosques seleccionados a lo largo del perfil (Figura 3).

En Colombia, para la recolección de insectos que habitan o frecuentan la fase superficial del suelo, se utiliza el método de captura de cinco trampas *pitfall* dispuestas a manera de cruz (método 1). El método 2, de uso más frecuente en Norteamérica para el mismo tipo de estudios, utiliza diez trampas dispuestas en línea recta. Mediante la comparación del número de especies recolectadas por la aplicación de cada uno de los métodos, se evaluó el más eficaz para la recolección de especies en cada estación de muestreo. Adicionalmente se realizaron muestreos manuales, bajo troncos, en sitios aledaños a las trampas.

La determinación de los especímenes a nivel de especie, se realizó mediante el empleo de las claves de Reichardt (1977) para subfamilias y tribus de carábidos neotropicales, así como las claves y descripciones de

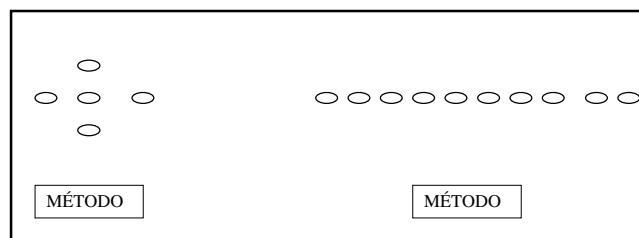


Figura 3. Métodos de muestreo mediante trampas pitfall

Straneo (1979, 1985), Darlington (1934), Reichardt (1967), Moret (1989, 1990, 1995a,b, 1996a,b,c, 1998) y Perrault (1982, 1990a,b,c, 1991, 1992, 1993a,b,c,d) para especies.

Los especímenes determinados fueron confrontados con aquellos de las colecciones de referencia existentes en Colombia, Ecuador y Canadá: Museo de Historia Natural, Universidad Pedagógica Nacional (MHN-UPN), Bogotá-Colombia; Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia (ICN-MHN), Bogotá-Colombia; Colección personal Edgar Camero-R., (CPECR), Bogotá-Colombia; Museo de Historia Natural, Departamento de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (MHN-UCE), Quito-Ecuador y el Strickland Entomological Museum, Universidad de Alberta (SEM-UA), Edmonton-Canadá.

Adicionalmente se realizó la extracción, disección y montaje de aedeagos de las genitales a los especímenes machos de cada una de las especies recolectadas, mediante la adaptación y modificación del método de Buhrnheim (1978). Finalmente, y para complementar la información sistemática correspondiente a los especímenes recolectados, se realizaron ilustraciones científicas de los aedeagos disectados.

## 2.3. Fase de análisis

El número mínimo de unidades muestrales fue determinado en primera instancia, aplicando el método propuesto por Montes & Ramírez (1978) y utilizado en parte por Benson & Harada (1988). En segunda instancia, es posible determinar matemáticamente el número mínimo de unidades muestrales mediante el cálculo realizado por medio de binomiales negativas (Stiles, 1993).

La distribución de muestras para cada estación se determinó con base en la relación  $S_2$  y  $X$ . Si la relación de estos dos parámetros presenta valores superiores a 1, la distribución se considera agregada, y si presenta valores menores a 1, se considera uniforme. La diversidad (HB)

para cada estación se calculó mediante el empleo de la ecuación de Brillouin, recomendada por **Magurran** (1989) para este tipo de muestreos.

Posteriormente se elaboró una clave taxonómica para las especies recolectadas con base en las claves taxonómicas de **Reichardt** (1967, 1977), **Straneo** (1979, 1985), **Darlington** (1934), **Moret** (1989, 1990, 1995a,b, 1996a,b,c, 1998) y **Perrault** (1982, 1990a,b,c, 1991, 1992, 1993a,b,c,d).

La caracterización de las especies encontradas se realizó de la siguiente forma:

Se elaboraron listas correspondientes a las especies de carábidos recolectados en cada una de las estaciones de muestreo. Los ecosistemas estudiados en cada una de las estaciones se caracterizaron de acuerdo con la composición de las especies encontradas. La distribución de las especies en el perfil altitudinal se determinó mediante la aplicación de pruebas independientes de Kolmogorov-Smirnov.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Análisis de los caracteres taxonómicos

Los caracteres morfológicos utilizados para la discriminación de tribus, géneros y especies fueron: coloración y longitud de la cabeza, coloración de las antenas, pubescencia de las antenas, presencia de setas supraorbitales, longitud de los segmentos maxilares y labiales, coloración del tórax, longitud y forma del pronoto, número de setas del pronoto, presencia de surcos en la superficie anterior de la tibia frontal, coloración y longitud de los élitros, forma del ápice de los élitros, forma de las microceldas elitrales, presencia de plica preapical, presencia de setas disciales, intervalos elitrales y estrías de la zona discal.

En términos generales los caracteres utilizados fueron suficientemente estables y no presentaron mayor conflicto. Sin embargo, existen algunos caracteres morfológicos que, aunque no fueron utilizados para la discriminación de los grupos recolectados, presentaron inconveniencia para su utilización debido a su marcada inestabilidad. La talla corporal, tanto en la longitud total como de la región cefálica, torácica y abdominal, fue uno de los caracteres con mayor variabilidad intraespecífica, especialmente para los especímenes de las especies *Blennidus bistriatus* Straneo, 1951 y *Platynus hebeculus* Bates, 1891. Otro carácter inconveniente es la coloración corporal, la cual tiene amplio rango de variación, especialmente para tres

especies del género *Platynus* Bonelli, 1809: *P. platynoides* Chaudoir, 1878, *P. steinheili* Perrault, 1993 y *P. hebeculus* Bates, 1891, en los cuales aparecen especímenes de coloración totalmente oscura hasta melánica. Por otra parte, se encontraron caracteres morfológicos intraespecíficos de gran estabilidad, como la forma de los márgenes del pronoto y el número de setas pronotales, especialmente para las poblaciones de las especies del género *Platynus* Bonelli, 1809.

#### 3.2. Examen de genitalias

El complemento de la información pertinente a la morfología de las especies, y la discriminación de las mismas, se realizó a partir del análisis de la morfología del ápice del lóbulo medio del aedeago cuya variación comprende los estados recurvado, simétrico, asimétrico, obtuso, alargado, angosto y/o combinaciones entre ellos, tanto en su vista dorsal como en su vista lateral (Figuras 4 a 11). A pesar del escaso número de especies recolectadas la genitalia del macho presenta algunas tendencias en cuanto a patrones morfológicos dentro de algunos grupos. Las especies de *Blennidus* Motschulsky, 1865, presentan el ápice del lóbulo medio del aedeago asimétrico y agudo en vista dorsal y con tendencia a recurvarse hacia abajo en vista lateral; los ápices del lóbulo medio del aedeago en los especímenes machos de *Platynus* Bonelli, 1809, presentan tendencia a la forma asimétrica y obtusa en vista dorsal y a recurvamiento hacia abajo de todo el cuerpo del lóbulo medio en vista lateral. A continuación se describe el ápice del lóbulo medio del aedeago en machos de ocho especies: *Blennidus bistriatus* Straneo, 1951 y *Blennidus sp.* de la tribu Pterostichini; *Pelmatellus variipes* Bates, 1891, *Selenophorus coracinus* Dejean, 1829 y *Notiobia aulica* Dejean, 1829 de la tribu Harpalini; y *Platynus platynoides* Chaudoir, 1878, *Platynus steinheili* Perrault, 1993 y *Platynus hebeculus* Bates, 1891, de la tribu Platynini.

##### *Blennidus bistriatus* Straneo, 1951

Ápice marcadamente asimétrico y angosto en vista dorsal; en vista lateral, el lóbulo es alargado sin mayores ensanchamientos, y el ápice es agudo y suavemente recurvado hacia abajo.

##### *Blennidus sp.*

Ápice ligeramente asimétrico y grandemente ensanchado en vista dorsal; en vista lateral, el lóbulo es alargado y poco ensanchado, el ápice es agudo y medianamente recurvado hacia abajo.



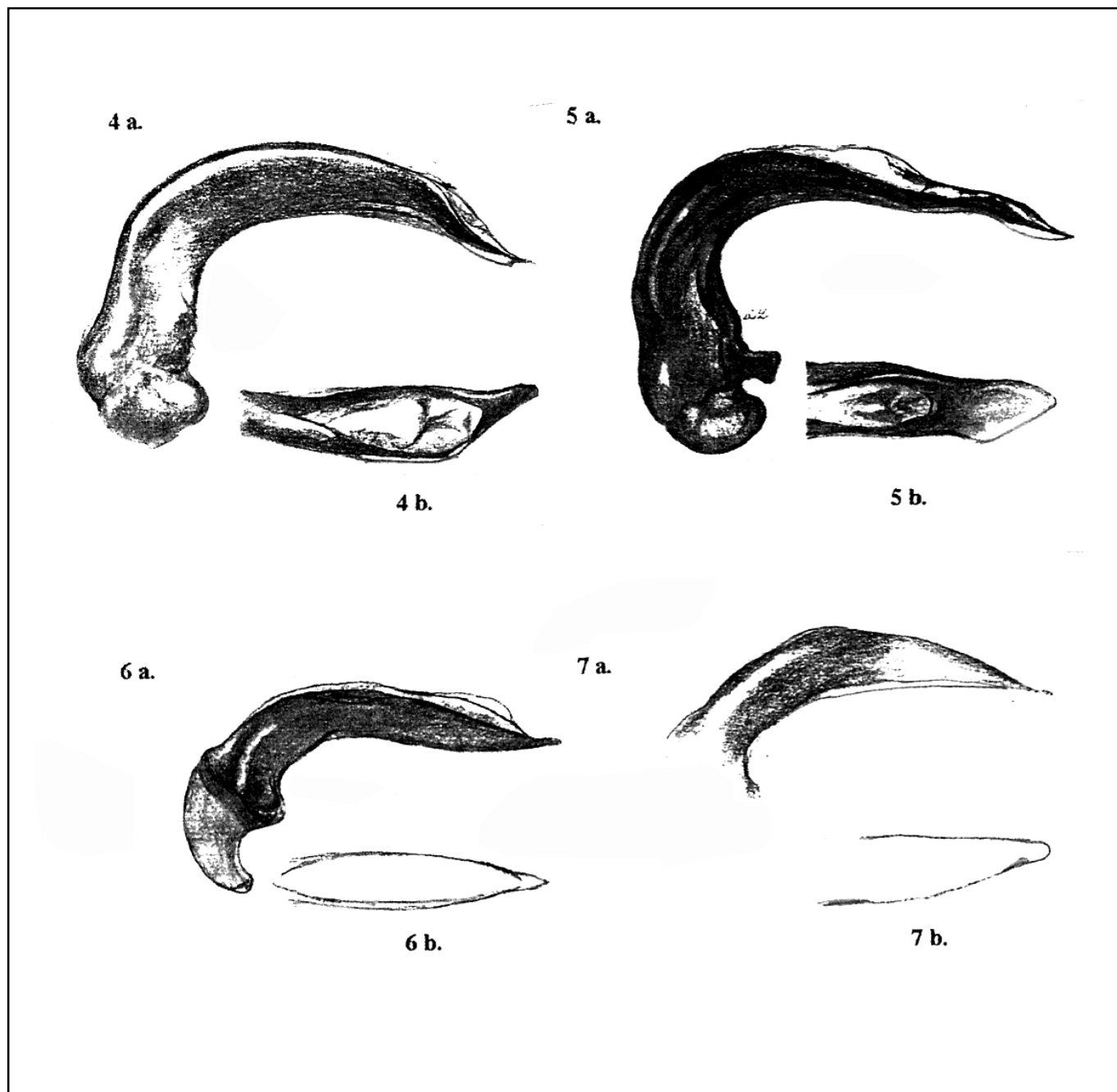


Figura 4-7. Ápice del lóbulo medio del aedeago en 4: *Blennidus bistratus* Straneo, 1951; 5: *Blennidus* sp.; *Pelmatellus variipes* Bates, 1891; 7: *Selenophorus coracinus* Dejean, 1829. a. Vista lateral, b. Vista dorsal.

*Pelmatellus variipes* Bates, 1891

Ápice angosto, simétrico y agudo en vista dorsal; en vista lateral, el lóbulo es corto y medianamente ensanchado hacia el ápice siendo éste último agudo y recto.

*Selenophorus coracinus* Dejean, 1829

Ápice obtuso y asimétrico dorsalmente; en vista lateral, el lóbulo es medianamente alargado y ensanchado hacia la parte media, el ápice es agudo y recto.



**Figura 8-11.** Ápice del lóbulo medio del aedeago en **8:** *Notiobia aulica* Dejean, 1829; **9:** *Platynus platynoides* Chaudoir, 1878; **10:** *Platynus steinheili* Perrault, 1993; **11:** *Platynus hebeculus bates*, 1891. **a.** Vista lateral, **b.** Vista dorsal.

*Notiobia aulica* Dejean, 1829

En vista dorsal, el ápice es ancho, simétrico y obtuso, mientras que en vista lateral, el lóbulo es alargado y ensanchado hacia el ápice; éste es agudo y recurvado hacia abajo.

*Platynus platynoides* Chaudoir, 1878

Ápice obtuso y marcadamente asimétrico en vista dorsal; en vista lateral, el lóbulo es corto, fuertemente recurvado hacia abajo y ensanchado hacia la parte media, el ápice es agudo y fuertemente recurvado hacia abajo.

***Platynus steinheili* Perrault, 1993**

Ápice asimétrico, obtuso y ensanchado en vista dorsal; en vista lateral, el lóbulo es corto, fuertemente recurvado hacia abajo, y ensanchado en su parte media y hacia el ápice; el ápice es agudo y recurvado hacia abajo.

***Platynus hebeculus* Bates, 1891**

En vista dorsal, el ápice es obtuso y asimétrico; en vista lateral, el lóbulo es alargado y ensanchado desde la parte media hasta el ápice; éste es agudo y recurvado hacia abajo.

### 3.3. Clave para los géneros y especies de Carabidae recolectadas en el perfil altitudinal Minca-Cerro Kennedy de la Sierra Nevada de Santa Marta

- 1 Cabeza con dos pares de setas supraorbitales..... 2
- 1'. Cabeza con un par de setas supraorbitales ..... 12.
- 2 (1) Élitros con intervalos carinados y ápice truncado.....*Galerita* Fabricius, 1801  
*Galerita amazonica* Liebke ,1939.
- 2' Élitros sin intervalos carinados y ápice obtuso. 3.
- 3 (2') 4to palpómero maxilar y 3er palpómero labial muy reducidos..... 4.
- 3' 4to palpómero maxilar y 3er palpómero labial de longitud normal ..... 5.
- 4 (3) Élitros con más de una estría en la zona discal .....*Bembidion* Latreille, 1802 *Bembidion sanctaemarthae* Darlington, 1934.
- 4' Élitros con una sola estría en la zona discal *Paratachys* Casey, 1918..... *Paratachys* sp.
- 5 (3') Élitros con microceldas elongadas .....  
..... *Aephnidius* MacLeay, 1825  
*Aephnidius sericatus* Chaudoir, 1846.
- 5' Élitros con microceldas isodiamétricas o transversas ..... 6.
- 6 (5') Élitros con plica preapical ..... *Blennidus* Motschulsky, 1865 ..... 7.
- 6' Élitros sin plica preapical ..... 8.
- 7 (6) Élitros con setas discales .....  
..... *Blennidus bistriatus* Straneo, 1951.
- 7' Élitros sin setas discales ..... *Blennidus* sp.

- 8 (6') Superficie anterior de la tibia frontal surcada longitudinalmente..... *Glyptolenus* Bates, 1878 ... *Glyptolenus chalybeus* Dejean, 1831.
- 8' Superficie anterior de la tibia frontal no surcada..... *Platynus* Bonelli, 1809 ..... 9.
- 9 (8') Pronoto constricto posteriormente .....  
..... *Platynus platynoides* Chaudoir, 1878.
- 9' Pronoto obtuso posteriormente ..... 10.
- 10 (9') Pronoto con más de dos pares de setas laterales .....  
..... *Platynus feronioides* Reiche, 1842.
- 10' Pronoto con dos pares de setas laterales ..... 11.
- 11 (10') Margen lateral del pronoto ensanchada posteriormente ..... *Platynus steinheili* Perrault, 1993.
- 11' Margen lateral del pronoto poco ensanchada posteriormente ..... *Platynus hebeculus* Bates, 1891.
- 12 (1') Microsuturas elitrales no evidentes .....  
*Selenophorus* Dejean, 1829 .....  
..... *Selenophorus coracinus* Dejean, 1829.
- 12' Microsuturas elitrales evidentes..... 13.
- 13 (12') Élitros con microceldas transversas .....  
*Pelmatellus* Bates, 1882 .....  
..... *Pelmatellus variipes* Bates, 1891.
- 13' Élitros con microceldas isodiamétricas.....  
*Notiobia* Perty, 1830 ..... 14.
- 14 (13') Cabeza y pronoto metálicas .....  
..... *Notiobia aulica* Dejean, 1829.
- 14' Cabeza y pronoto no metálicas ..... *Notiobia* sp.

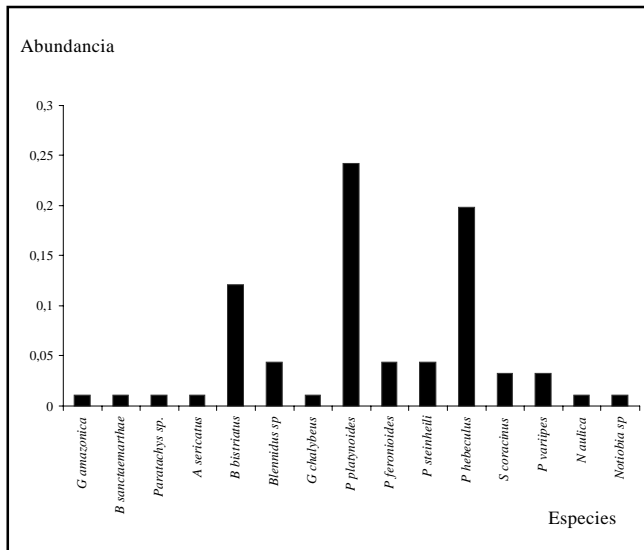
### 3.4. Sinopsis de la fauna recolectada

Dentro de la sinopsis que se presenta a continuación, se proporciona información pertinente a la morfología, abundancia (Figura 12) y distribución (Figura 13) de las especies, al igual que el tipo de ecosistema y el método de muestreo utilizado para su recolección.

#### TRIBU BEMBIDINI

##### *Paratachys* sp.

Diagnosis: 3.5 mm de longitud, coloración corporal amarillo verdoso; cabeza: 0.3 mm de largo y 0.2 mm de ancho, antenas amarillas, 2 pares de setas supraorbitales, 4to segmento maxilar y 3er segmento labial reducidos; tórax: 0.4 mm de largo y 0.3 mm de ancho, pronoto liso,



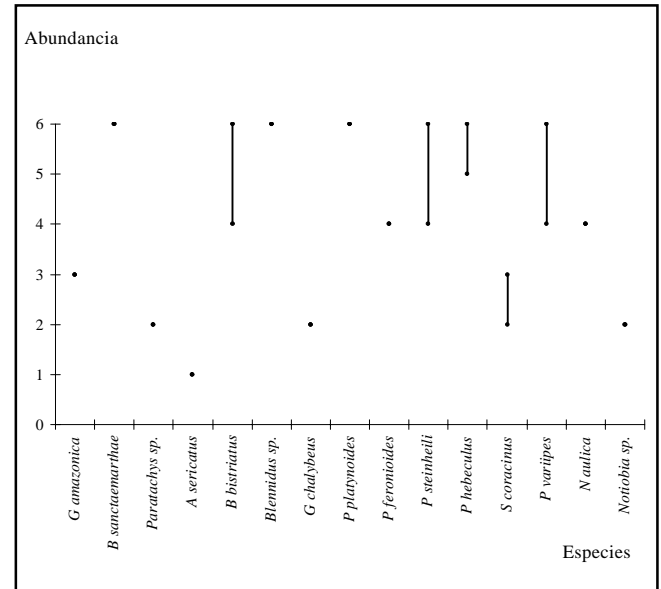
**Figura 12.** Abundancia relativa de las poblaciones de *Carabidae* en el perfil altitudinal Minca- Cerro Kennedy.

convexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 2.5 mm de largo y 2.1 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0868, 0869. CUNDINAMARCA: 1, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0836; 55, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0942, 0943, 0944, 0945, 0946, 0947, 0948, 0949, 0964, 0965, 0966, 0967, 0968, 0969, 0970, 0955, 0956, 0957, 0958, 0941, 0702, 0704, 0705, 0706, 0707, 0709, 0710, 0711, 0712, 0713, 0714, 0715, 0716, 0717, 0718, 0719, 0720, 0721, 0722, 0723, 0724, 0725, 0726, 0727, 0728, 0729, 0730, 0731, 0732, 0733, 0734, 0735, 0737, 0738, 0739; 11, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0757, 0781, 0780, 0779, 0778, 0777, 0767, 0768, 0769, 0770, 0771. MAGDALENA: 1, Minca, La Victoria, 1097 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1138. VAUPÉS: 1, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0901.

**Distribución:** Recolectada exclusivamente en cafetales de la estación María Teresa a 790 m.

**Comentarios:** Especie indeterminada (ya que la taxonomía del género no se encuentra bien establecida), debido a la diversidad de sus cerca de 300 especies neotropicales, muchas de ellas no descritas. La especie presentó densidades poblacionales bajas y se recolectó mediante el empleo de trampas pitfall.



**Figura 13.** Distribución altitudinal de las especies de carábidos recolectadas en el perfil Minca- Cerro Kennedy. 1: Minca, 2: María Teresa, 3: La Victoria, 4: Betoma, 5: San Lorenzo, 6: Cerro Kennedy.

#### *Bembidion sanctaemarthae* Darlington, 1934

**Diagnosis:** 5.5 mm de longitud, coloración corporal negra; cabeza: 0.5 mm de largo y 0.3 mm de ancho, antenas negras, 2 pares de setas supraorbitales, 4to segmento maxilar y 3er segmento labial reducidos; tórax: 0.9 mm de largo y 1.2 mm de ancho, pronoto rugoso y convexo; abdomen: élitros de 4.5 mm de largo y 3.9 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0868, 0869; 2, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0916, 0917. CAQUETÁ: 1, Guayabal, 200 m, febrero-1996, *E. Camero-R.*, CPECR 0942. CUNDINAMARCA: 2, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0720, 0725; 8, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0767, 0768, 0769, 0770, 0771, 0773, 0775, 0777; 2, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3200 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0836, 0837. MAGDALENA: 1, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1142. QUINDÍO: 1, Salento, 1985 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0851. VAUPÉS: 18, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0894, 0896, 0897, 0898, 0899, 0904, 0905, 0906, 0886, 0887, 0888, 0889, 0890, 0891, 0894, 0895, 0896.

**Distribución:** Recolectada solo en la estación Cerro Kennedy a 2620 m.

**Comentarios:** Primer espécimen recolectado luego de la descripción de la especie en 1934; hace parte de las especies endémicas de la parte alta del perfil. La especie presentó densidades poblacionales bajas y fue recogida en forma manual bajo troncos.

#### TRIBU HARPALINI

##### *Pelmatellus varipes* Bates, 1891

**Diagnosis:** 7.0 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 1.0 mm de largo y 1.1 mm de ancho, antenas café claro, un par de setas supraorbitales; tórax: 2.1 mm de largo y 2.1 mm de ancho, pronoto convexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 4.9 mm de largo y 3.9 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y microceldas transversas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** AMAZONAS: 2, Araracuara, julio-1977, SMD, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO753, CO640. ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0913, 0914. BOYACÁ: 3, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1011, 1013, 1014; 8, Duitama, 3870 m, junio-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO762, CO783, CO785, CO774, CO782, CO761, CO772, CO758; 3, Gachantivá, enero-1978, SMD, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO821, CO816, CO750; 1, Pajarito, 2000 m, marzo-1980, *C. Gamboa*, ICN-MHN CO769. CALDAS: 12, Letras, 3400 m, agosto-1979, *J. Morales*, ICN-MHN CO952, CO620, CO938, CO942, CO941, CO949, CO948, CO947, CO954, CO959, CO957, CO958. CUNDINAMARCA: 23, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815, 1002, 1003, 1004, 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0772, 0774; 11, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0840, 0841, 0842, 0843, 0844, 0845, 0846, 0847, 0848; 28, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0937, 0939, 0940, 0932, 0933, 0934, 0950, 0951, 0952, 0953, 0954, 0959, 0960, 0961, 0962, 0740, 0741, 0742; 1, Chipaque, 2900 m, mayo-1979, *A. Prieto*, ICN-MHN CO776; 2, San Miguel, 1740 m, julio-1979, SMD, ICN-MHN CO754, CO751; 1, Bogotá, 2620 m, febrero-1968, *C. Gómez*, ICN-MHN CO960; 1, Tocaima, octubre-1970, SMD, *E. Forero*, ICN-MHN CO935; 2, San Miguel, 2630 m, diciembre-1979, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO662, CO751; 1, Sasaima, 1800 m, septiembre-1969, *R. Jaramillo*, ICN-MHN CO936. MAGDALENA: 2, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1140, 1141; 1, Minca, Betoma, 2149 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1147. META: 1, Villavivencio, 467 m, septiembre-1976, *M León*, ICN-MHN

CO735; 3, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO757, CO844, CO835; 1, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *M. Carvajal*, ICN-MHN CO778; 3, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO832, CO810, CO790. QUINDÍO: 1, Salento, 1895 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0851. SANTANDER: 1, Charalá, Virolín, 1700 m, julio-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO775. VICHADA: 1, Santa Rita, 90 m, julio-1976, *M. Rodríguez*, ICN-MHN CO859. VAUPÉS: 10, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0900, 0902, 0903, 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0892, 0893.

**Distribución:** Especie de zonas altas con amplia distribución, recolectada en bosques desde los 2149 m hasta los 2620 m.

**Comentarios:** La especie presentó densidades poblacionales bajas y se recolectó mediante trampas pitfall y captura manual bajo troncos.

##### *Notiobia aulica* Dejean, 1829

**Diagnosis:** 12.9 mm de longitud, coloración corporal verde brillante; cabeza: 2.1 mm de largo y 3.1 mm de ancho, antenas café claro, un par de setas supraorbitales; tórax: 2.8 mm de largo y 4.0 mm de ancho, pronoto poco convexo y con sutura longitudinal visible; abdomen: élitros de 9.0 mm de largo y 6.1 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y microceldas isodiamétricas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** ARAUCA: 4, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0925, 0926, 0927, 0928; 2, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0870, 0871; 1, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0879. BOYACÁ: 3, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1005, 1006, 1007; 1, Pajarito, 1600 m, mayo-1981, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO797. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1018. CESAR: 1, Valledupar, julio-1982, SMD, *W. Álvarez*, ICN-MHN CO840. CUNDINAMARCA: 4, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0833, 0834, 0835, 0847; 5, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0933, 0934, 0950, 0951, 0952; 41, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, *M. Zerda*, CPECR 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791, 0824, 0825, 0826, 0827, 0828, 0829, 0830, 0831, 0782, 0783, 0784, 0785, 0798, 0799, 0800, 0801, 0802, 0803, 0804, 0805, 0806, 0821, 0822, 0823, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0792, 0796, 0794, 0795, 0796, 0797. MAGDALENA: 1, Betoma, 2149 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1083. QUINDÍO: 1, Salento, 1985 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0850. TOLIMA: 3, Armero, julio-1971,

SMD, *C. Díaz*, ICN-MHN CO978, CO979, CO977; 2, Nilo, julio-1972, SMD, *G. Hurtado*, ICN-MHN CO980, CO976; 1, Armero, mayo-1972, SMD, *J. Rojas*, ICN-MHN CO975; 1, Melgar, 323 m, mayo-1976, *M. León*, ICN-MHN CO1010.

**Distribución:** Especie de zonas altas con distribución restringida, recolectada sólo en áreas de bosque de la estación Betoma a 2149 m.

**Comentarios:** Especie con densidades poblacionales bajas. Fue capturada mediante trampas pitfall.

*Notiobia* sp.

**Diagnosis:** 12.1 mm de longitud, coloración corporal negro mate; cabeza: 2.2 mm de largo y 2.5 mm de ancho, antenas negras, un par de setas supraorbitales; tórax: 3.0 mm de largo y 4.0 mm de ancho, pronoto convexo y emarginado lateralmente; abdomen: élitros de 8.9 mm de largo y 6.9 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y microceldas isodiamétricas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 6, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0925, 0926, 0927, 0928, 0870, 0871; 1, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0879. BOYACÁ: 3, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1005, 1006, 1007. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1018. CESAR: 1, Valledupar, julio-1982, SMD, *W. Álvarez*, ICN-MHN CO840. CUNDINAMARCA: 4, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0833, 0834, 0835, 0847; 41, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, *M. Zerda*, CPECR 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791, 0824, 0825, 0826, 0827, 0828, 0829, 0830, 0831, 0782, 0783, 0784, 0785, 0798, 0799, 0800, 0801, 0802, 0803, 0804, 0805, 0806, 0821, 0822, 0823, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0792, 0796, 0794, 0795, 0796, 0797; 5, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0933, 0934, 0950, 0951, 0952. MAGDALENA: 1, La Victoria, 1097 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1137. QUINDÍO: 1, Salento, 1985 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0850. TOLIMA: 3, Armero, julio-1971, SMD, *C. Díaz*, ICN-MHN CO978, CO979, CO977; 2, Nilo, julio-1972, SMD, *G. Hurtado*, ICN-MHN CO980, CO976; 1, Armero, mayo-1972, SMD, *J. Rojas*, ICN-MHN CO975; 1, Melgar, 323 m, mayo-1976, *M. León*, ICN-MHN CO1010.

**Distribución:** Especie de zonas bajas de distribución restringida, en cafetales de la estación María Teresa a 790 m.

**Comentarios:** La especie presentó densidades poblacionales bajas. Se capturó mediante trampas pitfall.

*Selenophorus coracinus* Dejean, 1829

**Diagnosis:** 5.9 mm de longitud, coloración corporal negro brillante y patas amarillas; cabeza: 0.7 mm de largo y 1.1 mm de ancho, antenas amarillas, un par de setas supraorbitales; tórax: 1.2 mm de largo y 2.2 mm de ancho, pronoto convexo, brillante y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 4.5 mm de largo y 2.8 mm de ancho y con estrías escutelares poco conspicuas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: AMAZONAS: 2, Araracuara, julio-1977, SMD, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO753, CO640. ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0913, 0914. BOYACÁ: 3, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1011, 1013, 1014; 8, Duitama, 3870 m, junio-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO762, CO783, CO785, CO774, CO782, CO761, CO772, CO758; 3, Gachantivá, enero-1978, SMD, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO821, CO816, CO750; 1, Pajarito, 2000 m, marzo-1980, *C. Gamboa*, ICN-MHN CO769. CALDAS: 12, Letras, 3400 m, agosto-1979, *J. Morales*, ICN-MHN CO952, CO620, CO938, CO942, CO941, CO949, CO948, CO947, CO954, CO959, CO957, CO958. CUNDINAMARCA: 2, San Miguel, 1740 m, julio-1979, SMD, ICN-MHN CO754, CO751; 1, Chipaque, 2900 m, mayo-1979, *A. Prieto*, ICN-MHN CO776; 1, Bogotá, 2620 m, febrero-1968, *C. Gómez*, ICN-MHN CO960; 1, Tocaima, octubre-1970, SMD, *E. Forero*, ICN-MHN CO935; 2, San Miguel, 2630 m, diciembre-1979, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO662, CO751; 1, Sasaima, 1800 m, septiembre-1969, *R. Jaramillo*, ICN-MHN CO936; 23, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815, 1002, 1003, 1004, 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0772, 0774; 11, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0840, 0841, 0842, 0843, 0844, 0845, 0846, 0847, 0848; 28, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0937, 0939, 0940, 0932, 0933, 0934, 0950, 0951, 0952, 0953, 0954, 0959, 0960, 0961, 0962, 0740, 0741, 0742. MAGDALENA: 2, Minca, La Victoria, 1097 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1132, 1133. META: 3, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO757, CO844, CO835; 1, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *M. Carvajal*, ICN-MHN CO778; 3, Puerto López, 300 m, mayo-1984, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO832, CO810, CO790; 1, Villavivencio, 467 m, septiembre-1976, *M. León*, ICN-MHN CO735. QUINDÍO: 1, Salento, 1895 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0851. SANTANDER: 1, Charalá, Virolín, 1700 m, julio-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO775. VICHADA: 1, Santa Rita, 90 m, julio-1976,

*M. Rodríguez*, ICN-MHN CO859. VAUPÉS: 10, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0900, 0902, 0903, 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0892, 0893.

**Distribución:** Especie de zonas bajas con distribución media, recolectada en bosques entre los 790 m y 1097 m.

**Comentarios:** Muestra densidades poblacionales bajas. Se capturó mediante trampas pitfall.

#### TRIBU PTEROSTICHINI

*Blennidus bistriatus* Straneo, 1951

**Diagnosis:** 14.5 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 2.1 mm de largo y 3.2 mm de ancho, antenas café claro, dos pares de setas supraorbitales; tórax: 3.5 mm de largo y 4.9 mm de ancho, pronoto liso, poco convexo y con sutura longitudinal visible; abdomen: élitros de 8.5 mm de largo y 5.3 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas, plica preapical, ápice obtuso y setas discuales, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 8, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0872, 0873, 0913, 0914, 0925, 0926, 0927, 0928. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1018. CUNDINAMARCA: 41, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0782, 0783, 0784, 0785, 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791, 0792, 0793, 0794, 0795, 0796, 0797, 0798, 0799, 0800, 0801, 0802, 0803, 0804, 0805, 0806, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0821, 0822, 0823, 0824, 0825, 0826, 0827, 0828, 0829, 0830, 0831; 9, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815; 1, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0847; 1, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0938. MAGDALENA: 1, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1057; 1, Minca, San Lorenzo, 2280 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1080; 4, Minca, Betoma, 2149 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1082, 1084, 1086, 1087; 3, Minca, San Lorenzo, 2280 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1105, 1106, 1109; 2, Minca, Betoma, 2149 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1110, 1111.

**Distribución:** Amplia distribución en los bosques de tres estaciones en la zona alta del perfil, desde 2149 m hasta 2620 m.

**Comentarios:** Las densidades poblacionales disminuyen gradualmente a medida que se asciende en el perfil. Fue capturada mediante trampas pitfall.

*Blennidus sp.*

**Diagnosis:** 8.2 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 1.5 mm de largo y 0.9 mm de ancho, antenas amarillas, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 2.1 mm de largo y 3.1 mm de ancho, pronoto liso, convexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 4.9 mm de largo y 3.3 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas, ápice obtuso y plica preapical, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 10, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0872, 0873, 0877, 0878, 0913, 0914, 0925, 0926, 0927, 0928. BOYACÁ: 5, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1011, 1012, 1013, 1014, 1016. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1019. CUNDINAMARCA: 2, Choachí, Páramo de Cruz Verde, 3200 m, noviembre-1992, *E. Camero-R.*, CPECR 0180, 0184; 9, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0740, 0741, 0742, 0743, 0744, 0745, 0746, 0747, 0748; 57, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0792, 0793, 0776, 0794, 0795, 0796, 0797, 0798, 0799, 0800, 0801, 0802, 0803, 0804, 0805, 0806, 0821, 0822, 0823, 0824, 0825, 0826, 0827, 0828, 0829, 0830, 0831, 0782, 0783, 0784, 0785, 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791; 11, Fómeque, Páramo de Chingaza; 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0840, 0841, 0842, 0843, 0844, 0845, 0846, 0847, 0848; 9, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0937, 0938, 0939, 0940, 0959, 0960, 0961, 0962. MAGDALENA: 1, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1055; 3, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1093, 1100, 1101. VAUPÉS: 7, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0885, 0900.

**Distribución:** Restringida a bosques de la estación Cerro Kennedy a 2620 m.

**Comentarios:** Especie con densidades poblacionales bajas. Se capturó mediante el empleo de trampas pitfall.

#### TRIBU PLATYNINI

*Platynus platynoides* Chaudoir, 1878

**Diagnosis:** 8.0 mm de longitud, coloración corporal café claro; cabeza: 1.0 mm de largo y 1.3 mm de ancho, antenas amarillas, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 1.1 mm de largo y 1.9 mm de ancho, pronoto liso, con-

vexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 5.2 mm de largo y 3.1 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores reducidas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0913, 0914. BOYACÁ: 3, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1011, 1013, 1014; 15, Pajarito, noviembre-1981, SMD, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO742, CO740, CO733, CO766, CO815, CO796, CO786, CO794, CO795, CO805, CO807, CO798, CO788, CO808, CO819; 2, Pajarito, 2000 m, octubre-1980, *C. Gamboa*, ICN-MHN CO741, CO759; 1, Pajarito, 1600 m, octubre-1979, *C. Hernández*, ICN-MHN CO813. CALDAS: 1, Letras, abril-1970, SMD, *L. Aristide*, ICN-MHN CO964. CUNDINAMARCA: 1, Chipaque, 2900 m, abril-1979, *J. Castillo*, ICN-MHN CO747; 1, Usme, Páramo de Chisacá, 1970, SMD, *R. Amparo*, ICN-MHN CO998; 1, Choachí, 1970, SMD, *L. Aristide*, ICN-MHN CO943; 28, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0937, 0939, 0940, 0932, 0933, 0934, 0950, 0951, 0952, 0953, 0954, 0959, 0960, 0961, 0962, 0740, 0741, 0742; 23, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815, 1002, 1003, 1004, 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0772, 0774; 11, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0840, 0841, 0842, 0843, 0844, 0845, 0846, 0847, 0848; 1, Bogotá, 2620 m, marzo-1968, *C. Gómez*, ICN-MHN CO624; 1, Fusagasugá, agosto-1974, SMD, *O. Rangel*, ICN-MHN CO785; 2, Sisga, 1968, SMD, *G. Aguirre*, ICN-MHN CO610, CO619. CUNDINAMARCA: 1, Villeta, noviembre-1976, SMD, *G. Figueroa*, ICN-MHN CO993; 2, Choachí, Páramo de Cruz Verde, 3300 m, marzo-1970, *L. Aristide*, ICN-MHN CO593, CO596. MAGDALENA: 16, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1052, 1053, 1054, 1056, 1058, 1059, 1062, 1063, 1064, 1065, 1067, 1068, 1070, 1071, 1072, 1073; 6, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1090, 1091, 1094, 1095, 1097, 1098. META: 1, Restrepo, 1976, SMD, *J. Herrera*, ICN-MHN CO997. QUINDÍO: 1, Salento, 1895 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0851. SANTANDER: 3, Gambita, 2200 m, diciembre-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO744, CO739, CO833. TOLIMA: 2, Armero, 1972, SMD, *J. Rojas*, ICN-MHN CO987, CO989; 1, Chaparral, 1979, SMD, *G. Martínez*, ICN-MHN CO965; 1, Cunday, 475 m, marzo-1976, *G. Rodríguez*, ICN-MHN CO641. VAUPÉS: 10, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0900, 0902, 0903, 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0892, 0893.

**Distribución:** Restringida solo a la parte alta del perfil en la estación Cerro Kennedy a 2620 m.

**Comentarios:** Especie con alta densidad poblacional en el perfil. Fue capturada mediante trampas pitfall.

*Platynus feronioides* Reiche, 1842

**Diagnosis:** 16.9 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 2.9 mm de largo y 2.5 mm de ancho, antenas negras, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 5.1 mm de largo y 5.1 mm de ancho, pronoto liso, poco convexo y con sutura longitudinal visible; abdomen: élitros de 10.0 mm de largo y 6.2 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores reducidas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 1, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0879. BOYACÁ: 5, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1006, 1007, 1008, 1009, 1010. CALDAS: 49, Letras, 3700 m, 1970, *J. Morales*, ICN-MHN CO961, CO974, CO999, CO955, CO939, CO968, CO631, CO595, CO602, CO592, CO600, CO598, CO589, CO594, CO603, CO608, CO607, CO588, CO597, CO615, CO611, CO604, CO606, CO612, CO628, CO629, CO621, CO625, CO617, CO605, CO634, CO627, CO623, CO630, CO633, CO613, CO614, CO632, CO590, CO635, CO618, CO636, CO637, CO638, CO601, CO626, CO622, CO639, CO599. CUNDINAMARCA: 2, Choachí, Páramo de Cruz Verde, 3300 m, noviembre-1992, *E. Camero-R.*, CPECR 0180, 0183; 1, Bogotá, 2620 m, diciembre-1993, *E. Camero-R.*, CPECR 0596; 6, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0933, 0934, 0950, 0951, 0952, 0953; 1, Villeta, mayo-1968, SMD, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO963; 1, Facatativá, enero-1965, SMD, *G. Chávez*, ICN-MHN CO811; 2, Mosquera, 1968, *F. Núñez*, ICN-MHN CO918, CO990; 1, Bogotá, 2620 m, 1968, *P. Witch*, ICN-MHN CO970; 1, Bogotá, 2620 m, 1976, *S. Zuluaga*, ICN-MHN CO994; 80, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815, 0992, 0993, 0994, 0995, 0996, 0997, 0998, 0999, 1000, 1001, 0971, 0972, 0973, 0974, 0975, 0976, 0977, 0978, 0979, 0980, 0981, 0982, 0983, 0984, 0985, 0986, 0987, 0988, 0989, 0990, 0991, 0786, 0787, 0788, 0789, 0790, 0791, 0824, 0825, 0826, 0827, 0828, 0829, 0830, 0831, 0782, 0783, 0784, 0785, 0798, 0799, 0800, 0801, 0802, 0803, 0804, 0805, 0806, 0821, 0822, 0823, 0816, 0817, 0818, 0819, 0820, 0793, 0794, 0795, 0796, 0797. MAGDALENA: 3, Minca, Betoma, 2149 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1085, 1112, 1115; 1, Minca, Betoma, 2149 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1145. META: 1, Restrepo, mayo-1976, SMD, *J. Herrera*, ICN-



MHN CO995. SANTANDER: 1, Vélez, 1970, SMD, *H. Palma*, ICN-MHN CO917; 1, Gámbita, 2600 m, 1983, *R. Sánchez*, ICN-MHN CO847. QUINDÍO: 1, Salento, 1895 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0850. VAUPÉS: 9, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0892, 0893, 0902, 0903.

**Distribución:** Restringida a los bosques de la estación Betoma a 2149 m.

**Abundancia:** Densidades poblacionales altas.

**Comentarios:** Se capturó mediante trampas pitfall y en forma manual bajo troncos.

*Platynus steinheili* Perrault, 1993

**Diagnosis:** 11.1 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 1.9 mm de largo y 1.7 mm de ancho, antenas negras, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 2.5 mm de largo y 3.5 mm de ancho, pronoto liso, poco convexo y con sutura longitudinal visible; abdomen: élitros de 6.9 mm de largo y 4.8 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores reducidas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 2, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0877, 0878. BOYACÁ: 4, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1013, 1014, 1015, 1016. CALDAS: 49, Letras, 3700 m, 1970, *J. Morales*, ICN-MHN CO961, CO974, CO999, CO955, CO939, CO968, CO631, CO595, CO602, CO592, CO600, CO598, CO589, CO594, CO603, CO608, CO607, CO588, CO597, CO615, CO611, CO604, CO606, CO612, CO628, CO629, CO621, CO625, CO617, CO605, CO634, CO627, CO623, CO630, CO633, CO613, CO614, CO632, CO590, CO635, CO618, CO636, CO637, CO638, CO601, CO626, CO622, CO639, CO599. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1019. CUNDINAMARCA: 1, Villeta, mayo-1968, SMD, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO963; 1, Facatativá, enero-1965, SMD, *G. Chávez*, ICN-MHN CO811; 2, Mosquera, 1968, *F. Núñez*, ICN-MHN CO918, CO990; 1, Bogotá, 2620 m, 1968, *P. Witch*, ICN-MHN CO970; 1, Bogotá, 2620 m, 1976, *S. Zuluaga*, ICN-MHN CO994; 10, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0840, 0841, 0842, 0843, 0844, 0845, 0846, 0847, 0848; 22, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0936, 0937, 0938, 0939, 0940, 0953, 0959, 0960, 0961, 0740, 0741, 0742, 0743, 0744, 0745, 0746, 0747, 0748, 0749, 0750, 0751; 16, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0776, 0999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004. MAG-

DALENA: 2, Minca, San Lorenzo, 2280 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1077, 1143; 1, Minca, Betoma, 2149 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1114. META: 1, Restrepo, mayo-1976, SMD, *J. Herrera*, ICN-MHN CO995. SANTANDER: 1, Vélez, 1970, SMD, *H. Palma*, ICN-MHN CO917; 1, Gámbita, 2600 m, 1983, *R. Sánchez*, ICN-MHN CO847. VAUPÉS: 4, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0880, 0881, 0882, 0883.

**Distribución:** Amplia en bosques de la zona alta del perfil desde 2149 m hasta 2620 m.

**Comentarios:** Especie de densidades poblacionales bajas. Fue capturada mediante trampas pitfall y en forma manual bajo troncos.

*Glyptolenus chalybeus* Dejean, 1831

**Diagnosis:** 7.2 mm de longitud, coloración corporal negro brillante; cabeza: 0.9 mm de largo y 1.1 mm de ancho, antenas amarillas a partir del 5to segmento, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 1.2 mm de largo y 2.2 mm de ancho, pronoto liso y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 4.9 mm de largo y 3.9 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 1, Arauca, 300 m, enero-1993, *E. Camero-R.*, CPECR 0492; 1, Arauca, 300 m, 1992, *C. Chamorro*, CPECR 0915. BOYACÁ: 4, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, leg. CPECR 1013, 1014, 1015, 1016; 15, Pajarito, noviembre-1981, SMD, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO742, CO740, CO733, CO766, CO815, CO796, CO786, CO794, CO795, CO805, CO807, CO798, CO788, CO808, CO819; 2, Pajarito, 2000 m, octubre-1980, *C. Gamboa*, ICN-MHN CO741, CO759; 1, Pajarito, 1600 m, octubre-1979, *C. Hernández*, ICN-MHN CO813. CALDAS: 1, Letras, abril-1970, SMD, *L. Aristide*, ICN-MHN CO964. CAUCA: 2, San Agustín, Ver. Puerto Quinchana, 1740 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 0818, 0919; 3, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 0919, 0921, 0924. CUNDINAMARCA: 16, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0935, 0937, 0938, 0939, 0940, 0954, 0959, 0960, 0741, 0742, 0743, 0744, 0745, 0746, 0747, 0748; 10, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0776; 1, Chipaque, 2900 m, abril-1979, *J. Castillo*, ICN-MHN CO747; 1, Bogotá, 2620 m, marzo 1968, *C. Gómez*, ICN-MHN CO624; 1, Fusagasugá, agosto-1974, SMD, *O. Rangel*, ICN-MHN CO785; 2, Sisga, 1968, SMD, *G. Aguirre*, ICN-MHN CO610, CO619;

CUNDINAMARCA: 1, Villeta, noviembre-1976, SMD, *G. Figueroa*, ICN-MHN CO993; 2, Choachí, Páramo de Cruz Verde, 3300 m, marzo-1970, *L. Aristide*, ICN-MHN CO593, CO596; 1, Usme, Páramo de Chisacá, 1970, SMD, *R. Amparo*, ICN-MHN CO998; 1, Choachí, 1970, SMD, *L. Aristide*, ICN-MHN CO943; 7, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0838, 0839, 0843, 0844, 0845, 0846, 0848. META: 1, Restrepo, 1976, SMD, *J. Herrera*, ICN-MHN CO997. MAGDALENA: 1, Minca, La Victoria, 1097 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1136. SANTANDER: 3, Gámbita, 2200 m, diciembre-1978, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO744, CO739, CO833. TOLIMA: 2, Armero, 1972, SMD, *J. Rojas*, ICN-MHN CO987, CO989; 1, Chaparral, 1979, SMD, *G. Martínez*, ICN-MHN CO965; 1, Cunday, 475 m, marzo-1976, *G. Rodríguez*, ICN-MHN CO641. VAUPES: 6, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0886, 0887, 0888, 0889, 0890, 0891.

**Distribución:** Restringida sólo a cafetales en la estación María Teresa a 790 m.

**Comentarios:** Especie con abundancia baja. Fue capturada mediante trampas pitfall.

### 3.5. Primeros registros de especies para Colombia

#### TRIBU MASOREINI

##### *Aephnidius sericatus* Chaudoir, 1846

**Diagnosis:** 6.5 mm de longitud, coloración corporal café claro; cabeza: 0.9 mm de largo y 0.8 mm de ancho, antenas café oscuro, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 1.3 mm de largo y 2.1 mm de ancho, pronoto rugoso, convexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 3.8 mm de largo y 2.9 mm de ancho, con estrías escutelares poco conspicuas, ápice obtuso y microceldas elongadas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 4, Arauca, 300 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0868, 0869, 0929, 0930. BOYACÁ: 1, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1015. CUNDINAMARCA: 6, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0768, 0769, 0770, 0771, 0773, 0775; 56, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0942, 0943, 0944, 0945, 0946, 0947, 0948, 0949, 0963, 0964, 0965, 0966, 0967, 0968, 0969, 0970, 0955, 0956, 0957, 0958, 0941, 0702, 0703, 0704, 0705, 0706, 0707, 0708, 0709, 0710, 0711, 0712, 0713, 0714, 0715, 0716, 0717, 0718, 0719, 0720, 0721, 0722, 0723, 0724, 0725, 0726, 0727, 0728, 0729, 0730, 0731, 0732, 0733, 0734, 0735, 0736; 2, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*,

CPECR 0836, 0837. CAUCA: 2, San Agustín, Ver. Puerto Quinchana, 1740 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 0918, 0919; 1, San Agustín, Ver. El Canelo, 2120 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 0921. MAGDALENA: 1, Minca, 700 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1113. QUINDÍO: 1, Salento, 1985 m, 1990, *C. Chamorro*, CPECR 0851. VAUPÉS: 9, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0891, 0894, 0896, 0897, 0898, 0899, 0904, 0905, 0906.

**Distribución:** Restringida a los bosques de la estación Minca a 700 m.

**Comentarios:** Especie con bajas densidades poblacionales. Fue capturada mediante trampas pitfall.

#### TRIBU GALERITINI

##### *Galerita amazonica* Liebke, 1939

**Diagnosis:** 19 mm de longitud, coloración corporal negra; cabeza: 1.1 mm de largo y 0.8 mm de ancho, antenas café a partir del 5to segmento, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 1.1 mm de largo y 1.1 mm de ancho, pronoto rugoso, poco convexo y con sutura longitudinal visible; abdomen: élitros de 15.9 mm de largo y 2.0 mm de ancho y con estrías escutelares conspicuas, alas posteriores bien desarrolladas.

**Material examinado:** COLOMBIA: ARAUCA: 1, Arauca, Cravo Norte, 100 m, agosto-1976, *F. Ortiz*, ICN-MHN CO533. BOYACÁ: 2, Pajarito, 2000 m, 1980, *J. Clavijo*, ICN-MHN CO730, CO732; 1, Pajarito, 2000 m, 1981, *I. Arévalo*, ICN-MHN CO806. CASANARE: 2, Maní, El Burro, 220 m, marzo-1986, *J. Clavijo*, ICN-MHN CO729, CO731. CUNDINAMARCA: 1, Medina, 520 m, septiembre-1986, Est. Sistemática avanzada, ICN-MHN CO789. MAGDALENA: 1, Minca, La Victoria, 1097 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1088. META: 1, Restrepo, 55 m, mayo-1976, *M. Rodríguez*, ICN-MHN CO1000; 1, Puerto Gaitán, junio-1977, SMD, *A. Jiménez*, ICN-MHN CO1003; 2, Macarena, marzo-1956, SMD, *L. Richter*, ICN-MHN CO545, CO546. VICHADA: 1, Gaviotas, 167 m, mayo-1979, *R. Cortez*, ICN-MHN CO824

**Distribución:** Recolectada sólo en la estación La Victoria a 1097 m.

**Comentarios:** El registro de la distribución se limita a la región amazónica del continente, especialmente en Brasil y Argentina. En las colecciones del perfil presentó bajas densidades poblacionales; se capturó mediante trampas pitfall.

## TRIBU PLATYNINI

*Platynus hebeculus* Bates, 1891

**Diagnosis:** 12.9 mm de longitud, coloración corporal café claro; cabeza: 1.9 mm de largo y 2.1 mm de ancho, antenas amarillas, 2 pares de setas supraorbitales; tórax: 4.1 mm de largo y 3.0 mm de ancho, pronoto poco convexo y con sutura longitudinal poco visible; abdomen: élitros de 8.1 mm de largo y 4.9 mm de ancho, con estrías escutelares conspicuas y ápice obtuso, alas posteriores reducidas.

**Material examinado:** COLOMBIA: BOYACÁ: 4, Arcabuco, Páramo de Iguaque, 3200 m, 1993, *C. Chamorro*, CPECR 1013, 1014, 1015, 1016. CALDAS: 49, Letras, 3700 m, 1970, *J. Morales*, ICN-MHN CO961, CO974, CO999, CO955, CO939, CO968, CO631, CO595, CO602, CO592, CO600, CO598, CO589, CO594, CO603, CO608, CO607, CO588, CO597, CO615, CO611, CO604, CO606, CO612, CO628, CO629, CO621, CO625, CO617, CO605, CO634, CO627, CO623, CO630, CO633, CO613, CO614, CO632, CO590, CO635, CO618, CO636, CO637, CO638, CO601, CO626, CO622, CO639, CO599. CAUCA: 1, San Agustín, Ver. Puerto Quinchana, 1740 m, noviembre-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1019. CUNDINAMARCA: 33, Usme, Páramo de Chisacá, 3200 m, 1988, *M. Zerda*, CPECR 0807, 0808, 0809, 0810, 0811, 0812, 0813, 0814, 0815, 0776, 0758, 0759, 0760, 0761, 0762, 0763, 0764, 0765, 0766, 0772, 0992, 0993, 0994, 0995, 0996, 0997, 0998, 0999, 1000, 1001, 1002, 1003, 1004; 3, Fómeque, Páramo de Chingaza, 3500 m, 1989, *J. Infante*, CPECR 0833, 0834, 0835; 26, Bogotá, 2620 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0932, 0951, 0952, 0953, 0954, 0959, 0960, 0961, 0962, 0935, 0937, 0938, 0939, 0940, 0741, 0742, 0743, 0744, 0745, 0746, 0747, 0748, 0749, 0750, 0751; 2, Choachí, Páramo de Cruz Verde, 3300 m, noviembre-1992, *E. Camero-R.*, CPECR 0180, 0184; 1, Villeta, mayo-1968, SMD, *R. Restrepo*, ICN-MHN CO963; 1, Facatativá, enero-1965, SMD, *G. Chávez*, ICN-MHN CO811; 2, Mosquera, 1968, SMD, *F. Núñez*, ICN-MHN CO918, CO990; 1, Bogotá, 2620 m, 1968, *P. Witch*, ICN-MHN CO970; 1, Bogotá, 2620 m, 1976, *S. Zuluaga*, ICN-MHN CO994. MAGDALENA: 4, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1060, 1061, 1066, 1069; 6, Minca, San Lorenzo, 2280 m, enero-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1074, 1075, 1076, 1078, 1079, 1081; 4, Minca, Cerro Kennedy, 2620 m, mayo-1997, *E. Camero-R.*, CPECR 1092, 1096, 1099, 1102; 4, Minca, San Lorenzo, 2280 m, mayo-1997, *E. Camero R.*, CPECR 1103, 1104, 1107, 1108. META: 1, Restrepo, mayo-1976, SMD, *J. Herrera*, ICN-MHN CO995. SANTANDER: 1,

Vélez, 1970, SMD, *H. Palma*, ICN-MHN CO917; 1, Gámbita, 2600 m, 1983, *R. Sánchez*, ICN-MHN CO847. VAUPÉS: 9, Mitú, 100 m, 1988, *C. Chamorro*, CPECR 0880, 0881, 0882, 0883, 0884, 0892, 0893, 0902, 0903.

**Distribución:** Distribución media en bosques de zonas altas entre 2280 m y 2620 m.

**Comentarios:** Se conocía como especie endémica ecuatoriana. Presentó altas densidades poblacionales. Fue capturada mediante trampas pitfall.

### 3.6. Número mínimo de unidades muestrales

Con base en los resultados obtenidos en las curvas acumulativas de los valores de mediana por trampa (Figura 14), en aquellas estaciones cuyos datos de captura lo permitieron, no se encontró tendencia a la estabilización. Sin embargo, al someter los resultados obtenidos de mediana y promedio del método de binomial negativa, se encontró que en las estaciones ubicadas en la parte más alta, son necesarias 16 trampas pitfall, mientras que para las estaciones bajas, solo se requirieron 11 trampas.

El menor número de trampas calculado para la zona baja, garantiza el registro de la baja abundancia de especies con respecto a la mayor abundancia de las zonas altas. El número de 11 trampas pitfall en la parte baja es suficiente para registrar densidades poblacionales y grados de diversidad bajos, mientras que en la zona alta, es necesaria la utilización de 16 trampas pitfall debido tanto a la alta densidad poblacional de las especies como a su mayor diversidad.

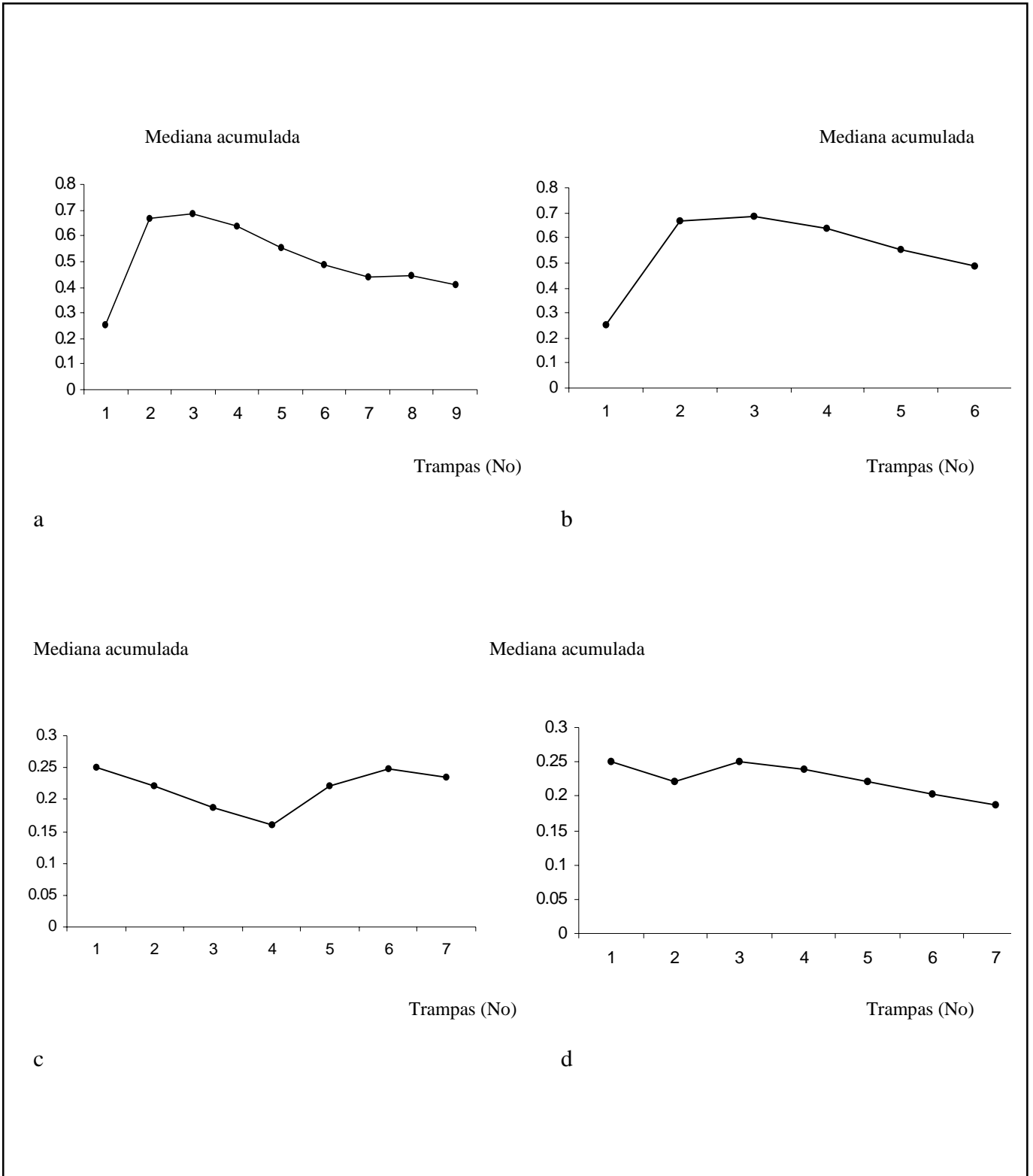
Los resultados de diversidad indican que en la parte alta del perfil la diversidad puede ser medida utilizando un número de trampas mayor a cinco, mientras que en las zonas bajas, se requiere un número mayor de trampas, debido a que la abundancia de carábidos es menor.

Así, el número mínimo de unidades muestrales no es el mismo para todos los sitios, como se practica generalmente, existe un mínimo requerido de estas unidades para que la fauna de una estación particular resulte censada.

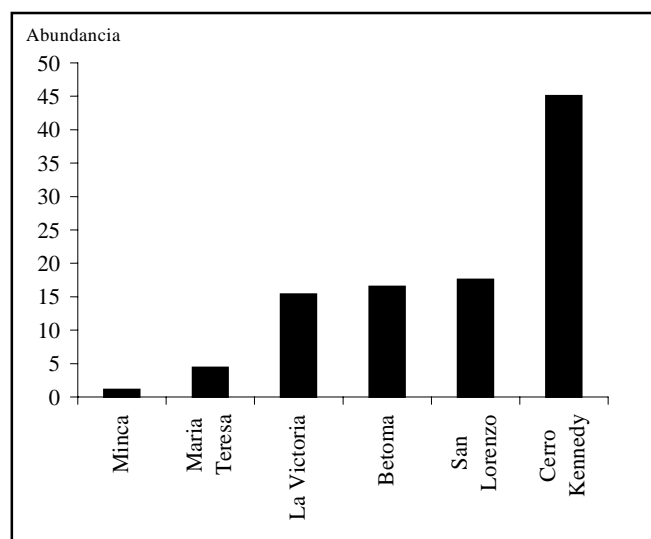
La distribución muestral en todas las estaciones corresponde a distribuciones uniformes cuyos valores son menores que 1. Así para la estación Cerro Kennedy, fue de 0.24, para la estación San Lorenzo de 0.28, para la estación Betoma de 0.17 y para la estación María Teresa de 0.15.

### 3.7. Abundancia y diversidad

La abundancia de carábidos aumenta a medida que se asciende en el perfil. La figura 15 muestra como en la



**Figura 14.** Curvas acumulativas de la mediana de especies capturadas con trampa pitfall en las estaciones **a:** Cerro Kennedy, **b:** San Lorenzo **c:** Betoma y **d:** La Victoria.



**Figura 15.** Abundancia de carábidos en el perfil altitudinal Minca-Cerro Kennedy.

parte baja (estaciones Minca y María Teresa), desde 700 a 790 m, se recolectó cerca del 5.1% de la fauna; en la parte media (estaciones La Victoria, Betoma y San Lorenzo) entre 1047 y 2140 m, el 49.5% y en la parte alta (estación Cerro Kennedy) 2620 m el 45.1% restante.

La especie más abundante fue *Platynus platynoides*, seguida por *P. hebeculus* y *Blennidus bistrriatus* (Figura 12). Existen cinco especies de abundancia media: *Blennidus sp.*, *Platynus feronioides*, *P. steinheili*, *Selenophorus coracinus* y *Pelmatellus variipes*. Las restantes siete especies, *Galerita amazonica*, *Bembidion sanctamartae*, *Paratachys sp.*, *Aepnidius sericatus*, *Glyptolenus chalybeus*, *Notiobia aulica* y *Notiobia sp.*, presentaron baja abundancia.

La diversidad de carábidos medida mediante el Índice de Brillouin en las zonas de bosques (Figura 16), alcanza tres valores de máxima diversidad y dos mínimos que se acentúan de acuerdo con el método utilizado. Mediante

el método 1, solo se registran índices de diversidad significativos en las tres estaciones de zonas altas, y mediante el método 2, este índice de diversidad se registra en cuatro estaciones de la misma zona.

Al reunir las colecciones obtenidas mediante los dos métodos en una sola gráfica, se encuentran registros de diversidad en cinco de las seis estaciones, lo cual concuerda con los resultados de abundancia obtenidos anteriormente, los cuales mostraron menores registros en la parte baja del perfil.

Las colecciones que presentaron mayor diversidad, corresponden a sitios de bosque primario (Figura 16), mientras que en aquellas estaciones, donde se encontraron “valles” en el comportamiento de la curva de diversidad (Figura 16), corresponden a bosques secundarios. *Paratachys sp.*, *Glyptolenus chalybeus* y *Notiobia sp.* sólo se capturaron en áreas de cafetales; en las plantaciones de coníferas no hubo registro alguno.

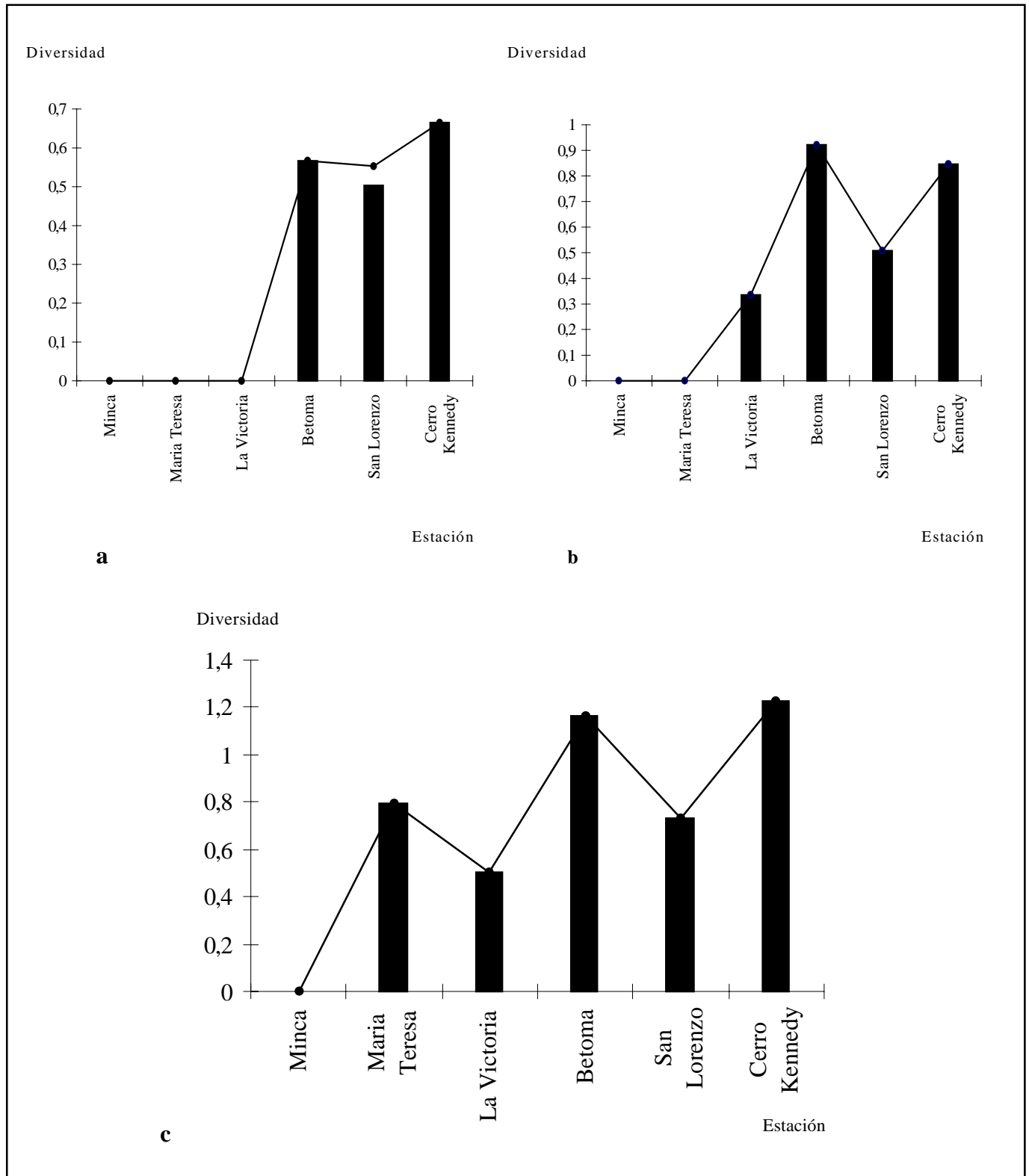
La mayor abundancia en las estaciones de mayor diversidad corresponde a *Platynus hebeculus* y *Platynus platynoides* para Cerro Kennedy, *Blennidus bistrriatus* y *Platynus feronioides* para Betoma, y *Selenophorus coracinus* para la estación María Teresa.

Existen especies que sólo se capturaron en forma manual, como *Pelmatellus variipes* y *Bembidion sanctamartae*; *Platynus platynoides*, *Blennidus bistrriatus*, *Blennidus sp.*, *Platynus hebeculus*, *Notiobia aulica*, *Selenophorus coracinus*, *Glyptolenus chalybeus*, *Notiobia sp.* y *Paratachys sp.* sólo fueron capturadas mediante trampas pitfall, mientras que *Platynus steinheili* y *Platynus feronioides*, se recogieron mediante ambos métodos.

Otra de las zonificaciones encontradas corresponde al grado de endemismo (Tabla 2), el cual aumenta a medida que se asciende a lo largo del perfil. En las cuatro estaciones localizadas en la parte baja, desde los 700 m hasta los 2280 m, se encuentra menor cantidad de especies endémicas que en la zona alta por encima de los 2280 m.

**Tabla 2.** Especies recolectadas en las estaciones de muestreo del perfil Minca- Cerro Kennedy de la Sierra Nevada de Santa Marta. Especies braquípteras (B), endémicas en negrita.

Minca	María Teresa	La Victoria	Betoma	San Lorenzo	Cerro Kennedy
<i>A. sericatus</i>	<i>S. coracinus</i> <i>G. chalybeus</i> <i>N. opaca</i> <i>Paratachys sp.</i>	<i>G. amazonica</i> <i>S. coracinus</i>	<i>B. bistrriatus</i> <i>N. aulica</i> <i>P. feronioides</i> (B) <i>P. steinheili</i> (B) <i>P. variipes</i>	<i>P. hebeculus</i> (B) <i>P. steinheili</i> (B) <i>B. bistrriatus</i>	<i>P. platynoides</i> (B) <b><i>B. diana</i></b> <i>B. bistrriatus</i> <i>P. hebeculus</i> (B) <i>P. variipes</i> <b><i>B. sanctaemarthae</i></b> <i>P. steinheili</i> (B)



**Figura 16.** Índice de Diversidad de Brillouin en las estaciones del gradiente altitudinal Minca- Cerro Kennedy, mediante el empleo de trampas pitfall. a: Método 1, b: Método 2. c: Método 1+Método 2.

La mayor abundancia en las partes altas refleja el alto grado de conservación, favorecido por la ausencia de la actividad humana, lo que redundo en beneficio de la estabilidad de los ecosistemas. De hecho, del 100% de la fauna de carábidos recolectada, solamente el 3.2% correspondió a carábidos provenientes de cafetales de la parte baja, mientras que en las plantaciones de pinos de las partes altas no se recolectó ningún ejemplar.

Aunque existe mayor estabilidad por ausencia antrópica en las partes altas, el tipo de cobertura vegetal juega un papel preponderante, ya que, como en este caso, las comunidades de pinos no favorecen el desarrollo de especies nativas al incidir en el cambio de las características físicas y químicas del suelo, al igual que en su equilibrio entre las fases aire-agua, por acción de sus exudados resinosos que taponan los macro y microporos del suelo.

La presencia de picos y valles en el comportamiento de la gráfica de diversidad de especies (Figura 16), refleja el grado de alteración por acción antrópica; en los picos, que corresponden a las estaciones María Teresa, Betoma y Cerro Kennedy, la influencia en el ecosistema por acción humana es menor, mientras que en los valles, que corresponden a las estaciones Minca, La Victoria y San Lorenzo, existe mayor impacto por acción antrópica sobre el ecosistema natural.

La variación en abundancia de especies está íntimamente ligada con la presencia de ecotonos dentro del perfil, ya sean naturales (por la interacción de factores físicos, químicos y biológicos), o generados en el grado de conservación diferencial de los ecosistemas.

### 3.8. Distribución altitudinal

Según la figura 13, de las 15 especies recolectadas, tres son de amplia distribución, dos de distribución media, y diez de distribución restringida. *Blennidus bistriatus*, *Platynus steinheili* y *Pelmatellus variipes*, fueron recolectadas desde los 2149 m, hasta la parte más alta del perfil (2620 m), estaciones Betoma, San Lorenzo y Cerro Kennedy. *Platynus hebeculus* y *Selenophorus coracinus*, son especies de distribución media y provienen de dos estaciones, una de la parte alta y otra de la parte baja: *Platynus hebeculus* desde los 2280 m hasta los 2620 m, (estaciones San Lorenzo y Cerro Kennedy), y *Selenophorus coracinus* desde los 790 m a 1097 m (estaciones María Teresa y La Victoria).

*Aepnidiidius sericatus* se recolectó exclusivamente en la estación Minca a 700 m; *Paratachys sp.*, *Glyptolenus chalybeus* y *Notiobia sp.*, son especies que sólo aparecieron en la estación María Teresa a 790 m; *Galerita amazonica*, se

recolectó únicamente en la estación La Victoria a 1097 m; *Platynus feronioides* y *Notiobia aulica*, únicamente en la estación Betoma a 2149 m; y *Bembidion sanctamartae*, *Blennidus sp.* y *Platynus platynoides*, tan sólo en la estación más alta del perfil, Cerro Kennedy, a 2620 m.

Los resultados de distribución (Figura 13), si bien, no proporcionan información contundente con respecto a la existencia de interacciones de competencia interespecífica, sí pueden enmarcarse dentro del modelo de discontinuidades ecológicas expuesto por **Terborgh** (1971), en donde las curvas poblacionales de las especies se truncan, a causa de discontinuidades ecológicas en el hábitat; se originan ecotonos, los cuales están íntimamente ligados a la acción antrópica, ya que en los bosques primarios cuyo grado de conservación es mayor, es donde aparece la mayor diversidad de carábidos.

Si los bosques tuvieran el mismo grado de conservación se podría aclarar si la ausencia de especies en algunas estaciones corresponde a interacciones de competencia y/o predación. Todo indica, que es la presencia de ecotonos la que limita la abundancia faunística, y que aunque los registros promedio de humedad y temperatura (Tabla 1) solo presentan cambios drásticos a partir de los 790 m y 1097 m respectivamente, interacciones entre estos factores con el tipo de cobertura vegetal, el tipo de suelos y otros factores, influyen en la formación de ecotonos naturales.

Por otra parte, la estabilidad ecosistémica medida por el grado de braquiptería de los carábidos, según los postulados de **Brandmayr** (1983), zonifica el perfil altitudinal en dos partes (Tabla 2): una zona baja macróptera desde los 700 m hasta los 1097 m correspondientes a las estaciones Minca, María Teresa y La Victoria, y una zona alta de braquiptería entre los 1097 m y los 2620 m de las estaciones Betoma, San Lorenzo y Cerro Kennedy.

La ausencia de carábidos, incluso de macrópteros en los ecosistemas de pinos, corrobora el daño ecológico que se genera al introducir especies vegetales foráneas, toda vez que inciden en las condiciones ecológicas naturales y en la estabilidad de los ecosistemas. Las poblaciones de carábidos, si bien pueden estar limitadas a ecosistemas específicos a causa de ecotonos naturales, también pueden verse afectadas por el tipo de acción antrópica, bien sea por el tipo de actividad agronómica o por el grado de conservación de los ecosistemas naturales.

## 4. Conclusiones y recomendaciones

La fauna de la familia Carabidae en el perfil altitudinal Minca (700 m)-Cerro Kennedy (2620 m) se compone de 17 especies pertenecientes a once géneros y seis tribus.

Ecológicamente, y de acuerdo con la composición de especies de carábidos, el perfil se muestra en una zona baja desde los 700 m hasta los 1097 m ocupada por siete especies, y una zona alta desde los 2149 m hasta los 2620 m compuesta por diez especies. Existen once especies de distribución restringida, dos de distribución media y cinco de amplia distribución.

El perfil estudiado comprende tres zonas de acuerdo con la abundancia de especies: una zona de baja abundancia entre 700 m y 790 m; una zona de abundancia media desde 790 m hasta 2280 m y la zona de alta abundancia a partir de 2280 m.

Existe también una zonificación en cuanto a macroptería y braquiptería; una zona de alta frecuencia de macroptería entre los 700 m y los 1097 m y otra zona de alta frecuencia de braquiptería desde los 1097 m hasta los 2620 m.

Altitudinalmente, y de acuerdo con el número de endemismos, en el perfil se diferencia una zona de endemismo bajo, desde los 700 m hasta los 2280 m y otra de alto grado de endemismo entre los 2280 m y los 2620 m.

El 97% del total de las poblaciones de carábidos fue recolectado en zonas de bosque; no se encontraron especies de carábidos en las plantaciones de pino; en los cafetales el registro de especies se limitó a tres: *Paratachys sp.*, *Glyptolenus chalybeus* Dejean, 1831 y *Notiobia sp.*, las cuales pueden considerarse como bioindicadoras de alteración en bosques nativos por acción antrópica.

Se registraron tres nuevas especies para Colombia: *Galerita amazonica* Liebke, 1939, *Aepnidius sericatus* Chaudoir, 1846 y *Platynus hebeculus* Bates, 1891.

Es necesario continuar adelantando trabajos de zonación ecológica con el fin de conocer la diversidad real de la fauna de Carabidae en Colombia, para hacer frente al alto grado de deforestación de los bosques naturales, la cual afecta esta fauna y su uso en trabajos de bioindicación, y genera la extinción de especies, muchas de ellas aun no descritas.

## 5. Agradecimientos

Agradezco la colaboración de los profesores George Ball de la Universidad de Alberta-Canadá, al profesor Giovanni Onore de la Universidad Católica del Ecuador, al profesor Rodrigo Torres de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá y a la profesora Clara Chamorro de la Universidad Nacional de Colombia, al igual que a la Unidad de Parques Nacionales Naturales de Colombia y a la

Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia por hacer posible la realización de este estudio.

## Referencias bibliográficas

- Adams, M.** 1973. Ecological zonation and the butterflies of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *J. Nat. Hist.* 7: 699-718.
- Ball, G. E.** 1992. Geographical distribution and evolution of the Selenophori (Harpalini) and Apenes Le Conte (Lebiini) in the Antilles (Coleoptera: Carabidae). *The Biogeography of ground beetles of mountains and islands.* G. Noonan, G. E. Ball and N. E. Stork (Eds.). Intercept Ltd. Ed. United Kingdom. 256p.
- \_\_\_\_\_. 1996. Vignettes of the history of neotropical carabidology. *Ann Zool. Fennici* 33: 5-16.
- \_\_\_\_\_, & **D. C. Currie.** 1997. Ground beetles (Coleoptera: Trachypachidae and Carabidae) of the Yucon: geographical distribution, ecological aspects and origin of the extinct fauna. *Insects of the Yucon.* H. V. Danks and J. A. Downes (Eds.). Biological Survey of Canada. Ottawa, Canada. 1034p.
- Benson, W. & A. Harada.** 1988. Local diversity of tropical and temperature ant faunas (Hymenoptera:Formicidae). *Acta Amazonica* 18 (3-4): 275-289.
- Borror, D., Triplehorn, D. & N. Johnson.** 1995. An introduction to the study of insects. Philadelphia Saunders College. U.S.A., 875 p.
- Brandmayr, P.** 1983. The main axes of the coenocline continuum from macroptery to brachyptery in carabid communities of the temperate zone. *Report 4th Symp. Carab.* 81: 147-169.
- \_\_\_\_\_. 1991. The reduction of metathoracic alae and of dispersal power of carabid beetles along the evolutionary pathway into the mountains. *Form and function in zoology.* G. Lanzavecchia and R. Valvassori Eds. Selected Symposia and Monographs U.Z.I. Mucchi Modena. 363-378pp.
- Brown, K.** 1991. Conservation of neotropical environments: insects as indicators. *The conservation of insects and their habitats.* Collins N., J. Thomas Ed. Chap 14, 350-423pp.
- Buhrnheim, P.** 1978. O aedeago na sistemática de passalídeos americanos (Coleoptera:Passalidae). *Acta Amazonica* 8 (1) Sup. 2:5-60.
- Camero-R., E.** 1999. Estudio Comparativo de la fauna de coleópteros (Insecta:Coleoptera) en dos ambientes de bosque húmedo tropical. *Revista Colombiana de Entomología* 25(3-4):131-135
- \_\_\_\_\_. & **C. Chamorro.** 1996. Coleópteros (Insecta:Coleoptera) recolectados en suelos de las regiones naturales de Colombia. *Memorias XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.* Sao Paulo, Brasil.
- \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. 1997. Bioedafología del Orden Coleoptera en tres regiones naturales de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 27: 228-231.
- \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. 1999. La fauna edáfica en bosques y plantaciones de coníferas de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Acta Biológica Colombiana* 4 (1): 35-45.
- Campbell, J.** 1987. Coleoptera. Canada and its insects fauna H. Dranks (Ed). *Ent. Soc. of Canada* 108. 573p.



- Cleef, A., O. Rangel.** 1984. La vegetación del páramo del noreste de la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), perfil Buriticá-La Cumbre. T. Van der Hammen & P. Ruiz (eds.). Estudios de Ecosistemas Tropandinos 2:267-406. Berlin.
- Cuatrecasas, J.** 1989. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Pérez-Arbelaezia 2 (8):155-283.
- Darlington, P.** 1934. Four new Bembidiini (Coleoptera: Carabidae) from Costa Rica and Colombia. Occasional Papers of the Boston Soc. Nat. Hist. 8:157-162.
- Day, K., J. Carthy.** 1988. Changes in carabid beetle communities accompanying a rotation of sitka spruce. Agriculture, Ecosystems and Environment 24:407-415.
- Dillon, E. & L. Dillon.** 1972. A manual of common beetles of eastern North America. Dover Publications Inc. New York 878 p.
- Erwin, T. L.** 1981. The ground beetles of a temperate forest site (Coleoptera:Carabidae): an analysis of fauna in relation to size, habitat selection, vagility, seasonality and extinction. Natural History of Plummers Island, Maryland XXVI. Bull. Biol Soc. Wash. 5:105-224.
- . 1985. The taxon pulse: a general Pattern of lineage radiation and extinction among carabid beetles. Taxonomy, Phylogeny and Zoogeography of Beetles and Ants. G. E. Ball (ed). Dr. W. Publishers. p. 437-472.
- Gordon, R.** 1985. La taxonomía de insectos: su importancia y perspectivas. Memorias XII Congreso Sociedad Colombiana de Entomología -SOCOLEN-. Medellín, Colombia.
- Instituto Geografico Agustín Codazzi -IGAC-**. 1995. Estudio General de suelos de la Sierra Nevada de Santa Marta. Bogotá, 376p.
- Janzen, D.** 1993. Sweep samples of tropical foliage insects: effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day, and insularity. Ecology 54 (3):687-708.
- Krekeler, C.** 1962. Dispersal of cavernicolous beetles. Systematic Zoology 8 (3):119-130.
- Lövei, G. & K. Sunderland.** 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera:Carabidae). Ann Rev. Entomol 41:231-256.
- Ludwing, J. & J. Cornelius.** 1987. Locating discontinuities along ecological gradients. Ecology 68 (2): 448-450.
- Magurrán, A.** 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ediciones Vedra. Barcelona, España. 200p.
- Montes, C., L. & Ramírez.** 1978. Descripción y muestreo de poblaciones y comunidades vegetales y animales. Universidad de Sevilla Ed. Sevilla, España. 82p.
- Moret, P.** 1989. Démembrement du Genre *Colpodes* auctorum i individualisation et définition des genres néotropicaux *Dyscolus* Dejean et *Stenocnemion* gen. nov. Bull. Soc. Ent. Fr. 93 (5-6): 134-148.
- . 1990. Les *Dyscolus* de l'Equateur: nouvelles espèces et nouvelles données faunistiques (Coleoptera, Caraboidea, Platyninae). Estratto Boll. Mus. Reg. Sci. Nat. Torino. 8 (1): 197-213.
- . 1995. Contribution à la connaissance du genre néotropical *Blennidus* Motschulsky, 1865. 1ère partie (Coleoptera, Harpalidae, Pterostichini). Bull. Soc. Ent. Fr. 100 (5): 489-500.
- . 1995b. Le Sous-genre *Dercylus* (Licinodercylus) Kuntzen, 1912: Position systématique, révision des espèces et description de la larve. Can. Ent. 127: 753-798.
- . 1996. Mise au point taxinomique sur le Genre *Dyscolus* Dejean et description de cinq espèces nouvelles (Caraboidea, Harpalidae, Platynini) Estratto Boll. Mus. Reg. Sci. Nat. Torino. 14 (2): 491-503.
- . 1996b. *Incastichus*, nouveau genre de Pterostichinae de l'Équateur (Coleoptera, Harpalidae). Nouv. Revue Ent. Fasc. 4: 303-311.
- . 1996c. Contribution à la connaissance du genre néotropical *Blennidus* Motschulsky, 1865 (2e Partie) (Coleoptera, Harpalidae, Pterostichinae). Revue Fr. Ent. 18 (1): 1-10.
- . 1998. Les *Dyscolus* de la zone périglaciare des Andes équatoriennes (Coleoptera, Harpalidae, Platyninae). Bull. Soc. Ent. Fr. 103 (1): 11-28.
- Nagel, P.** 1979. The classification of Carabidae. On the evolution of behavior in carabid beetles. P. J. Den Boer, H. V. Thiele and F. Weber (eds.). Miscellanius Papers 18. Landbowhog School Wageningen. Netherlands. 222p.
- Nilsson, S., V. Arup, R. Baranowski & S. Ekmons.** 1994. Tree-dependent lichens and beetles as indicators in conservation forest. Coservation Biology 9 (5): 1208-1215.
- Perrault, G.** 1982. La faune des Carabidae de Tahiti, V: Le Genre *Selenophorus* (Coleoptera). Revue Fr. Ent. 4 (3): 137-141.
- . 1990. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. III. Colpodes S. L. Des Andes du Perou (Coleoptera, Carabidae, Platynini). Revue Fr. Ent. 12 (1): 13-17.
- . 1990b. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. VI. Désignation de types d'espèces de *Colpodes* S. L. (Coleoptera:Carabidae:Platynini). Ann Soc. Ent. Fr. 26(1):71-82.
- . 1990c. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. VII. Platynini de la Cordillera de Mérida (Venezuela). (1) (Coleoptera). Nouv. Revue Ent. 7 (2): 179-197.
- . 1991. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. VIII. Démembrement du Genre *Glyptolenus* Bates et description d'un Genre Voisin (Coleoptera). Nouv. Revue Ent. 8 (1): 43-59.
- . 1992. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. XIV. Le Genre *Dyscolus* Dejean (1ère Partie) (Coleoptera, Platynini). Nouv. Revue. Ent. 9 (1): 49-73.
- . 1993a. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. XV. Le Genre *Pelmatellus* Bates, 1882 (Coleoptera, Harpalini). Revue Fr. Ent. 15 (1): 19-23.
- . 1993b. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. XIII. Le Genre *Dyscolus* Dejean (2ère Partie) (Coleoptera, Platynini). Ann. Soc. Entomol. Fr. 29 (3): 303-320.
- . 1993c. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. XIX. Platynini de la Cordillera de Merida (2) (Coleoptera). Ent. Blat. 89: 109-119.

- . 1993d. Études sur les Carabidae des Andes septentrionales. XX. Le Genre *Dyscolus* Dejean (3ème Partie) (Coleoptera Platynini). *Nouv. Revue Ent.* 10 (3): 243-271.
- Rangel, O. & M. Aguilar.** 1995. Aproximación en la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia diversidad biótica I. O. Rangel (ed.). Ed. Guadalupe. Bogotá, Colombia. 442p.
- , **A. Garzón.** 1995. Sierra Nevada de Santa Marta. Colombia diversidad biótica I. O. Rangel (ed.). Ed. Guadalupe. Bogotá, Colombia. 442p.
- , **P. Lowy, M. Aguilar & A. Garzón.** 1997. Tipos de vegetación en Colombia. Colombia diversidad biótica II. O. Rangel. P. Lowy & M. Aguilar (eds.). Ed. Guadalupe. Bogotá, Colombia. 436p.
- Reichardt, H.** 1967. A monographic revision of the american Galeritini (Coleoptera:Carabidae). *Arquivos de Zoologia* 15 (1-2): 1-176.
- . 1977. A synopsis of genera of neotropical Carabidae (Insecta:Coleoptera). *Questiones Entomologicae* 13:346-493.
- Ribera, I. & G. Foster** 1993. Uso de coleópteros acuáticos como indicadores biológicos (Coleoptera). *Elytron* 6: 61-75.
- Stiles, F.** 1993. Una guía de campo a la estadística para cursos prácticos de ecología. Universidad Nacional de Colombia. 80p. (Inédita).
- Straneo, S. L.** 1979. Notes about classification of the suramerican Pterostichini with a key for determination of subtribes, genera and subgenera (Coleoptera:Carabidae). *Quest. Ent.* 15: 345-356.
- . 1985. On the Genus *Sierrobis* Straneo, 1951 (Coleoptera: Carabidae:Pterostichini). *Ann. Carnegie Mus.* 54: 233-245.
- Ter Braak, C.** 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67 (5): 1167-1179.
- Terborgh, J.** 1971. Distribution on environmental gradients: theory and a preliminary interpretation of distributional patterns in the avifauna of the cordillera Vilcabamba, Peru. *Ecology* 52(1):23-40.
- Thiele, H.** 1977. Carabid beetles and their environments. Springer-Verlag Ed. New York, U.S.A. 369p.
- Walsh, P., K. Day, S. Leather & A. Smith.** 1993. The influence of soil type and pine species on the carabid community of a plantation forest with a history of pine beauty moth infestation. *Forestry* 66 (2): 135-146.

# **FAUNA ASOCIADA A LOS MANGLARES Y OTROS HUMEDALES EN EL DELTA-ESTUARIO DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA**

por

**Luz Myriam Moreno-Bejarano<sup>1</sup> & Ricardo Álvarez-León<sup>2</sup>**

## **Resumen**

**Moreno-Bejarano, L. M. & R. Álvarez-León:** Fauna asociada a los manglares y otros humedales en el Delta-Estuario del río Magdalena, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 517-534, 2003. ISSN 0370-3908.

Se presenta una síntesis de las observaciones y recolecciones de especies de la fauna asociada a los manglares y a las diferentes comunidades vegetales presentes en el complejo delta - estuarino del río Magdalena, con énfasis en el vía Parque Isla de Salamanca (56.200 ha.) y en el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta (23.000 ha.), en el período comprendido entre 1978-1985, época en la que se presentó un incremento generalizado en la salinidad del ecosistema que ocasionó la muerte masiva de la vegetación influida por el agua dulce y del manglar en extensos sectores del delta, afectando las diversas poblaciones animales que habitan en el área. La información se recopiló a través de muestreos y capturas intensivas efectuadas en 1978 y en el período 1981-1985, así como a través de observaciones directas realizadas esporádicamente durante el período 1986 - 1998. El registro de: 10 especies de anfibios, 40 de reptiles, 194 de aves y 46 de mamíferos, refleja de manera integral la gran riqueza y diversidad de especies de fauna que albergan estos humedales del Caribe colombiano.

**Palabras clave:** Fauna, manglares, humedales, Salamanca, Ciénaga Grande, Río Magdalena, Caribe, Colombia.

## **Abstract**

A synthesis of observations and collections of fauna associated with different vegetative communities and bodies of water present in the estuarine-delta of Magdalena river, with emphasis in the Via Park Isla Salamanca (56.200 acres) and National Reserve Flora and Fauna Sanctuary of the Ciénaga Grande de Santa Marta (23.000 acres), between 1978-1985. The information was

<sup>1</sup> Universidad del Atlántico, km 7 Vía Puerto Colombia, Barranquilla, Colombia, lcarsan@edt.net.co

\*\* Universidad de La Sabana. A. A. 101372, alvarez\_leon@hotmail.com. Bogotá D. C., Colombia.

gathered through samplings and manual captures effected during 1978, and period 1981-1985, as well as accomplished direct observations sporadically in the period 1986-1998. The records of 10 species of amphibians, 40 species of reptiles, 194 species of birds and 46 species of mammals, show the great variety of fauna in this Caribbean area of Colombia.

**Key words:** Fauna, mangroves, wetlands, Salamanca, Ciénaga Grande, Magdalena River, Caribbean, Colombia.

## Introducción

El delta del río Magdalena, influido por el mar Caribe, está constituido por el conjunto de caños que se desprenden de la margen oriental del río Magdalena, los cuales alimentan a una extensa red de caños internos, ciénagas, zonas anegadizas y a la Ciénaga Grande de Santa Marta, y permiten el desarrollo de un complejo y rico ecosistema con extensas zonas cubiertas por manglares y una gama de comunidades vegetales que albergan una gran diversidad de especies animales. Para proteger la riqueza y diversidad del área, se han declarado dos zonas de reserva: la vía Parque Isla de Salamanca y el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande (Figura 1), localizadas en el departamento del Magdalena, costa norte colombiana (INDERENA, 1978; Álvarez-León, 1980; INDERENA, 1988; Mancera-Pineda *et al.*, 1996).

De la fauna de la zona existen numerosos registros y listas de especies de aves residentes y migratorias, así como registros ocasionales de otras especies animales, en Bocas de Ceniza, en la Ciénaga Grande de Santa Marta y en la Isla de Salamanca (Tood & Carriker, 1922; Dugand, 1939, 1940, 1947<sup>a</sup>, 1947<sup>b</sup>; Meyer de Schauensee, 1948, 1949; Toro, 1969; Hollister, 1974; Toro *et al.*, 1975; Franky & Rodríguez, 1976; Naranjo-Henao, 1981; Hernández-Camacho & Rodríguez-Mahecha, 1986; Sánchez-Páez, 1988); sin embargo no se tiene una información integral, que refleje la riqueza de especies de fauna que alberga el delta - estuario del río Magdalena.

Con el fin de recopilar información sobre la fauna que albergan los manglares y otros humedales, en el delta-estuario del río Magdalena, en 1978 y durante el período 1981-1985, se efectuaron muestreos y capturas intensivas de anfibios, reptiles, aves y mamíferos, así como observaciones directas realizadas esporádicamente en el período 1986-1998.

## 1. Área de estudio

### 1.1 Ubicación y superficie

El complejo delta - estuarino del río Magdalena, ubicado en la costa norte colombiana comprende la unidad

ecológica constituida por: la Ciénaga Grande de Santa Marta, la Isla de Salamanca y el conjunto de caños que se desprenden de la margen oriental del río Magdalena, entre el cerro de San Antonio y Bocas de Ceniza, los cuales alimentan una compleja red de: caños internos, zonas anegadizas y ciénagas. Por la riqueza y complejidad de este ecosistema, se declararon dentro de su área dos zonas de reserva: el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca y el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande (Figura 1), localizadas en el departamento del Magdalena en jurisdicción de los municipios de Pueblo Viejo, Sitio Nuevo, Pivijay y Remolino, entre los 10° 57' y 11° 7' N y 74° 27' - 74° 51' W (INDERENA, 1978, Correa-Villanueva, 1984; INDERENA, 1988).

### 1.2 Aspectos legales

El Gobierno Nacional, consciente de la necesidad proteger zonas representativas de los diferentes ecosistemas del país, declaró dentro del complejo delta-estuarino del río Magdalena dos zonas de reserva: el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, con una extensión de 21.000 ha. (Acuerdo del INDERENA No. 004 del 4 de abril de 1964 y Resolución del Ministerio de Agricultura No. 191 del 31 de agosto de 1964) y el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande con 23.000 ha (Acuerdo del INDERENA No. 029 del 2 de mayo de 1977 y la Resolución del Ministerio de Agricultura No. 168 del mismo año). A partir de 1998, el Ministerio del Medio Ambiente, a través de la Resolución No. 472 del 8 de junio de 1998, recategorizó la zona de reserva del Parque, redefinió sus límites y amplió a 56.200 ha. su extensión, denominándola "Vía Parque Isla de Salamanca" y a través de la Resolución 471 del 8 de junio de 1998, fijó nuevos límites al Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

### 1.3 Importancia del área

El delta-estuario del río Magdalena constituye una de las áreas más extensas (400.000 ha.), complejas y diversas de la costa norte colombiana, por incluir: extensas zonas cubiertas por manglares, bosques ribereños y bosques xerofíticos, así como una compleja gama de comunidades

de pantano de agua dulce, que en conjunto albergan una gran diversidad de especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Por sus características especiales, ésta zona constituye un soporte para la productividad pesquera de la región Caribe colombiana, repercutiendo positivamente en la economía de las comunidades palafíticas de: Buenavista, Nueva Venecia (El Morro) y Trojas de Cataca, (construidas sobre las ciénagas), así como en la de los poblados de pescadores y ciudades adyacentes (Figura 1) que aprovechan sus recursos. (Franky & Rodríguez, 1976; Álvarez-León, 1980; INDERENA, 1988; Sánchez-Páez, 1988; Mancera-Pineda *et al.*, 1996).

Con base en su importancia ecológica, económica y social, el Gobierno Nacional a través del INDERENA promovió la recuperación de sus condiciones naturales por medio de diferentes obras de infraestructura y mantenimiento (INDERENA, 1978, 1983; INDERENA / SODEIC, 1987). Dichas obras se realizaron con éxito en la década de 1990 (CORPOMAG, 1994, 1995; PROCIEÑAGA, 1993, 1995) y en la actualidad se adelantan las labores de seguimiento y monitoreo (ULL *et al.*, 2001).

Debido a su importancia, la zona ha sido seleccionada para integrar la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Decreto 224 de febrero 2 de 1998) en cumplimiento de lo dispuesto por la Ley 357 de enero 21 de 1997 a través de la cual Colombia aprobó la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas suscrita en Ramsar (Irán, febrero 2 de 1971). Así mismo, el Consejo Internacional de Coordinación del Programa sobre el Hombre y la Biosfera de la UNESCO, en su reunión del 10 de diciembre del 2000, aprobó la nominación de la Ciénaga Grande de Santa Marta, como una de las 391 reservas de la biosfera en 94 países, con todas las ventajas y responsabilidades que estas designaciones implican (UNESCO, 2001).

#### 1.4 Características biofísicas

**Topografía.** El delta-estuario del río Magdalena en su conjunto presenta terrenos planos con alturas que no sobrepasan los 10 metros sobre el nivel del mar (Franky & Rodríguez, 1976).

**Hidrografía.** El sistema hidrográfico del delta-estuario, está influido por las crecientes de desborde del río Magdalena y por el conjunto de caños que se desprenden de su ribera oriental. El mar incide a través de: la cuña marina que penetra en el continente, los intensos oleajes ocasionados por los vientos procedentes del norte durante el período de diciembre-abril y por la corriente marina

que ingresa a través de la boca de la Barra, la cual, por efecto de las corrientes de los ríos Sevilla, Frío, Mengajo, Mengajito, Aracataca y Fundación, que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta, es desviada hacia el sector noroccidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, donde afecta con diversos rangos de salinidad la totalidad del ecosistema, y permite el desarrollo de una amplia franja de manglar en el sector occidental del complejo lagunar.

En las últimas décadas, la vía Parque Isla de Salamanca y el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande, han sido afectados por la sedimentación de los caños que provienen del río Magdalena, presentándose una alteración marcada en el equilibrio halohídrico de la región, la cual ocasionó la mortandad de la vegetación de agua dulce y de aproximadamente 28.000 ha. de manglar en el delta del río Magdalena (INDERENA, 1978; Sánchez-Páez & Hernández-Camacho, 1979, 1983; Moreno-Bejarano, 1984; Sánchez-Páez, 1988; Sánchez-Páez *et al.*, 2000).

**Suelos.** La región deltaica-estuarina del río Magdalena, se ha rellenado con predominio de materiales del Cuaternario. Tanto en la Isla de Salamanca como en el Santuario, se diferencian los paisajes de la planicie fluvio-marina y los de planicie aluvial. En la planicie fluvio-marina se destaca el subpaisaje de manglares, desarrollados en suelos que no presentan una evolución geológica apreciable, sino que se han formado a partir de residuos vegetales y materiales parentales constituidos por arcillas gleizadas y acumulaciones de materia orgánica semidescompuesta provenientes de sedimentos aluviales; el relieve es plano - cóncavo y mantiene agua permanentemente en la superficie. Estos suelos son muy superficiales y ocupan la mayor parte del Santuario y de la Isla de Salamanca. Los suelos del subpaisaje de orillas, están formados por sedimentos aluviales del río Magdalena, presentan drenaje deficiente y ocupan el sector occidental de las dos zonas de reserva. En el paisaje de planicie aluvial se destacan los subpaisajes de diques naturales secundarios, con presencia de zonas encharcables o no; suelos con drenaje moderadamente bueno y relieve ligeramente plano ocupan fajas angostas y alargadas que bordean el curso de los caños Shiller, Condazo, Salado, Fraile, El Cojo, El Jobo, Ratón, Los Palos, Clarín, Torno y Almendros, entre otros. (IGAG, 1969, 1976).

**Clima.** La temperatura promedio registrada para la zona es de 27°C y la máxima promedio es de 32°C. Las precipitaciones registradas para la región varían entre 500 y 1000 mm. Con respecto a la distribución de las lluvias, la región se caracteriza por presentar a través del año un período seco o de verano que comprende los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, acompañado de

vientos fuertes procedentes del norte. La época de lluvia o de invierno incluye los meses de mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, en la cual se presentan días de lluvias fuertes en secuencia irregular y altas temperaturas. El pico de precipitación máxima se presenta en octubre o noviembre, superando en algunos años los 250 mm. Durante julio se presenta el “veranillo de San Juan”, período caracterizado por la disminución de las lluvias y la aparición brisas fuertes (HIMAT, 1991).

## 2. Materiales y métodos

La información registrada tanto para el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande como para la vía Parque Isla de Salamanca se ha recopilado paulatinamente durante un período aproximado de 20 años, coincidiendo con una época crítica del ecosistema por el incremento de la salinidad y la muerte masiva de la vegetación influida por el agua dulce y del manglar en extensos sectores del delta-estuario.

En 1978 y en el período comprendido entre 1981-1985 se realizaron muestreos intensivos de flora y fauna en la zona de estudio. Se recolectaron al azar muestras, de anfibios, reptiles aves y mamíferos, así como registros visuales realizados en recorridos repetitivos por los diferentes sectores de las áreas de reserva, incluyendo, caños, ciénagas, la ribera del río Magdalena, así como registros obtenidos en recorridos por la carretera que comunica las ciudades de Barranquilla (Atlántico) - Ciénaga (Magdalena), la cual atraviesa de este a oeste la Isla de Salamanca (Figura 1).

En el Santuario (durante 1978), las estaciones de muestreo se establecieron dentro de los manglares y en los caños El Cojo, El Jobo, Ciénagas de la Aguja y Tamacá; en la zona de transición entre el manglar y la vegetación de agua dulce, en el caño Condazo y ribera del río Fundación; en playones con vegetación influida por el agua dulce, en los sectores del Presidio aledaño al arroyo Caraballo y en El Edén cercano al río Fundación (Figura 1).

En la Isla de Salamanca, entre 1981-1985, se efectuaron muestreos dentro del manglar en las ciénagas de El Torno y Calenturas, así como en los sectores de Los Cocos y Cangarú. En zonas de transición entre la vegetación de agua dulce y el manglar en el caño de Los Almendros, el Clarín Viejo y en el sector del Palmichal. También se tomaron muestras en el monte espinoso de Cangarú y Mahoma en los km 36 a 44 (Figura 1). Durante el período comprendido entre 1986 y 1998, la información se recopiló efectuando muestreos esporádicos por la ribera del río Magdalena y por diferentes caños y ciénagas del delta. Se incluye además el registro ocasional de algunos

animales capturados por pescadores en la zona de estudio y posteriormente donados al zoológico de Barranquilla, así como los de animales observados muertos en la carretera Barranquilla - Ciénaga.

Para el registro de las especies de aves se tuvo como base la lista de aves de la Isla de Salamanca (Toro *et al.*, 1975) y su determinación en la mayoría de los casos se efectuó por observación directa utilizando las guías de las aves de Venezuela y Colombia (Phelps & Meyer de Schauensee, 1979; Hilty & Brown, 1986), la colaboración de especialistas que visitaron el área y mediante la captura de especímenes. La presencia se indica de acuerdo con las siguientes categorías: **a** = abundante, **c** = común, **e** = escasas y **o** = no observadas en ese período.

Las colecciones obtenidas de anfibios, reptiles, aves y mamíferos, así como las de material botánico, se encuentran, en el Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, en Villa de Leyva (Boyacá) y algunos duplicados de la colección zoológica se conservan en el Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de Colombia, en Bogotá, D. C.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Vegetación

La vegetación que caracteriza estructural y funcionalmente el sector noroeste del delta-estuario del río Magdalena y específicamente la de la vía Parque Isla de Salamanca y la del Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande, está dada por los bosques de manglares con la presencia de cuatro especies principales: *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Avicennia germinans* (mangle salado), *Laguncularia racemosa* (mangle amarillo) y *Conocarpus erecta* (mangle zaragoza o bobo) (Álvarez-León & Polanía-Vorenberg, 1996; Sanchez-Páez *et al.*, 1997, 2000; Ulloa-Delgado *et al.*, 1998).

Hacia la margen oriental del río Magdalena y en las riberas de la compleja red de caños que se desprenden de su curso, en las cuales la incidencia del agua dulce es mayor, se presentan bosques ribereños caracterizados por la presencia de: *Ficus pallida* (pivijay), *F. dendrocida* (suan), *Ficus* sp. (higuerones), *Spondias monbin* (jobo), *Erythrina fusca* (cantagallo), *Chloroleucon* sp. (vainillo), *Crataeva tapia* (naranjuelo), *Coccoloba obtusifolia* (corralero), *Lecythis minor* (olla de mico), *Guazuma ulmifolia* (guázimo), *Hura crepitans* (ceiba lechosa), *Cordia dentata* (uvito blanco) *Annona glabra* y *Annona* sp. (guanábana de pozo), y *Senna reticulata* (bajagua), entre otros. Como estrato herbáceo aparece: *Thalia*

*geniculata* (bijao), *Heliconia* sp. (platanito), *Cyperus giganteus*, *Cyperus ligularis* y *Cyperus confertus* (cortaderas), *Mimosa pygra*, y *Mimosa* sp. (zarzas), *Paspalum* sp. (gramalotes), *Typha domingensis* (enea), *Cassia* sp. y en el área de transición hacia el manglar aparecen agrupaciones de *Acrostichum aureum* (helecho de mangle, mata andrea, mata tigre); en los playones anegadizos aparecen consociaciones de *Copernicia tectorum* (palmiche), *Bactris minor* (lata).

En islas o “lomas”, con un nivel freático bajo, ubicadas aún dentro de los manglares, como es el caso de la Isla de Ochoa en el Santuario y en sectores aledaños a la Isla de Salamanca, aparecen agrupaciones de: *Corozo oleifera* (corozo), *Erythroxylon carthagenense* (jayo), *Pithecellobium lanceolatum* (buche), *Crescentia cujete* (totumo) *Crataeva tapia* (naranjuelo), *Capparis odoratissima* (olivo), *C. flexuosa*, y *C. baduca* (Buche), *Prosopis juliflora* (trupillo), *Gliricidia sepium* (mataratón), *Acacia farnesiana* (aromo), *Guaiacum officinale* (guayacán), y *Stenocereus griseus* (candelabro), *Pereskia guamacho*, *Philoxereus russellianus*, y *Acanthocereus tetragonus* (cactus).

En los playones anegadizos y bordeando los cuerpos de agua, donde la incidencia salina es mínima, aparecen extensas praderas de *Typha domingensis* (enea), *Thalia geniculata*, *Cyperus giganteus*, *Cyperus* sp. (cortaderas) y *Scirpus* sp. (juncos), como vegetación anclada. Cubriendo los caños y los cuerpos de agua, en forma de tapetes o colchones flotantes, en algunos casos impenetrables, aparece: *Limnocharis* sp. (buchón), *Eichhornia crassipes* y *E. azurea* (lirios o buchones), *Pistia stratiotes* (tarulla), *Neptunia prostrata* y *Nymphaea ampla* (hoja de raya).

En las zonas afectadas por la salinidad aparece actuando como pionera en el estrato herbáceo *Batis maritima* (platanito o mata de vidrio), formando extensas praderas, y en las playas colonizando dunas aparece *Sesuvium portulacastrum*. En los playones salitrosos, aparecen praderas de *Sporobolus* sp.

### 3.2 Problemática ecológica en el Delta del Río Magdalena

En el sector conocido como el complejo delta-estuarino del río Magdalena, localizado entre el Cerro de San Antonio y Bocas de Ceniza, que incluye la Ciénaga Grande y la Isla de Salamanca, durante el período comprendido entre 1978 y 1982, se presentaron cambios drásticos en el equilibrio halo-hídrico de la zona, ocasionados por un proceso acelerado de la sedimentación que produjo la obstrucción de los caños que aportaban agua dulce del río Magdalena tanto a la Ciénaga Grande como al complejo de caños y

ciénagas internas de la Isla de Salamanca, situación que permitió la formación de barras arenosas en las bocas de las ciénagas de Cuatro Bocas, La Atascosa y El Torno, en la Isla de Salamanca, las cuales mantenían comunicación directa con el mar. Este proceso trajo como resultado, el aislamiento de los cuerpos de agua, la pérdida de profundidad de caños y ciénagas, así como la hipersalinización del medio, presentándose la mortandad masiva de la vegetación de agua dulce y del manglar en extensos sectores del delta (INDERENA, 1978, 1983; Moreno-Bejarano, 1978, 1982, 1984; Sánchez-Páez & Hernández-Camacho, 1979, 1983; Sánchez-Páez, 1988; Hernández-Camacho *et al.*, 1986; INDERENA / SODEIC, 1987; Sánchez-Páez *et al.*, 1997, 2000; Sánchez-Páez & Álvarez-León, 1998).

Es importante destacar que a partir 1995, como resultado del dragado de algunos caños procedentes del río Magdalena, se ha presentado una notoria recuperación de los manglares y de la vegetación de agua dulce, en la Isla de Salamanca, observándose extensas praderas de *Typha domingensis* (enea) en los playones localizados entre el kilómetro 14 y el 36, sitios de los cuales se extraía sal durante la época crítica (1979-1994), así como reemplazando a los manglares que murieron en el sector de la Montañita (km 22-36).

### 3.3 Fauna

**Anfibios.** En la ribera de las bocas de los caños que se desprenden del río Magdalena, en los playones y humedales donde hay predominio de agua dulce, se destaca la presencia de: *Bufo granulatus*, *B. marinus*, *Hyla crepitans*, *H. microcephala*, *H. pugnax*, *Leptodactylus bolivianus*, *Leptodactylus* sp., *Physalaemus pustulosus* y *Pleuroderma brachyops* (Moreno-Bejarano, 1978). Aunque los muestreos de anfibios fueron intensivos, la diversidad obtenida es relativamente baja (Tabla 1). Hacia la zona de manglar la salinidad limita la presencia de anfibios, destacándose la presencia de *P. brachyops*, en áreas aledañas a la playa.

**Reptiles.** Los reptiles en el delta estuarino están representados por los órdenes Crocodylia, Testudinata y Squamata con los subórdenes Sauria y Serpentes representados por 17 familias con 40 especies (Tabla 2). Se destaca la presencia de: *Crocodylus acutus* (caimán aguja) y *Caiman crocodilus fuscus* (babilla), con épocas de apareamiento durante diciembre, postura entre febrero-marzo y nacimientos entre mayo y junio.

Entre los testudíneos tanto en el complejo de caños como por la ribera del río Magdalena es común la presencia de *Podocnemis lewyana* (tortuga del río Magdalena),

**Tabla 1.** Especies de anfibios asociadas a los manglares y a otros humedales en el Delta - Estuario del Río Magdalena

No.	Familias / Especies	Nombre común	Sitio de registro
<b>BUFONIDAE</b>			
1	<i>Bufo granulosus</i>	Sapo	1,2
2	<i>Bufo marinus</i>	Sapo	1,2
<b>HYLIDAE</b>			
3	<i>Hyla crepitans</i>	Platanera	1,2
4	<i>Hyla microcephala</i>	Rana	1,2
5	<i>Hyla cf. pugnax</i>	Rana	1,2
<b>LEPTODACTYLIDAE</b>			
6	<i>Leptodactylus bolivianus</i>	Rana	1,2
7	<i>Leptodactylus cf. insularum</i>	Rana	1,2
8	<i>Physalaemus pustulosus</i>	Rana	1,2
9	<i>Pleuroderma brachyops</i>	Rana	1,2

*Trachemys scripta callirostris* (icotea) y *Rhinoclemmys* sp. (J. I. Hernández-Camacho, com. pers.), y en los playones ocasionalmente se puede encontrar *Kinosternon leucostomum* (tortuguita garepalo). Es importante destacar la presencia de las tortugas marinas en las costas de la Isla de Salamanca, como lo demuestra la captura ocasional de *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey) y *Dermochelys coriacea* (tortuga laúd) al ser capturada una hembra (5 de octubre de 1995), con una red de espera (trasmallo) a la altura del km 36 de la carretera Barranquilla - Ciénaga.

De las 20 especies de serpientes registradas, el predominio corresponde a los colúbridos con 14 especies (Tabla 2), destacándose entre otras: *Drymarchon corais*, *Imantodes cenchoa*, *Helicops danieli*, *Leptophis aethulla*, *Liophis melanotus*, *Spilotes pullatus* y *Thamnodynastes strigilis*; le siguen las Boidae y Crotalidae, representadas por tres especies. Es importante reconocer el trabajo del herpetólogo Dennis Harris, quien colaboró con la realización de los muestreos y la determinación de reptiles en 1979.

**Aves.** Sin lugar a duda Aves, es la clase mejor representada en el delta-estuario del río Magdalena, con una gran diversidad de especies nativas y enriquecida con la presencia de especies migratorias que ocupan la zona en el

período comprendido entre octubre-abril (Tabla 3). En el delta se han registrado dos especies de distribución restringida o endémica, de la región Caribe colombiana: el colibrí (*Lepidopygia lilliae*) y el golofio (*Molothrus armenti*) (Franky & Rodríguez, 1976; Hernández-Camacho & Rodríguez-Mahecha, 1986).

En la tabla 3, se registran las 194 especies de aves que fueron observadas, así como algunas especies registradas por Naranjo-Henao (1981), para la Isla de Salamanca, que fueron registradas nuevamente en la zona. Se destacan por su abundancia las especies piscívoras, que encuentran una oferta muy alta de recursos durante todo el año, apareciendo en primer término *Phalacrocorax olivaceus* (pato cuervo o pato yuyo), que forma bandadas de cientos de individuos que se concentran en las ciénagas para pescar; al levantar el vuelo o al desplazarse hacia los dormitorios, describen figuras muy variadas, constituyendo un verdadero espectáculo para el observador. En segundo lugar aparecen *Egretta thula* (garza de pies amarillos) y *Ardea alba* (garza real), que pueden formar concentraciones muy numerosas en ciénagas, pantanos y caños cuando el nivel del agua desciende y los peces quedan atrapados, durante el ingreso de cardúmenes de alevinos de lisa (*Mugil incilis*) al ecosistema, o cuando se presentan cambios drásticos de salinidad y hay mortandad de peces.



**Tabla 2.** Especies de reptiles asociadas a los manglares y a otros humedales en el Delta- Estuario del Río Magdalena. 1=PNN Isla de Salamanca; 2=SFF Ciénaga Grande de Santa Marta; 3=Río Frío; 4=Los Cocos

No.	Orden / Familia / Especies	Nombre común	Sitios de registro
	Orden. SQUAMMATA		
	Suborden SERPENTES		
	Familia BOIDAE		
1	<i>Boa constrictor</i>	Boa	1,2
2	<i>Epicrates cenchrus maurus</i>	Boa chocolate	1,2
3	<i>Corallus enydris</i>	Boa de árbol	1,2
	Familia COLUBRIDAE		
4	<i>Clelia clelia</i>	Cazadora negra	1,2,3
5	<i>Chironius carinatus</i>	Cazadora	3
6	<i>Drymarchon corais corais</i>	Cazadora	1,2
7	<i>Imantodes cenchoa</i>	Serpiente	3
8	<i>Leimadophis melanotus</i>	Serpiente	1,2
9	<i>Leptodeira annulata</i>	Serpiente	3
10	<i>Leptophis ahetulla occidentalis</i>	Serpiente lora	1,2,3
11	<i>Masticophis mentovarius</i>	Corredora	1,4
12	<i>Oxybelis aeneus</i>	Bejuquillo	1,2
13	<i>Phimophis guianensis</i>	Serpiente	1,2
14	<i>Spilotes pullatus pullatus</i>	Cazadora	1,2
15	<i>Thamnodynastes strigilis</i>	Serpiente	1,2
	Familia CROTALIDAE		
16	<i>Botriequis schlegelii</i>	Patoco	1,2
17	<i>Botrops atrox</i>	Mapaná	1,2
18	<i>Crotalus durissus</i>	Cascabel	1,2
	Familia: LEPTOTYPHLOPIDAE		
19	<i>Leptotyphlops cf. dugandii</i>		1(km40)
	Suborden SAURIA		
	Familia GEKKONIDAE		
20	<i>Gonatodes albogularis</i>	Lagarto	1,2
21	<i>Thecadactylus rupicauda</i>	Lagarto	1,2
	Familia IGUANIDAE		
22	<i>Anolis biporcatus</i>	Lagarto	1,4
23	<i>Anolis tropidogaster</i>	Lagarto- Lobito	1,4
24	<i>Basiliscus basiliscus</i>	Pasarroyo	1,2
25	<i>Iguana iguana</i>	Iguana	1,2
	Familia SCINCIDAE		
26	<i>Mabouya mabouya</i>	Lagarto azul	1,2

Contenido Tabla 2.

No.	Orden / Familia / Especies	Nombre común	Sitios de registro
	Familia TEIIDAE		
27	<i>Ameiva ameiva</i>	Lagarto	1,2
28	<i>Cnemidophorus lemniscatus</i>	Lagarto	1,2
29	<i>Tupinambis teguixin</i>	Lobo pollero	1,2
	Orden CROCODYLIA		
	Familia ALLIGATORIDAE		
30	<i>Caiman crocodilus fuscus</i>	Babilla	1,2
	Familia CROCODYLIDAE		
31	<i>Crocodylus acutus</i>	Caimán Aguja	1,2,3
	Orden TESTUDINATA		
	Familia CHELONIDAE		
32	<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga Carey	1( km 36)
	Familia DERMOCHELYIDAE		
33	<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga Canal	1(km.36-oct. 5/95)
	Familia: EMYDIDAE		
34	<i>Trachemys scripta callirostris</i>	Tortuga Icotea	1,2
	Familia: KINOSTERNIDAE		
35	<i>Kinosternon leucostomum</i>	Tortuga Garepalo	1,2
	Familia: PELOMEDUSIDAE		
36	<i>Podocnemis lewyana</i>	T. Río Magdalena	1,2

*Pelecanus occidentalis* (pelícano caribeño) incrementa su población por migración, como lo demuestra la presencia de individuos que han sido marcados en el canal de Panamá, así como la llegada de bandadas de diferentes especies de gaviotas, chorlitos y patos que han sido anillados en Norteamérica. También figuran como visitantes numerosas especies de Passeriformes que buscan refugio en las ciénagas del delta. Se registra el *Chordelis minor* (bujío migratorio) como depredador de murciélagos de vuelo rápido lo cual se comprobó al revisar su contenido estomacal (ejemplares de *Myotis nigricans* y *Rhynchonycteris naso*).

Es importante indicar la presencia temporal de una bandada de *Phoenicopterus ruber* (flamenco) en el período entre enero-marzo de los años 1978 y 1979, en el complejo de Pajárales (Figura 1). Debido a la problemática

ecológica presentada en el delta, estas migraciones aparentemente no se habían vuelto a registrar, sin embargo, durante febrero de 1987 y 1992 ingresaron por donación al Zoológico de Barranquilla dos flamencos capturados con atarraya en Bocas de Ceniza, indicando claramente, que aún se presentan estos desplazamientos hacia el delta-estuario.

Otro aspecto de gran interés es la concentración de garzas durante la época de reproducción en el complejo de ciénagas del Santuario de Fauna y Flora, entre octubre y diciembre, hecho que se ha confirmado por la donación e ingreso al Zoológico de Barranquilla de 6 pichones de *Ardea cocoi* (garza blanca) capturados en noviembre de 1994 por un pescador en la ciénaga de la Aguja, registrando además, la presencia de nidos de *Ajaia ajaja* (garzas cuchara) y *Egretta ibis* (garzas bueyera), *Ardea alba* (gar-

**Tabla 3.** Especies de aves asociadas a los manglares y otros humedales en el Delta-Estuario el Río Magdalena (1978 -1997).  
**a=** abundante; **c=** común; **e=** escaso; **o=** ocasional; **n=** nidada.

No.	Familias /Especies	Nombre común	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	PELECANIDAE													
1	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelicano	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	PHALACROCORACIDAE													
2	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>	Pato cuervo	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
	ANHINGIDAE													
3	<i>Anhinga anhinga</i>	Pato aguja	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	FREGATIDAE													
4	<i>Fregata magnificens</i>	Tijereta	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	ARDEIDAE													
5	<i>Agami agami</i>	Garza verde	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
6	<i>Ardea cocoi</i>	Garza morena	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
7	<i>Ardea herodias</i>	Garza			e			e	e	e			e	e
8	<i>Butorides striatus</i>	Garcipolo	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
9	<i>Butorides virescens</i>	Garcipolo	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
10	<i>Bubulcus ibis (=Egretta ibis)</i>	Garza bueyera	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
11	<i>Casmerodius albus</i>	Garza real	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	<i>Dichromanassa rufescens</i>	Garza rojiza					e		e	e	e	e		
13	<i>Egretta thula</i>	G. pies amarillos	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
14	<i>Florida caerulea</i>	Garza			e	e				e	e	e	e	e
15	<i>Hydranassa tricolor</i>	Garza tricolor	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
16	<i>Ixobrychus exilis</i>	Garcita			e									
17	<i>Nyctanassa violacea</i>	Garza	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
18	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Guaco	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
19	<i>Pilherodius pileatus</i>	Garza						C. Cojo abril 18/85						
20	<i>Tigrisoma lineatum</i>	Vaco tigre	e	e	n	e	e	e	e	e	e	e	e	e
21	<i>Tigrisoma fasciatum</i>	Vaco	n	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	COCHLEARIDAE													
22	<i>Cochlearius cochlearius</i>	G. Pico de barco	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	CICONIIDAE													
23	<i>Jabiru mycteria</i>	Coyongo o Garzón					e	e	e	e	e	e		
24	<i>Mycteria americana</i>	Cabeza de cera					e	e	c	c	c	c		
	TRESKIORNITHIDAE													
25	<i>Ajaia ajaja</i>	Garza cuchara	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	n	e
26	<i>Mesembrinibis cayennensis (5-7)</i>													
27	<i>Phimosus infuscatus (?)</i>													
	PHOENICOPTERIDAE													
28	<i>Phoenicopus ruber</i>	Flamenco	o	o	Cga. Conchal /78-79									
	ANHIMIDAE													
29	<i>Chauna chavaria</i>	Chavarríe	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	ANTIDAE													
30	<i>Anas americana</i>	Pato	e	e	e							e	e	e
31	<i>Anas bahamensis</i>	Pato	e	e	e					e	e	e	e	e
32	<i>Anas discors</i>	Pato barraquete	a	a	a	e						a	a	a
33	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pisingo	a	a	a	a	e	e	e	e	e	e	a	a
34	<i>Dendrocygna bicolor</i>	Pissie	e	e	e	e					e	e	e	e
35	<i>Dendrocygna viduata</i>	P. cariblanco	a	a	a	e						a	a	a
36	<i>Cairina moschata</i>	Pato real	e	e	e	e	Caño Valle /92		e	Condazo /78		e	e	e







Continuación Tabla 3

150	<i>Progne tapera</i>	Golondrina						a	a	Los Cocos/84				
151	<i>Riparia riparia</i>	Golondrina	e	e										
152	<i>Tachycineta albiventer</i>	Golondrina	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
	TROGLODYTIDAE													
153	<i>Campylurhyncus griseus</i>	Churrucutu	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
154	<i>Campylurhyncus nuchalis</i>	Churrucutu	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	e
155	<i>Troglodytes aedon</i>		e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	Edén/78	
156	<i>Thryotorus leucotis</i>		e	e	e	e	e	e	e	e	e	e	Jobo/78	e
	MIMIDAE													
157	<i>Mimus polyglottos</i>	Sinsonte	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	TURDIDAE													
158	<i>Turdus grayi</i>							Condazo/79						
	ICTERIDAE													
159	<i>Agelaius icterocephalus</i>	Toche de agua	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	Cojo/78
160	<i>Icterus auricapillus</i>	Toche	e	e	Jobo/79			e	e	e	e	e	e	e
161	<i>Icterus mesomelas</i>	Palmirita	e	e	e	e		e	e	e	e	e	Presidio/78	I. Pin
162	<i>Icterus nigrogularis</i>	Toche	c	c	c	c		c	c	c	c	c	c	c
163	<i>Leistis militaris</i>		e	e	e	e		Clarín/83		e	e	e	Almendros/85	
164	<i>Molothrus armenti</i>	Golfo - Yolfo												
					Cocos km6/93-96									
165	<i>Scaphydura oryzivora</i>	Arrocero	Condazo/79											
166	<i>Quizcalus mexicanus</i> (=Cassidix)	Lucías	a	a	a	a		a	a	a	a	a	a	a
	PARULIDAE													
167	<i>Basileuterus sp.</i>										Clarín ag. 82			
168	<i>Coereba flaveola</i>		e	e	e	e		e	e	e	e	e	Jobo/78	e
169	<i>Conirostrum bicolor</i>	Mielerito -manglero	c	c	c	c		c	c	c	c	c	c	c
170	<i>Dendroica petechia</i>							e			e	e		
171	<i>Protonotaria citrea</i>		Condazo/79										Presidio/78	Cojo/78
172	<i>Seiurus noveboracensis</i>		Condazo/79		Cocos									I. Pin/78
	THRAUPIDAE													
173	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo fino	e	e	e	e		e	e	e	e	e	e	e
174	<i>Thraupis palmarum</i>	Azulejo basto	Condazo/79		e	e		e	e	e	e	e	e	e
	FRINGILLIDAE													
175	<i>Saltator coerulescens</i>	Papayero	c	c	c	c		c	c	c	c	c	Presidio/78	I. Pin
176	<i>Sicalis flaveola</i>	Canario	c	c	c	c		c	c	c	c	c	Presidio/78	I. Pin
177	<i>Sporophyla intermedia</i>	Mochuelo	e	e	e	e		e	e	e	e	e	e	e
178	<i>Sporophyla minuta</i>	Mochuelo	e	e	e	e		e	e	e	e	e	e	e
179	<i>Sporophyla plumbea</i>	Mochuelo	e	e	e	e		e	e	e	e	e	e	e
180	<i>Volatinia jacarina</i>	Chirrí	e	e	e	e		e	e	e	e	e	Presidio/78	e

Sitios de recolección en el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande: Condazo, Jobo, Presidio; Edén, Isla de Pin, Isla del Cojo

Sitios de recolección en la vía Parque Isla de Salamanca: Clarín, Almedros, caño Valle, Los Cocos, Cangarú, Mahoma Km 36-44.

Los registros para la presencia de especies corresponden a la época de máxima problemática ecológica en el delta, años 84-85

Para algunas especies de difícil determinación visual se indica el sitio específico y fecha de captura.

za real), *Ardea cocoi* (garza morena), y *Egretta tricolor* (garza blanca), entre otras. También es importante mencionar la presencia de las garzas *Cochlearius cochlearius*, *Nycticorax nycticora* y *Nyctanassa violacea*, con hábitos preferiblemente crepusculares.

Es importante destacar, igualmente, la disminución alarmante que se ha presentado en las poblaciones de *Cairina moschata* (pato real) y de *Chauna chavaria* (chavarrie), situación que amerita la realización de un estudio que permita evaluar el estado real de sus poblaciones y determinar su distribución actual, máxime cuando se están presentando signos evidentes de recuperación del ecosistema.

**Mamíferos.** La presencia de 19 familias y 46 especies (Tabla 4), indica que la diversidad que sostiene el delta es elevada, a pesar de la problemática ambiental que afectó el ecosistema. Se debe destacar la disminución drástica en las poblaciones de las diferentes especies registradas y su concentración en sectores en los que el manglar se conservó en buenas condiciones y hacia la ribera de los ríos que descienden de la Sierra Nevada y desembocan en la Ciénaga Grande, como es el caso específico de *Alouatta seniculus* (mono aullador), que desde 1978 no se ha vuelto a registrar en la Isla de Salamanca y *Cebus albifrons* (mico cariblanco), que se ha registrado únicamente en los ríos Frío, Sevilla, Aracataca y Fundación, y en los caños Palenque y El Jobo. La época de reproducción para éstas dos especies en la zona entre julio y noviembre, período en el que se les ha observado transportando crías recién nacidas y juveniles.

Entre las especies de mamíferos que habitan en el delta se destaca el *Trichechus manatus* (manatí), que es una de las especies colombianas que figura en el estatus de especie amenazada (Thornback & Jenkins, 1982; Rodríguez-Mahecha *et al.*, 1985; Kees, 1992; IUCN, 1993, 1994; Rodríguez-Mahecha *et al.*, 1995; Alberico & Rojas, 1995; Alberico *et al.*, 2000).

En el delta se han registrado tres grupos. (1) Uno de seis individuos, observado en la madrugada del 26 de febrero de 1978 en la desembocadura de los ríos Frío-Sevilla en la Ciénaga Grande; el 24 de julio de 1995 fue atrapado en una red de pesca un macho de éste grupo, con 1.27 m de longitud y una edad aproximada de tres meses, el cual murió por el estrés de la captura. (2) Uno que habita en el río Fundación - caño Palenque, del que, el 28 de diciembre de 1979, los pescadores sacrificaron una hembra que quedó anclada en un meandro del río Fundación en los límites con el Santuario. (3) Y uno que habitaba en la Isla de Salamanca y que debido al incremento de la sedimenta-

ción y la salinidad en el complejo de caños y ciénagas internas, migró hacia el río Magdalena, ubicándose en la dársena del tajamar oriental, muy cerca de Bocas de Ceniza, en donde las fuertes corrientes y el oleaje intenso amenazaron su supervivencia, como lo demuestra la captura de dos hembras en el río Magdalena: "Sayida" donada al zoológico por un pescador el 29 de agosto de 1989, en donde vivió 10 años, y "Valentina" (de 1 m longitud y 17 kg de peso), recién nacida como lo demostraba la cicatriz umbilical, la cual fue arrebatada y arrastrada por las fuertes corrientes y el oleaje hacia el puerto de Barranquilla, sitio del cual la rescató el zoológico el 14 de febrero de 1996; se alimentó con leche de soya y sales hidratantes durante 17 días, al final de los cuales murió por una afección renal.

Otra de las especies de mamíferos de gran interés por figurar como amenazada es *Lontra longicaudis* (nutria), de la cual en marzo de 1983 se observó un grupo en la boca del caño Clarín Viejo (margen oriental del río Magdalena,). De éste sector los campesinos han capturado dos individuos, una hembra juvenil el 10 de agosto de 1993 y un macho adulto el 7 de septiembre de 1995, los cuales fueron donados al zoológico en donde murieron a los pocos días, la primera por insuficiencia renal y el otro por traumatismo ocasionado durante la captura.

En el sector oriental del Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande, donde los ecosistemas no sufrieron alteraciones drásticas, se debe mencionar, entre otros, la presencia de: *Odocoileus virginianus* (venado sabanero), *Hydrochaeris hydrochaeris* (chigüiro), *Leopardus pardalis* (ocelote), y últimamente se ha registrado la presencia de *Panthera onça* (jaguar americano), en el sector del Presidio entre los caños El Jobo y Palenque.

En el delta-estuario es importante destacar la recuperación ecológica con la aparición de extensas praderas de *Typha domingensis* (enea) y la colonización de las riberas de los caños con vegetación influida por agua dulce, lo que facilita el regreso de especies como el *Hydrochaeris hydrochaeris* (chigüiro) hacia el sector oriental de la Isla de Salamanca, como lo demuestra la captura de un individuo en la Ciénaga de la Redonda, durante marzo de 1997, así como de ratones y marsupiales en el km 17, sector del que se extraía sal durante el período crítico de desequilibrio ecológico.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

De la información recopilada se puede deducir que, a pesar de la grave problemática ecológica presentada en el delta, la diversidad de especies se mantuvo en los relictos de manglar que se conservaron en buenas condiciones y en otros humedales vecinos, hacia la ribera del río Mag-



**Tabla 4.** Estuario del Río Magdalena. 1=VP Isla Salamanca; 2=SFF Ciénaga Grande de Santa Marta; 3=Mahoma; 4=Los Cocos; 5=El Cojo; 6=Cga. La Aguja; 7=Palmichal; 8=El Presidio; 9=Condazo; 10=Isla Ochoa; 11=Río Fundación; 12=Palenque; 13=Río Magdalena; 14=Caño Clarín; 15=Dársena; 16=San Rafael; 17=Las Casitas; 18=Río Sevilla.

No.	Orden /Familias/Especies	Nombre común	Sitios de registro
	Orden MARSUPIALIA		
	Familia DIDELPHIDAE		
1	<i>Caluromys lanatus</i>		1,3
2	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zorro chucho	1,2
3	<i>Marmosa robinsonii</i>	Rata de anteojos	1,3,4
4	<i>Metachiurus nudicaudatus</i>	Comadreja	2,8,18
	Orden XENARTHRA		
	Familia MYRMECOPHAGIDAE		
5	<i>Tamandua mexicana</i>	Oso hormiguero	1,2
	Orden CHIROPTERA		
	Familia EMBALONURIDAE		
6	<i>Rhynchonycteris naso</i>	Murciélago	2,5,6
7	<i>Saccopteryx bilineata</i>	Murciélago	1,2
8	<i>Saccopteryx canescens</i>	Murciélago	1,2,4
	Familia NOCTILIONIDAE		
9	<i>Noctilio albiventer</i>	Murciél.-pescador	1,2
10	<i>Noctilio leporinus</i>	Murciél.-pescador	1,2
	Familia PHYLLOSTOMIDAE		
	Subfamilia PHYLLOSTOMINAE		
11	<i>Macrophyllum macrophyllum</i>	Murciélago	1,2
12	<i>Micronycteris megalotis</i>	Murciélago	1,2
13	<i>Mimon crenulatum</i>	Murciélago	2,5,6
14	<i>Phyllostomus discolor</i>	Murciélago	1(km 5),7
	Subfamilia GLOSSOPHAGINAE		
15	<i>Glossophaga longirostris</i>	Murciélago	1,2
16	<i>Glossophaga soricina</i>	Murciélago	1,2
	Subfamilia CAROLLIINAE		
17	<i>Carollia perspicillata</i>	Murciélago	2,8,9
	Subfamilia STENODERMATINAE		
18	<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélago	1,2
19	<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago	1,2
20	<i>Uroderma bilobatum</i>	Murciélago	2,8,9
	Subfamilia DESMODONTINAE		
21	<i>Desmodus rotundus</i>	Vampiro	2,6,10
	Familia VESPERTILIONIDAE		
22	<i>Myotis nigricans</i>	Murciélago	2,8
23	<i>Rhogeessa tumida</i>	Murciélago	1,2
	Familia MOLOSSIDAE		
24	<i>Molossus molossus</i>	Murciélago	1,2
25	<i>Eumops perotis</i>	Murciélago	2,8

Continuación tabla 4.

No.	Orden /Familias/Especies	Nombre común	Sitios de registro
	Orden PRIMATES		
	Familia CEBIDAE		
26	<i>Alouatta seniculus</i>	Mono aullador	2,11,12
27	<i>Cebus albifrons</i>	Mico maicero	2,11,12
	Orden CARNIVORA		
	Familia CANIDAE		
28	<i>Cerdocyon thous</i>	Zorro perro	1,2
	Familia PROCYONIDAE		
29	<i>Procyon cancrivorus</i>	Zorro patón	1,2
30	<i>Procyon lotor</i>	Zorro manglero	1,2
	Familia MUSTELIDAE		
31	<i>Conepatus semistriatus</i>	Mapurito	1(km 34 -40)
32	<i>Lontra longicaudis</i>	Nutria	1,13,14
	Familia FELIDAE		
33	<i>Leopardus pardalis</i> (=Felis)	Ocelote	1,2
34	<i>Leopardus weidii</i> (=Felis)	Tigrillo	1,2
35	<i>Herpailurus yaguaroundi</i> (=Felis) Tigrillo		1,2
36	<i>Panthera onça</i>	Jaguar	2,8
	Orden ARTIODACTYLA		
	Familia CERVIDAE		
37	<i>Mazama gouazoubira</i>	Venado cauquero	2,9
	Familia ODOCOILEIDAE		
38	<i>Odocoileus virginianus</i>	Venado sabanero	1,2
	Familia TRICHECHIDAE		
39	<i>Trichechus manatus manatus</i>	Manatí	1,,2,11,15
	Orden RODENTIA		
	Familia MURIDAE		
40	<i>Mus musculus</i>		
41	<i>Oryzomys concolor</i>		
42	<i>Rattus rattus</i>		
43	<i>Zygodontomys brevicauda</i>		
	Familia ERETHIZONTIDAE		
44	<i>Coendu prehensilis</i>	Puerco espín	2,16,17
	Familia HYDROCAHERIDAE		
45	<i>Hydrocaheris hydrochaeris</i>	Chigüiro- Ponche	1,2,14

dalena, sin embargo la disminución de las poblaciones ha sido crítica, máxime cuando en esas zonas se han incrementado los asentamientos humanos y la destrucción de la vegetación ribereña ha aumentado.

Teniendo como base la presente información se recomienda monitorear y evaluar las diferentes poblaciones

animales, así como su distribución espacial dentro del área, en la medida en que las diferentes comunidades vegetales del delta se recuperen.

Se sugiere igualmente desarrollar investigación básica con el fin de: (a) determinar el estado actual de los manglares y la vegetación de agua dulce en el delta; (b)

evaluar el estado actual de la población de las diferentes especies de aves que habitan en la vía Parque Isla de Salamanca y en el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande; (c) actualizar el inventario general de especies de mamíferos que habitan en la VIPIS y estimar el estado actual de sus poblaciones; y (d) actualizar el inventario general de las especies de peces y estimar su abundancia.

### Agradecimientos

Los autores agradecen y resaltan la labor del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente INDERENA (institución que dio origen al actual Ministerio del Medio Ambiente) y del doctor Jorge I. Hernández-Camacho (q.e.p.d.), pioneros en la conservación del patrimonio natural de los colombianos.

### Referencias bibliográficas

- Alberico, M. & V. Rojas.** 1995. Estado actual de la conservación de los mamíferos en Colombia. Univ. del Valle. Inf. Técnico: 1-34.
- . **A. Cadena, J. I. Hernández-Camacho & Y. Muñoz-Saba.** 2000. Mamíferos (Synspida: Theria) de Colombia. Biota Colombiana, 1 (1): 43-75.
- Álvarez-León, R.** 1980. Bibliografía sobre la Ciénaga de Santa Marta, la Isla de Salamanca y sus áreas de influencia, hasta mayo de 1980. Proy. ECODESARROLLO / INDERENA. Bogotá D. E., Inf. Técnico, 25 p.
- . **R. & J. H. Polanía-Vorenberg.** 1996. Los manglares del Caribe colombiano: síntesis de su conocimiento. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 20 (78) 1996: 447-464.
- CORPOMAG.** 1995. Plan de recuperación y manejo del Complejo Lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Diagnóstico socioeconómico en el área de influencia de los Caños Alimentador, Torno y Almendros en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Corp. Autón. Reg. del Magdalena. Min. Del Medio Ambiente. Unidad Ambiental Especial de Parques Nacionales. Santa Marta (Mag.), 29 p.
- Correa-Villanueva, A.** 1984. Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande (Breve Reseña). INDERENA-Reg. Magdalena. Santa Marta (Mag.). Inf. Técnico: 1-11.
- Dugand, A.** 1939. Aves de la región Magdalena-Caribe, Parte 2. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 3 (9-10): 47-65.
- . 1940. Aves de la región Magdaleno-Caribe, Parte 3. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 3 (11): 212-238.
- . 1947a. Aves del Departamento del Atlántico, Colombia. Caldasia, 4 (20): 499-648.
- . 1947b. The birds of the Republic of Colombia. Part 1. Caldasia 5 (22): 251-379.
- Franky S. M. & P. J. Rodríguez.** 1976. Parque Nacional Isla de Salamanca. MinAgricultura / INDERENA-División de Parques Nacionales. Bogotá D. E. (Colombia), 209 p.
- Hernández-Camacho, J. I. & J. V. Rodríguez-Mahecha.** 1986. Status geográfico y taxonómico de *Molothrus armenti* Cabanis, 1851 (Aves: Icteridae). Caldasia, 15 (71-75): 655-664.
- , **P. von Hildebrand & R. Álvarez-León.** 1986. Problemática del manejo de manglares con especial referencia al sector occidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, Colombia, pp.364-386 In: M. Vegas-Vélez (ed.) Mem. Sem. sobre el Estudio Científico y el Impacto Humano en el Ecosistema de Manglar, UNESCO / UNIVALLE. Cali (Valle) Colombia, nov. 27- dic. 1° de 1978, 405 p.
- **Hilty, S. L. & W. A. Brown,** 1986. A Guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. New Jersey (USA), 836 p.
- HIMAT.** 1991. Información meteorológica del aeropuerto internacional Ernesto Cortizos. Inst. Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Barranquilla (Atl.), s.p.
- Hollister, R. A.** 1974. Las aves observadas en la isla de Salamanca (enero 16-18 y 22). INDERENA-Parques Nacionales. Bogotá D.E. Inf. Técnico: 1-5.
- IGAC.** 1969. Estudio semidetallado de Suelos del sector plano del municipio de Ciénaga, para fines agrícolas. Departamento del Magdalena. Sociedad Agrológica Colombiana Ltda. Bogotá D. E., 5 (1), s.p.
- IGAC.** 1976. Información geográfica y cartográfica del Departamento del Magdalena. Inst. Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D. E.
- INDERENA.** 1978. Plan de emergencia para la restauración del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Inst. Nal. de los Rec. Nat. Renov. y del Medio Ambiente-Div. de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico, s.p.
- . 1983. Términos de referencia para adelantar estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltaico - estuarina del río Magdalena, en especial el área del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Inst. Nal. de los Rec. Nat. Renov. y del Medio Ambiente-Div. de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico, s.p.
- . 1988. Guía del Santuario de Fauna y Flora Ciénaga Grande. Inst. Nal. de los Rec. Nat. Renov. y del Medio Ambiente-Div. de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico: 1-11.
- INDERENA / SODEIC.** 1987. Estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltaico - estuarina del río Magdalena, en especial el área del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Inst. Nal. de los Rec. Nat. Renov. y del Medio Ambiente-Div. de Parques Nacionales / SODEIC Ltda. Bogotá D. E. Inf. Final, s.p.
- IUCN.** 1982. Directory of neotropical protected areas: Colombia. The World Conservation Union. Gland (Switzerland): 121-156.
- . 1992. Red list of threatenet animal. Groombridge, B. (ed.). The World Conservation Union. Gland (Switzerland), 226 p.
- . 1993. Red list categories. The World Conservation Union. Species survival Commision. Gland (Switzerland), s. p.
- Kees, S.** 1992. Cheklist of CITES. Amsterdam (Netherlands), 191 p.

- Mancera-Pineda, J. E., O. L. Baena-Parra & J. C. Diez-Grisales.** 1996. Referencias bibliográficas publicadas e inéditas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. INVEMAR / CORPOMAG / GTZ. Santa Marta (Mag.) Colombia. Vol. I, 275 p.
- Meyer de Schauensee R.** 1948. Aves marinas de las costas e islas colombianas. *Caldasia*, 4 (19): 379-398.
- \_\_\_\_\_. 1949. The birds of the Republic of Colombia, Part 2. *Caldasia*, 5 (23): 381-644.
- Moreno-Bejarano, L. M.** 1978. Lista de ejemplares coleccionados en el Santuario de Fauna y Flora de la Ciénaga Grande. INDERENA-División de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico: 1-7.
- \_\_\_\_\_. 1982. Evaluación del estado actual de la vegetación en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. INDERENA-División de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico: 1-26.
- \_\_\_\_\_. 1984. Variaciones de la vegetación del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. INDERENA-División de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico: 1-55.
- Naranjo-Henao, L. G.** 1981. Adiciones de la avifauna del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca (Magdalena). *UBJTL-Bol. Mus. Mar.*, 10: 54-62.
- PROCIÉNAGA.** 1993. Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta. CORPOMAG / CORPES-CA / INVEMAR / GTZ. Santa Marta (Mag.). Inf. Técnico, 11 p.
- \_\_\_\_\_. 1994. Estudio de impacto ambiental de la re-apertura de canales en el delta exterior derecho del río Magdalena. CORPOMAG / CORPES-CA / INVEMAR / GTZ. Santa Marta (Mag.). Inf. Técnico, 382 p.
- \_\_\_\_\_. 1995. Plan de manejo ambiental de la Subregión Ciénaga Grande de Santa Marta, 1995-1998. CORPOMAG / CORPES-CA / INVEMAR / GTZ. Santa Marta (Mag.). Inf. Técnico, s. p.
- Phelps Jr. W. H. & R. Meyer de Schauensee.** 1979. Una guía de las aves de Venezuela. Gráficas Armitano, C.A. Caracas (Venezuela), 484 p.
- Rodríguez-Mahecha, J. V., J. I. Hernández-Camacho, J. V. Rueda-Almonacid & J. Morales-Sánchez.** 1985. Colombia: fauna en peligro. INDERENA / PROCAM. Bogotá D.E., 18 p.
- Rodríguez-Mahecha, J. V., J. I. Hernández-Camacho, T. R. Defler, M. Alberico, R. B. Mast, R. A. Mittermeier & A. Cadena.** 1995. Mamíferos colombianos: Sus nombres comunes e indígenas. *Occasional Papers in Conservation Biology*, 3: 1-56.
- Sánchez-Páez, H.** 1988. Hacia la salvación del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. *Trianea (Act. Cient. y Tecnol. INDERENA)*, 2: 505-527.
- \_\_\_\_\_. & **J. I. Hernández-Camacho.** 1979. Sinopsis de la problemática del balance halohídrico en el Parque Nacional Natural Isla de Salamanca, con particular referencia a los flujos de agua preexistentes. INDERENA-División de Parques Nacionales. Bogotá D. E. Inf. Técnico: 1-27.
- \_\_\_\_\_. & **J. I. Hernández-Camacho.** 1983. Should be saved Salamanca Island National Natural Park Voluntary Paper Session I: Management of Key Species and Communities in Nature. Minsk (Byelorissia) URSS, 26 Sept.- 2 Oct. of 1983, 13 p.
- \_\_\_\_\_. & **R. Álvarez-León.** 1998. Los manglares del Caribe y Pacífico: ecosistemas estratégicos para Colombia, alcances y lecciones de un Proyecto sobre Desarrollo Sostenible de Humedales, pp. 93-105 In: E. Guerrero (ed.) & H. Sánchez-Páez, R. Álvarez-León & E. Matilde Escobar-Vélez (comp.) Una Aproximación a los Humedales en Colombia. Fondo FEN-COLOMBIA / UICN. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia), 163 p.
- \_\_\_\_\_. & **R. Álvarez-León, F. Pinto-Nolla, A. S. Sánchez-Alfárez, J. C. Pino-Renjifo, I. García-Hansen & M. T. Acosta-Peñaloza.** 1997. Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia, pp. 1- 511 In: H. Sánchez-Páez & R. Álvarez-León (eds.) *Proy.PD 171 / 91 Rev. (F) Fase I Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia*, MMA / OIMT. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia), 511 p.
- \_\_\_\_\_. & **G. A. Ulloa-Delgado, R. Álvarez-León, W. O. Gil-Torres, A. S. Sánchez-Alfárez, O. A. Guevara-Mancera, L. Patiño-Callejas & F. E. Páez-Parra.** 2000. Hacia la recuperación de los manglares del Caribe de Colombia, pp. 1- 294 In: H. Sánchez-Páez, G. A. Ulloa-Delgado & R. Álvarez-León (eds.) *Proy.PD 171 / 91 Rev. (F) Fase II (Etapa II) Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia*, MMA / ACOFORE / OIMT. Santa Fe de Bogotá D. C., 294 p.
- Todd, W. E. C. & M. A. Carriker Jr.** 1922. The birds of the Santa Marta Region of Colombia: a study in altitudinal distribution. *An. Carnegie Mus.*, 14: 1-611.
- Toro, G.** 1969. Avifauna de la Isla de Salamanca. INDERENA-Div. Parques Nacionales y Vida Silvestre. Santa Marta (Mag.) Inf. Técnico (1): 1-19.
- \_\_\_\_\_. & **Borrero, J. I., Russell, S., Chiriví, H., León, C.A. & J. I. Hernández-Camacho.** 1975. Lista general de las aves de Salamanca. INDERENA-Div. Parques Nacionales y Vida Silvestre. Bogotá D. E. Inf. Técnico (2): 1-16.
- Thornback, J. & M. Jenkins.** 1982. The IUCN Manual red data book, Part. 1. Unwin Bros Ltd. The Gresham Press. Old Working. Surrey (UK).
- ULL / INVEMAR / MINAMBIENTE.** 2001. Estructura y función de un ecosistema de manglar a lo largo de una trayectoria de restauración en diferentes niveles de perturbación: El caso de la región de Ciénaga Grande de Santa Marta. *Proy. COLCIENCIAS-INVEMAR 2105-09-13080-97*, Contrato 429-97. University of Louisiana at Lafayette / Inst. Invest. Marinas y Costeras / Ministerio del Medio Ambiente. Santa Marta (Mag.) Colombia. Inf. Técnico Final, 244 p. + apéndice y anexos.
- Ulloa-Delgado, G. A., H. Sánchez-Páez, W. O. Gil-Torres, J. C. Pino-Renjifo, H. Rodríguez-Cruz & R. Álvarez-León.** 1998. Conservación y uso sostenible de los manglares del Caribe colombiano, pp: 1-224 In: H. Sánchez-Páez, G. A. Ulloa-Delgado & R. Álvarez-León (eds.) *Proy.PD 171 / 91 Rev. (F) Fase II (Etapa I) Conservación y Manejo para el Uso Múltiple y el Desarrollo de los Manglares en Colombia*, MMA / ACOFORE / OIMT. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia), 224 p.
- UNESCO.** 2001. Ciénaga Grande de Santa Marta Biosphere Reserve - Colombia, pp. 21 In: Final Report International. Part 8. New Biosphere Reserves: Results of the MAB Bureau. Co-ordinating Council of the Programme on Man and the Biosphere. Sixteenth Session UNESCO Headquarters. París, 6-10 November, 2000, 52 p.

# AISLAMIENTO TÉRMICO DEL MANTO DE HOJAS DE ESPELETIINAE DE COLOMBIA DE BIOFORMA CAULIRROSULAR

por

M. A. Murcia R<sup>1</sup> & L. E. Mora O.<sup>2</sup>

## Resumen

**Murcia, M.A. & L.E. Mora:** Aislamiento térmico del manto de hojas de Espeletiinae de Colombia de bioforma caulirrosular. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 535-552, 2003. ISSN 0370-3908.

El comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (**MHJ**), que rodea el ápice caulinar de *Espeletia grandiflora* Mutis ex Humb. & Bonpl., *E. incana* Cuatrec. y *E. hartwegiana* Cuatrec., se aparta significativamente de la curva térmica del aire. Las diferencias térmicas aumentan con la altura de localidades de las cordilleras Oriental y Central de Colombia, situadas entre 3300 y 4300 msnm. Las temperaturas nocturnas medias del **MHJ** se relacionaron inversamente con la altitud y directamente con la humedad relativa. La bioforma característica de las *Espeletiinae* induce el sobrecalentamiento y el aislamiento térmico del **MHJ** a las bajas temperaturas nocturnas, debido a la configuración de un gradiente térmico interno altamente diferencial sostenido por el comportamiento térmico del suelo.

**Palabras clave:** Aislamiento térmico, manto de hojas jóvenes, sobrecalentamiento, bioforma, caulirrosular, Espeletiinae, evasión.

## Abstract

The temperature oscillations of the young leaves mantle (**YLM**) that covers the apical meristem of the following *Espeletia* species: *Espeletia grandiflora* Mutis ex Humb. & Bonpl., *E. Incana* Cuatrec. y *E. hartwegiana* Cuatrec., was compared with that of the atmosphere of seven different places located between 3300 and 4300 meters elevation in the Colombian Oriental and Central Cordilleras, where the mentioned species grow. The thermal behavior of young leaves mantle varied significantly according to the altitude, but it was always different from that of the air. The **YLM** night mean temperatures were inversely related to the altitude, but directly to that of the relative humidity. It was shown that the *Espeletiinae* growthform induces overheating, while the low tem-

<sup>1</sup> Corporación Manaba. A.A. 21144, Bogotá.

<sup>2</sup> Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. A.A. 44763, Bogotá. Profesor Honorario Emérito. Universidad Nacional de Colombia.

peratures of *YLM*, produces isolation. All this happens due to the origination of a high differential inner thermal gradient, supported by the soil thermal behavior.

**Key words:** Thermal isolation, young leaves bank, overheating, life form, big rosette, Espeletiinae, avoidance.

## Introducción

El manto de hojas jóvenes de *Espeletia timotensis* y *E. spicata* de los páramos venezolanos evita el congelamiento del meristema caulinar apical en presencia de temperaturas ambientales inferiores a cero (Rada *et al.*, 1985). Esto mismo sucede en Ericáceas alpinas de acuerdo con los registros de Sakai & Larcher (1987). Dicha protección se logra mediante el consumo de la energía necesaria para disminuir crioscópicamente la solidificación del agua intracelular con metabolitos. El sobreenfriamiento alcanza el límite en el cual las células pueden resultar lesionadas (Levitt, 1972, 1980). Las yemas apicales están cubiertas por un manto de hojas jóvenes dispuestas a manera de cobertores que se arquean nictinásticamente en la noche (Monasterio, 1986), con lo cual se reduce la conducción del calor y la convección de una hoja a la siguiente (Smith, 1979; Rada *et al.*, 1985). En este estudio se propone que el manto de hojas jóvenes de individuos de *Espeletia grandiflora*, *E. incana* y *E. hartwegiana* de los Andes colombianos centrales cumple la misma función protectora a las bajas temperaturas que de otra manera afectarían el meristema caulinar apical. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en las *Espeletiinae* venezolanas, no habría consumo de energía, según se infiere de la diferencia estadística de los modelos de los comportamientos térmicos diarios del aire y del manto de hojas jóvenes (MHJ).

## Materiales y métodos

Se estudiaron individuos de *Espeletia spp.* (Asteraceae) entre 3.300 y 4.300 msnm, en las cordilleras Oriental y Central de Colombia (Tabla 1).

Monserate comprende la hacienda ganadera Santa Bárbara y el páramo El Granizo colindante. En este último se halla instalada la estación climática "Central" del proyecto "Estudios ecológicos del páramo y del bosque alto-andino", rodeada de poblaciones propias de la comunidad "Páramo rocoso", según ha sido descrito por Mora-Osejo (1994). La localidad Paila, se encuentra en el Parque Nacional Natural Chingaza, situado a 90 Km al E de Bogotá. El Páramo de Ocetá se encuentra entre Monguí y Mongua (Boyacá, plancha 172-III-D), cubre 6676.94 ha. Es parte de un gran complejo paramuno a lo largo de la Cordillera. Otra localidad donde se efectuaron registros fue el Nevado del Tolima que abarca la cuenca del Combeima, plancha 225-IV-C. Finalmente, el Nevado del Cisne queda al NE del río Claro y arriba del camino a Santa Rosa en una planicie de arenales que se desprende del cerro Morro Negro, plancha 225-II-C, departamento del Tolima.

*Espeletia grandiflora* hace parte del Frailejonal-pajonal, vegetación típica de páramo; *E. incana*, del Frailejonal-chuscal con *Chusquea tessellata* y *Calamagrostis efusa*, en sitios ligeramente inclinados y pantanosos; y *E. hartwegiana*, de la *Psamophytia* con *Calamagrostis spp.* que forma parches en arenales (Del Llano, 1990; Rangel & Sturm, 1994).

Se eligieron al azar once (11) individuos adultos de diferente talla en cada lugar. En la base del manto de hojas jóvenes (MHJ) se introdujo un termopar tipo K (NiCr-NiAl) con punto de soldadura y se sujetó firmemente alrededor de la base de una de las hojas adultas de cada individuo para evitar que el viento lo pudiera desprender.

Tabla 1. Especies de *Espeletia* y localidades estudiadas

Especie	Altitud (msnm)	N	W	Lugar	Cordillera
<i>Espeletia grandiflora</i> Mutis ex Humb. & Bonpl.	3300	4°45'	74°	Monserate	Oriental
	3370	4°31'30.24"	73°46'41.04"	La Paila	
	3400	4°31'37.37"	73°46'49.14"		
<i>Espeletia incana</i> Cuatrec.	3750	5°42'10.02"	72°48'40.57"	Ocetá	
<i>Espeletia hartwegiana</i> var. <i>centroandina</i> Cuatrec.	3870	4°38'59.63"	75°21'25.62"	Nevado del Tolima	Central
	4200	4°39'23.12"	75°21'03.75"		
	4300	4°50'37.04"	75°21'06.29"	Nevado del Cisne	

Las medidas térmicas se tomaron cada hora durante ciclos de veinticuatro horas, del individuo uno al once, con un termómetro digital LCD Thandar TH302 sensible entre -40.0 y 199.9 °C. A la vez se registraron la temperatura (°C) y humedad relativa (HR) del aire circundante a cada uno de los individuos con un higrómetro digital Testoterm sensible entre -199.9 y 199.9 °C, que también fue empleado para medir la temperatura del suelo, a 10 cm de profundidad cerca del individuo de talla intermedia denominado patrón (Murcia, 2001). Las dimensiones morfométricas generales de las poblaciones fueron: la longitud total (talla), que resulta de sumar el caule y la roseta; cobertura (proyección de la extensión de las hojas adultas de la roseta); perímetro basal de la roseta (cuello) y de la necromasa en pie; largo, ancho y área de tres hojas adultas por individuo.

Los comportamientos térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de las especies de *Espeletia* y del aire se establecieron con base en la ecuación de regresión polinómica que mejor se ajustó a la marcha diaria de las temperaturas en función del intervalo de tiempo considerado [0:00-24:00] horas (Figura 1). Las ecuaciones se anotan en los rótulos de las figuras. Los valores registrados y estimados están representados con marcadores y líneas continuas. El cálculo y la comparación de los estadísticos de prueba para los respectivos betas [ $t_j$ ] e interceptos [ $t_0$ ] se realizaron de acuerdo con Montgomery (1991) y Zar (1999), a través de la aplicación del programa estadístico SAS (1996), para establecer si el comportamiento térmico del MHJ difería significativamente del ambiente (Tabla 1). El "efecto" de la altitud sobre las temperaturas medias del MHJ, del aire, y de la humedad relativa (HR), en tres espacios de tiempo: ciclo diario (24 horas), período diurno (6:00 - 17:59) y nocturno (18:00 - 5:59), se examinó mediante análisis de varianza multivariado (GLM). El agrupamiento de las temperaturas y las HR medias, en subconjuntos homogéneos, a lo largo de la

franja altitudinal, se llevó a cabo según la prueba de comparación múltiple de Tukey (HSD). El contraste de las temperaturas medias del MHJ y el aire ( $t$  de Students), según los espacios de tiempo considerados, se tuvo en cuenta para determinar si el compartimiento estructural del manto de hojas puede atenuar el estrés térmico ocasionado por las temperaturas altas y bajas del ambiente. Los análisis de correlación (Pearson) fueron realizados para determinar la asociación entre las variables ambientales estudiadas, la morfometría general de las poblaciones de *Espeletia*, el comportamiento térmico y las temperaturas medias del MHJ.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \beta_4 X^4 + \dots + \beta_{n-1} X^{n-1} + e_{ij}$$

Figura 1. Modelo de regresión polinómico empleado para explicar y comparar el comportamiento térmico del MHJ y del aire (Montgomery, 1991; Zar, 1999).

## Resultados

### Monserate: 3300 m.

La marcha diaria de las temperaturas del manto de hojas jóvenes (MHJ) y del aire contiguo a cada uno de los once individuos adultos de *Espeletia grandiflora* se ajustó a un modelo polinómico de cuarto grado con coeficientes de determinación ( $R^2$ ,  $p < 0.001$ ) superiores al 80.0% (Figura 2).

Las temperaturas más extremas del MHJ se registraron en el individuo 1 (Tabla 2): la más baja a las 6:00, 2.6°C, con 94.8% de HR, estando el aire a 7.0°C; y la más alta a las 11:40, 24.8°C, con HR del 43.1% y el aire a 23.5°C. La mayor diferencia térmica entre el MHJ de este individuo y el ambiente fue de -6.0°C a las 7:30, con el aire a 11.5°C y 52.9 % de HR. En el 3 se detectó el máximo descenso térmico del MHJ a las 7:50, con 6.3°C menos que los

Tabla 2. Morfometría de *Espeletia grandiflora* Mutis ex Humb. & Bonpl., Monserate 3300 m.

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO		HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA		CUELLO	NECROMASA	LARGO	ANCHO	ÁREA
1	191	145	46	7389.8	48	145	37.3	7.5	186.5
2	131	87	44	5808.8	58	190	42.3	7.2	203
3	121	76	45	6503.9	58	164	35.1	8.8	205.9
4	137	83	54	8992	48	218	44.1	7.7	226.4
5	193	148	45	5153	43	128	41.5	6.9	190.9
6	196	156	40	4071.5	46	164	39.6	6.9	182.2
7	114	84	30	3631.7	34	119	37	4.9	120.9
8	108	66	42	5281	48	143	42.7	8.9	253.4
9	89	46	43	4417.9	46	172	41.3	6.1	168
10	132	91	41	5808.8	54	156	39.5	5.5	144.8
11	170	126	44	5281	48	137	43.4	8.6	248.8

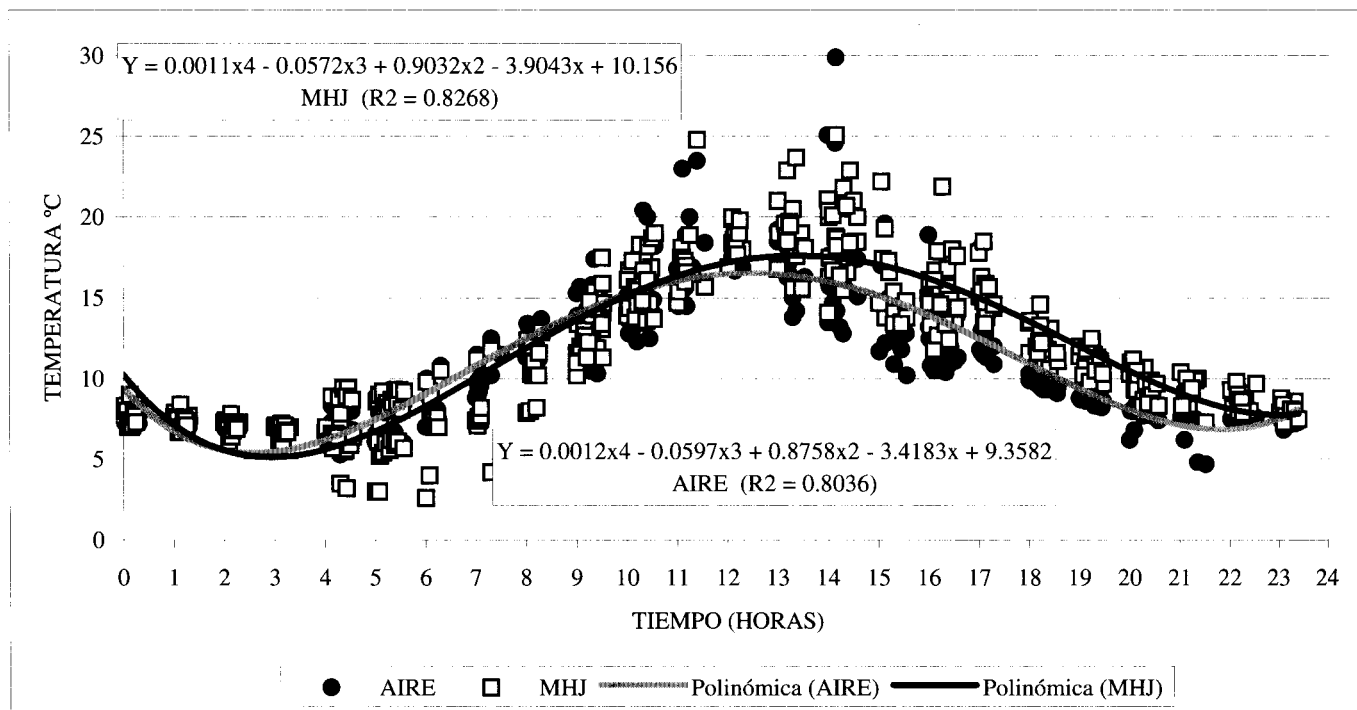
11.5°C del aire, ante un 48.4% de HR. Mientras, el 4 con las mayores dimensiones de roseta, cobertura, necromasa y longitud de hoja, mostró el mayor grado de calentamiento interno 7.6°C a las 13:37, con HR de 46.7%.

El manto de hojas de tres de los once individuos mostró diferencias de amplitud térmica momentáneas con respecto al comportamiento térmico general. Estos individuos presentaron las temperaturas más bajas (2.6°C - 3.0°C) y más altas (25.1°C - 24.8°C). Sin embargo, entre las 22:00 y las 3:00 del día siguiente (Figura 2) la población mantuvo equilibrio térmico con el ambiente.

El individuo No. 1 presentó la temperatura media menor del MHJ (10.79°C) y el No. 6, de tamaño mayor, la más alta (12.29°C). Durante el ciclo diario, la temperatura media del MHJ (11.85°C) difirió de modo significativo con respecto al ambiente (11.11°C), con HR de 79.34 %;  $t$  ( $p < 0.05$ ,  $n = 412$ ). En tanto, el promedio nocturno del MHJ (8.45°C) fue más significativo y superior al ambiente (7.66°C), con HR de 93.16 %;  $t$  ( $p < 0.001$ ,  $n = 197$ ). De esta forma, se establece que el MHJ tiene la propiedad de sobrecalentarse al medio día y retener la energía térmica interna suficiente para atenuar las bajas temperaturas nocturnas y configurar así un mecanismo de aislamiento térmico efectivo (Figura 2).

Según la prueba de Tukey, el individuo No. 4, de mayor cobertura, mostró las menores temperaturas diurnas y nocturnas del suelo (10.41; 9.99°C), mientras el No. 9, de menor porte y talla, las mayores (11.04; 10.9°C); ( $p < 0.001$ ,  $n = 11$ ). Las coberturas de los individuos se correlacionaron inversamente con las temperaturas medias nocturnas del suelo ( $r = -0.727$ ,  $p = 0.011$ ,  $n = 11$ ), lo cual concuerda con las relaciones negativas establecidas por **Baver et al**, (1974), entre las propiedades térmicas de los suelos versus la cobertura vegetal y la cantidad de humus existente en el suelo a diferentes profundidades.

Si bien no existe una relación estrecha entre las temperaturas del MHJ y la morfometría, se encontró una relación altamente significativa entre el suelo y el MHJ ( $r = 0.441$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 412$ ); esto indica que los individuos con las mayores coberturas, que crecen en suelos con altos contenidos de materia orgánica de la región de Monserrate, tienden a incrementar aun más la temperatura interna del MHJ debido al aumento del área de intercepción y a la estabilidad térmica del suelo (10.48 +/- 0.5137°C). Así, en la noche se configura un gradiente térmico diferencial entre el suelo (10.48°C), el MHJ (8.45°C) y el ambiente (7.66°C) que explica el comportamiento y la capacidad de aislamiento del MHJ. Asimismo, este mecanismo de evasión térmico pasivo está relacionado



**Figura 2.** Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de *Espeletia grandiflora* y del aire. Hacienda Santa Bárbara, 3300 m. Región de Monserrate. Abril 8 y 9 de 1995.



con la productividad primaria neta (PPN) de *Espeletia grandiflora* debido a que las poblaciones que crecen en suelos ricos en materia orgánica tienen una PPN mayor (Hernández & Murcia, 1992; Murcia, 2001).

#### La Paila: 3370 m.

Los patrones de comportamiento térmico del manto de hojas de *Espeletia grandiflora* versus los del ambiente en el PNN Chingaza, fueron los que en menor grado coincidieron, en razón de la mayor dispersión de los registros al medio día. Esto puede haber ocurrido porque las tem-

peraturas se midieron en época de lluvias intermitentes y escasas, cuando el clima es más inestable (Figura 3).

Las temperaturas puntuales más extremas del MHJ se obtuvieron en los individuos No. 2 y No. 9 (Tabla 4). El primero mostró la más alta (21.3°C), a las 12:02, con 13.4°C aire y HR de 60%. El segundo, de menor tamaño, la más baja (6.5°C), a las 6:16, aire de 6.7°C y 100% de HR. En tanto, el individuo No. 11, de mayor talla, tuvo la menor temperatura media (9.53°C) y el No. 9, la máxima (10.64°C). Las temperaturas medias del MHJ, de los períodos nocturno (8.72°C) y ciclo diario (10.23°C), fueron notablemente

**Tabla 3.** Cálculo de los estadísticos de comparación (t de Student) de las temperaturas medias del MHJ y del aire; su diferencia (delta) y la probabilidad,  $P(T \leq t)$  dos colas, por períodos de tiempo, según la altura y la HR% media.

SITIO-ESPECIE-ALTITUD	PERÍODO	N	T°C MEDIA			HR (%)	t	Prob >  T
			MHJ	AIRE	DELTA			
Monserrate <i>E. grandiflora</i> 3300	Ciclo Diario	412	11.85	11.11	0.75	79.77	2.42	0.016
	Diurno	215	14.97	14.27	0.70	67.50	1.92	0.055
	Nocturno	197	8.45	7.66	0.79	93.16	-4.68	3.922E-06
La Paila <i>E. grandiflora</i> 3370	Ciclo Diario	298	10.14	9.00	1.15	91.44	6.08	2.097E-09
	Diurno	142	11.56	10.13	1.43	85.21	4.70	4.045E-06
	Nocturno	132	8.72	7.71	1.01	98.20	11.56	2.781E-25
La Paila <i>E. grandiflora</i> 3400	Ciclo Diario	264	10.05	8.94	1.10	92.71	6.29	6.679E-10
	Diurno	132	11.44	10.19	1.25	87.38	5.10	6.324E-07
	Nocturno	132	8.65	7.70	0.95	98.05	9.69	3.552E-19
Ocetá <i>E. incana</i> 3750	Ciclo Diario	264	8.28	6.81	1.47	71.05	3.62	0.00031
	Diurno	132	11.40	10.03	1.38	59.08	2.51	0.01235
	Nocturno	132	5.16	3.60	1.56	83.06	6.73	1.035E-10
Nevado del Tolima <i>E. hartwegiana</i> 3870	Ciclo Diario	297	5.57	4.64	0.93	74.65	2.45	0.01427
	Diurno	165	8.10	7.22	0.88	71.23	1.77	0.07609
	Nocturno	132	2.42	1.42	1.00	78.93	3.75	0.00021
Nevado del Tolima <i>E. hartwegiana</i> 4200	Ciclo Diario	311	9.42	4.61	4.81	80.11	11.08	3.429E-26
	Diurno	167	12.87	7.44	5.44	71.55	10.07	5.076E-21
	Nocturno	144	5.41	1.34	4.07	90.13	10.92	1.832E-23
Nevado del Cisne <i>E. hartwegiana</i> 4300	Ciclo Diario	264	7.42	4.17	3.25	73.43	7.98	9.183E-15
	Diurno	132	10.37	7.07	3.31	62.09	5.55	6.776E-08
	Nocturno	132	4.48	1.28	3.20	84.78	14.02	1.031E-33

superiores a los registros respectivos del ambiente (7.74°C y 9.06°C;  $p < 0.001$ ). Estas diferencias fueron más notorias con respecto a las observadas en Monserrate, en particular durante el ciclo diurno, lo cual corrobora la capacidad de sobrecalentamiento y evasión del **MHJ**.

Los individuos con las rosetas de mayor tamaño presentaron menor diferencia entre las temperaturas medias correspondientes al período diurno y nocturno. Entre mayor sea la longitud y el perímetro basal de la roseta, menores son las diferencias térmicas del **MHJ** ( $r =$

-0.613 y -0.694,  $p < 0.05$ ). También se encontró que entre mayores sean los perímetros basales, menores serán las temperaturas medias diurnas del **MHJ** ( $r = -0.677$ ,  $p < 0.05$ ). Por consiguiente, se puede concluir que el tamaño de la roseta está directamente relacionado con la capacidad de protección a la insolación del **MHJ**. Los individuos con las rosetas más grandes pueden atenuar más fácilmente el incremento térmico del **MHJ** debido a la mayor capacidad de almacenamiento hídrico; lo cual, a su vez implica un aumento del calor específico de la roseta por unidad de masa.

Tabla 4. Morfometría de *Espeletia grandiflora*. La Paila, 3370 m

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO CUELLO
	TOTAL	CAULE	ROSETA		
1	127	84.0	43	4901.7	40.5
2	186	146.5	39.5	4778.4	34.5
3	158	114.0	44	6082.1	49.5
4	158	119.0	39	4359.2	34.0
5	171	115.0	56	8332.3	55.2
6	142	108.0	34	4778.4	39.0
7	104	62.0	42	5674.5	43.5
8	60	20.0	40	3473.2	38.8
9	32	7.5	24.5	498.8	1.8
10	220	173.0	47	7543.0	54.5
11	225	180.0	45	7238.2	45.5

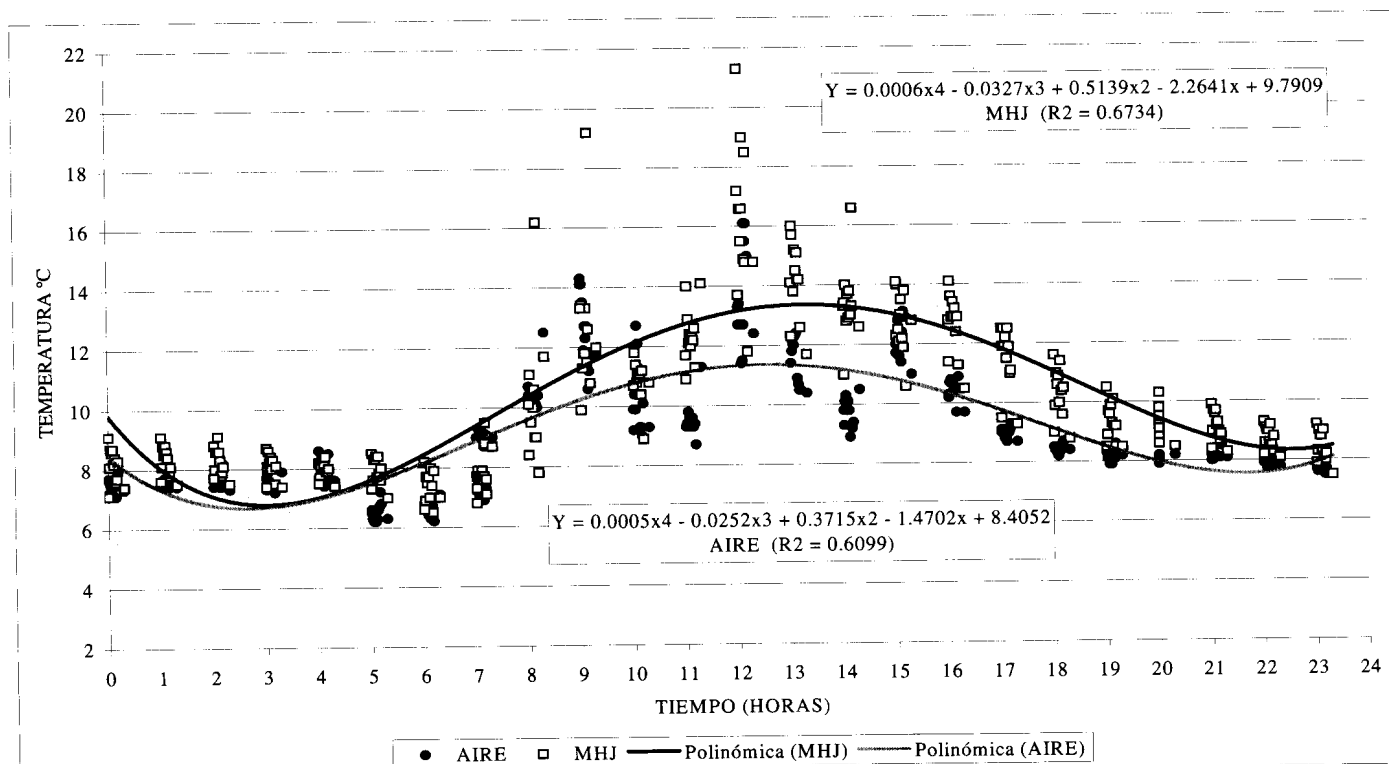


Figura 3. Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de *Espeletia grandiflora* y del aire. PNN Chingaza. La Paila, 3370 m. Enero 10-11 de 1997.

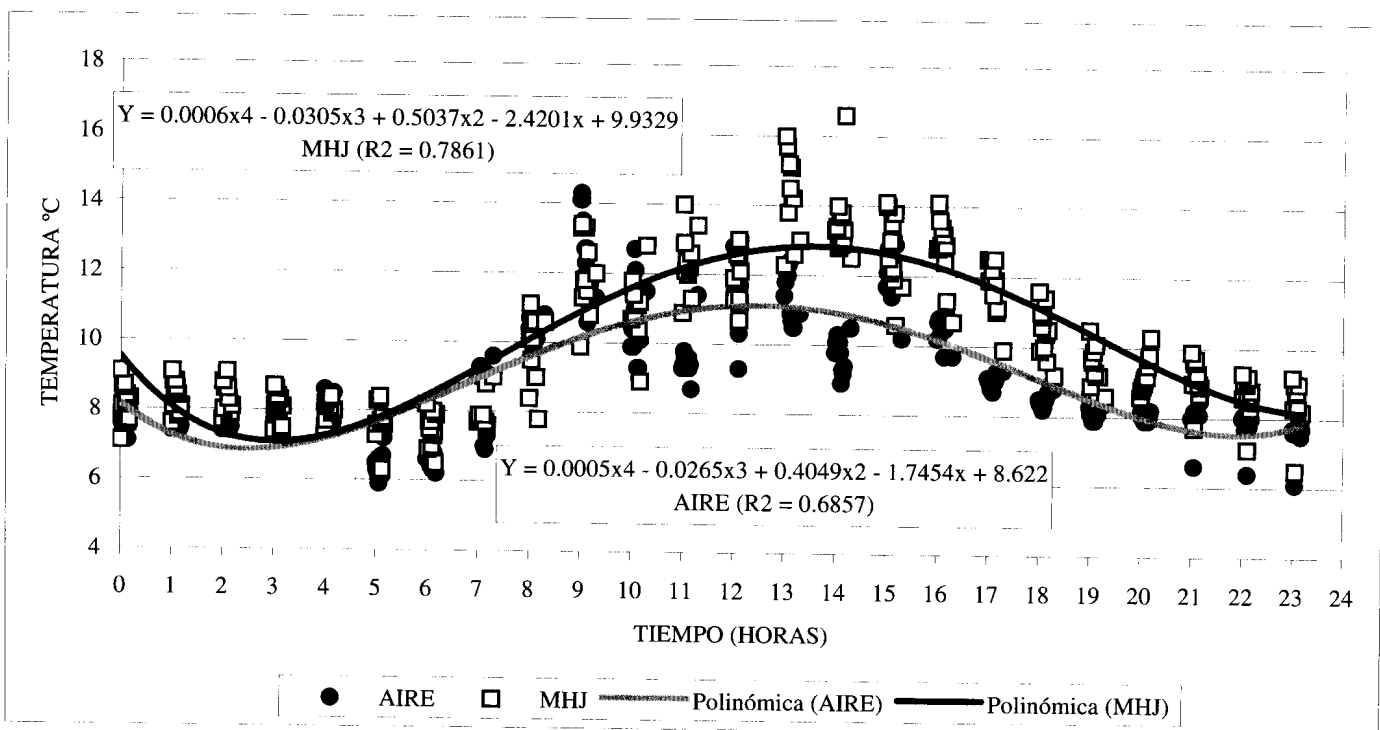
**La paila: 3400 m.**

La temperatura media del manto de hojas fue de **10.05°C** y la del ambiente de **8.94°C** con HR de 92.71%. Un individuo de 1.18 m de alto exhibió la temperatura promedio menor (**9.55°C**) y otro de 90 cm la mayor (**10.42°C**). No obstante, se registraron temperaturas puntuales más extremas como en el caso del individuo de menor tamaño (**6.2°C**) a las 5:07, ante 5.9°C y 100% de HR, o los **16.6°C** a las 14:18, ante 9.4°C y 100% de HR,

del individuo **10** (Tabla 5). A pesar de las fluctuaciones menores y esporádicas de la HR a 3400 m, el **MHJ** de *Espeletia grandiflora* fue más susceptible de calentarse que de enfriarse (Figura 4). Esto se debe a las variaciones súbitas de la radiación global, a lo largo del periodo de luz, en las altas montañas tropicales húmedas (Mora-Osejo, 2001). Así el **MHJ** mantiene el calor casi a una tasa constante aun cuando la temperatura del aire descienda momentáneamente como aconteció entre las 5:00 y 5:30 (Figuras 3 y 4).

**Tabla 5.** Morfometría general de *Espeletia grandiflora* Mutis ex Humb. & Bonpl. La Paila, 3400 m.

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO CUELLO	HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA			LARGO	ANCHO	ÁREA
1	142	100	42	6082.1	38.5	41.5	6.5	179.8
2	185	140	45	6939.8	50	49.5	6.4	211.2
3	90	46	44	7697.7	42	41	6.1	166.7
4	190	145	45	4656.6	43	36.5	6	146
5	65	19	46	5216.8	37	37	5.8	143.1
6	166	122	44	6647.6	37.5	42.5	5	141.7
7	165	124	41	3019.1	36	40.5	8.5	229.5
8	172	127	45	5410.6	42.5	40	5.2	138.7
9	176	127	49	8011.9	41	41	6	164
10	118	75	43	6082.1	41.5	43.5	6	174
11	110	72	38	5944.7	39	39.5	5.5	144.8



**Figura 4.** Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de *Espeletia grandiflora* y del aire. PNN Chingaza. La Paila, 3400 m. Abril 3-4 de 1996.

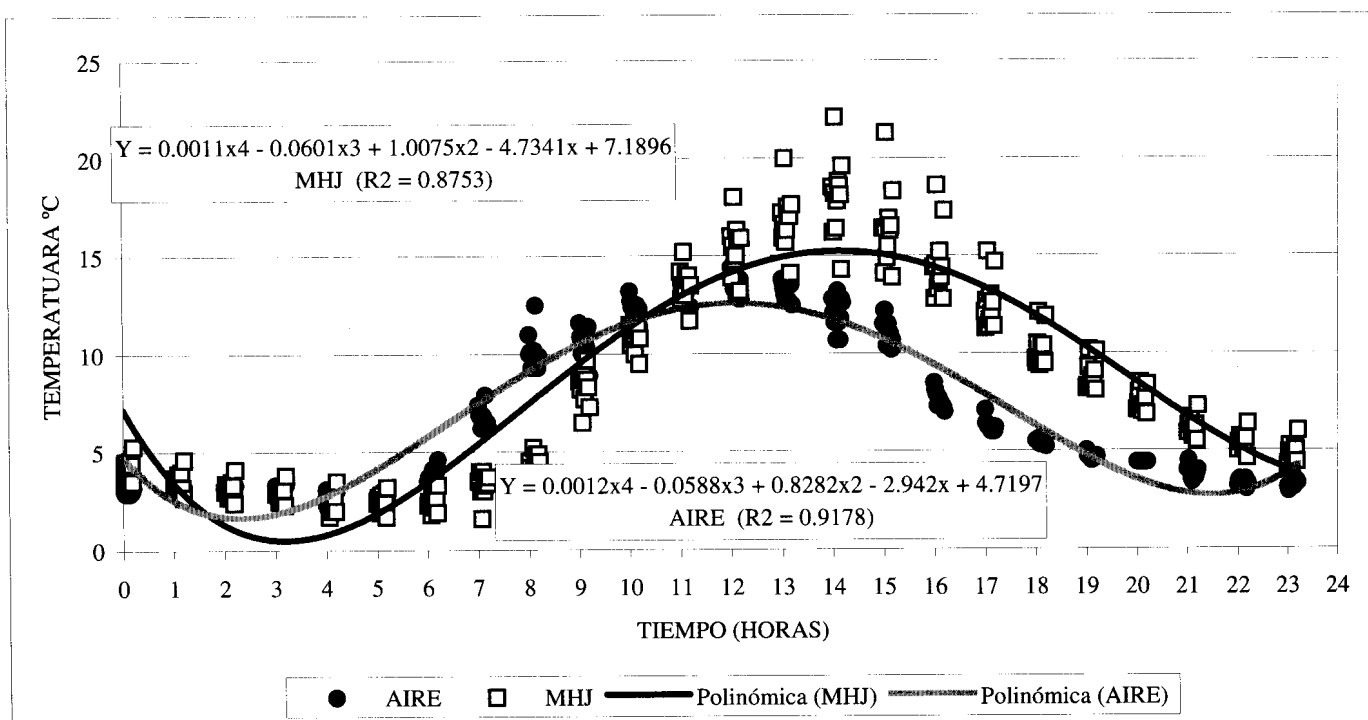
Si bien las temperaturas medias poblacionales del **MHJ** fueron superiores al ambiente, en los tres períodos de tiempo analizados, sólo durante la noche los individuos difirieron significativamente: el No. **11** con la más baja **7.93°C** y el **1** con la más alta **9.43°C**, ante los **7.70°C** del aire y HR de **98.02%**.

El comportamiento térmico del **MHJ** se aparta ligera pero significativamente del ambiente con respecto al tiempo (máximos - mínimos) y más notoriamente en cuanto a la dinámica de sus temperaturas medias estimadas (Figura 4). A pesar de la similitud entre las medias térmicas y la HR a 3370 y 3400 m, durante los tres periodos (Tabla 3), el comportamiento de la temperatura del **MHJ** de la población a 3370 fue menor, pero su diferencia con respecto al ambiente fue marcadamente superior a la registrada a 3400 m. Estas diferencias se deben a que la población a 3400 m presentó, en promedio, mayor cobertura, diámetro y longitud de roseta. Así, entre más grande sea la roseta, mayor será la cantidad de energía requerida para elevar su temperatura interna, y por tanto, aumenta la capacidad de retención térmica y disminuye la tasa de difusión calórica al medio en la noche, debido al incremento de agua almacenada en las hojas que rodean el ápice caulinar.

Ocetá: 3750 m.

Las temperaturas de los mantos de hojas de *Espeletia incana* fueron menores que las ambientales entre 6:00 y 10:00, pero mayores entre 12:00 y 00:00, y casi iguales entre 1:00 y 5:00 (Figura 5). El promedio fue de **8.28°C**, el ambiente **6.81°C** y la HR **68.38%**. Las oscilaciones más fuertes de la temperatura del **MHJ** se observaron en individuos más pequeños (Tabla 6): el individuo No. **4** presentó la temperatura menor (**1.6°C**, ante **6.2°C** del ambiente y **67.2%** de HR) a las 7:06; y mayor (**22.1°C**, ante **12.9°C** y **51.7%** de HR), a las 14:06. A pesar del fuerte descenso térmico del **MHJ** en la mañana, los individuos se hallan rodeados por un ambiente térmico favorable, entre los **6.91°C** del aire y los **7.3°C** del suelo. Las coberturas más pequeñas de estos individuos, inducen el sobrecalentamiento y el descenso térmico excesivo del **MHJ**. Sin embargo, la temperatura del suelo impide que el **MHJ** descienda por debajo de los **0°C**, por la menor distancia de la roseta al suelo.

El individuo de menor talla y número de hojas, exhibió la temperatura media más baja del ciclo diario con **7.208°C**. Otro de 164.5 cm, cobertura máxima y número mayor de



**Figura 5.** Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (**MHJ**) de *Espeletia incana* Cuatrec. y del aire. Región de Monguí, 3750 m. Septiembre de 13-14 de 1998.

Tabla 6. Morfometría de *Espeletia incana* Cuatrec. Región de Monguí, 3750 m

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO		HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA		CUELLO	NECROMASA	LARGO	ANCHO	ÁREA
1	196	163	33	3536.2	40.4	157	30.3	8.3	168.1
2	165.5	128	37.5	3287.8	41.3	142.5	28	7.5	140.8
3	108	80.3	27.7	3903.6	53.7	173.5	27.8	8.8	162.5
4	47.9	18.1	29.8	1832.3	48	55	27.7	6.3	115.9
5	179.5	133	46.5	4441.5	55	173.8	32.5	7.1	153.8
6	107	78.2	28.8	2951.3	47	159	27.1	6.2	112.8
7	66.5	34.2	32.3	3599.7	49	64	31.3	5.9	123.1
8	139	107	32	3196.9	56	146	28.7	5.8	111.1
9	69.7	40.7	29	2678.7	47	104	25.9	5.1	88.7
10	36.8	14	22.8	1104.5	32	46	21.7	4.4	63.8
11	164.5	128.2	36.3	5410.6	61	152	31.6	7.2	151.8

hojas, mostró la temperatura media más alta con **9.212°C**. Aunque la morfometría general de los individuos no estuvo asociada con la temperatura promedio del manto de hojas jóvenes, la cobertura se correlaciona positivamente con la temperatura nocturna del manto ( $r = 0.658$ ,  $p < 0.05$ ). Es decir, los individuos cuyas rosetas son más grandes, incluso con más hojas ( $r = 0.766$ ,  $p < 0.01$ ), conservan más la temperatura interna del manto en la noche.

A partir de la media noche y hasta la madrugada, la variación de la temperatura del manto discurre casi paralela al eje temporal, algo similar a lo que ocurre con el ambiente, y con tendencia a los 2°C. Entre 6:00 y 7:00, la temperatura del aire aumenta marcadamente; mientras, la del manto sólo asciende levemente. Esto revela la fuerte tendencia de la población de resistirse al incremento térmico abrupto del ambiente: la energía térmica absorbida en los **MHJ** aumenta con retardo en la mañana, hasta alcanzar una tasa constante que le permite superar ampliamente y por espacio de dos horas, las temperaturas máximas del ambiente. Esta capacidad de resistirse al aumento y al descenso de la temperatura del aire, configura el desfase térmico temporal del comportamiento altamente diferencial del **MHJ** de *Espeletia incana* (Figura 5).

La temperatura media del **MHJ** se mantuvo siempre por encima de la temperatura del aire durante los tres períodos, pero especialmente en la noche (Tabla 3). Sin embargo, es notable como la población de *E. incana* está protegida de las bajas temperaturas nocturnas medias del aire, no solo por el efecto del sobrecalentamiento del **MHJ** (**11.4°C**), en razón de las condiciones ambientales edáficas nocturnas más propicias y estables. De esta forma surge un gradiente térmico bien definido entre el **suelo** (**8.25°C** +/- 0.565), el **MHJ** (**5.16°C**) y el **aire** (**3.60°C**) con HR del 83.06%.

Nevado del Tolima: 3870 m.

Entre 6:00 y 9:00, las temperaturas de los **MHJ** de los individuos de *Espeletia hartwegiana* fueron marcadamente inferiores a las ambientales, pero entre 11:00 y 23:00 éstas últimas son notablemente superiores, y entre 1:00 y 5:00 tienden a ser similares. Sin embargo, el comportamiento térmico atípico del individuo de menor talla (0.58 m) hace que la curva térmica del **MHJ** se aparte significativamente de la población, debido a su marcado descenso térmico nocturno (Figura 6).

La temperatura promedio de los mantos fue de **5.616°C** y la del ambiente de 4.668°C con HR del 74.56%. El individuo **5**, con talla **menor** y menor número de hojas, se caracterizó por presentar las temperaturas medias del ciclo diario (**4.50°C**), períodos diurno (**7.45°C**) y nocturno (**0.81°C**), como la temperatura puntual (**-2.3°C**) más baja, cuando a la atmósfera le correspondió 1.1°C y HR de 74.9%, a las 6:10. El individuo No. **4**, de talla media, registró la temperatura máxima (**16.6°C**), con el ambiente a 11.4°C y HR de 62.4%, a las 12:02. El individuo No. **7**, con las hojas, la cobertura y la roseta más cortas, presentó la mayor temperatura del ciclo con **6.20°C**. El individuo No. **11**, de mayor tamaño y perímetro de necromasa, obtuvo la máxima del período de luz (**8.90°C**) y el Individuo No. **6**, la media más alta del período nocturno (**3.45°C**). El perímetro de la necromasa se correlacionó con la temperatura media del **MHJ** ( $r = 0.655$ ), el número de hojas del manto con la temperatura nocturna del **MHJ** ( $r = 0.652$ ) y la longitud del tronco con los registros diurnos del **MHJ** ( $r = 0.650$ ).

A pesar del marcado descenso nocturno registrado en el individuo No. 5, el contraste de la temperatura media del **MHJ** y la temperatura del ambiente, durante la noche, tuvo mayor impacto (Tabla 3) y no se presentaron diferen-

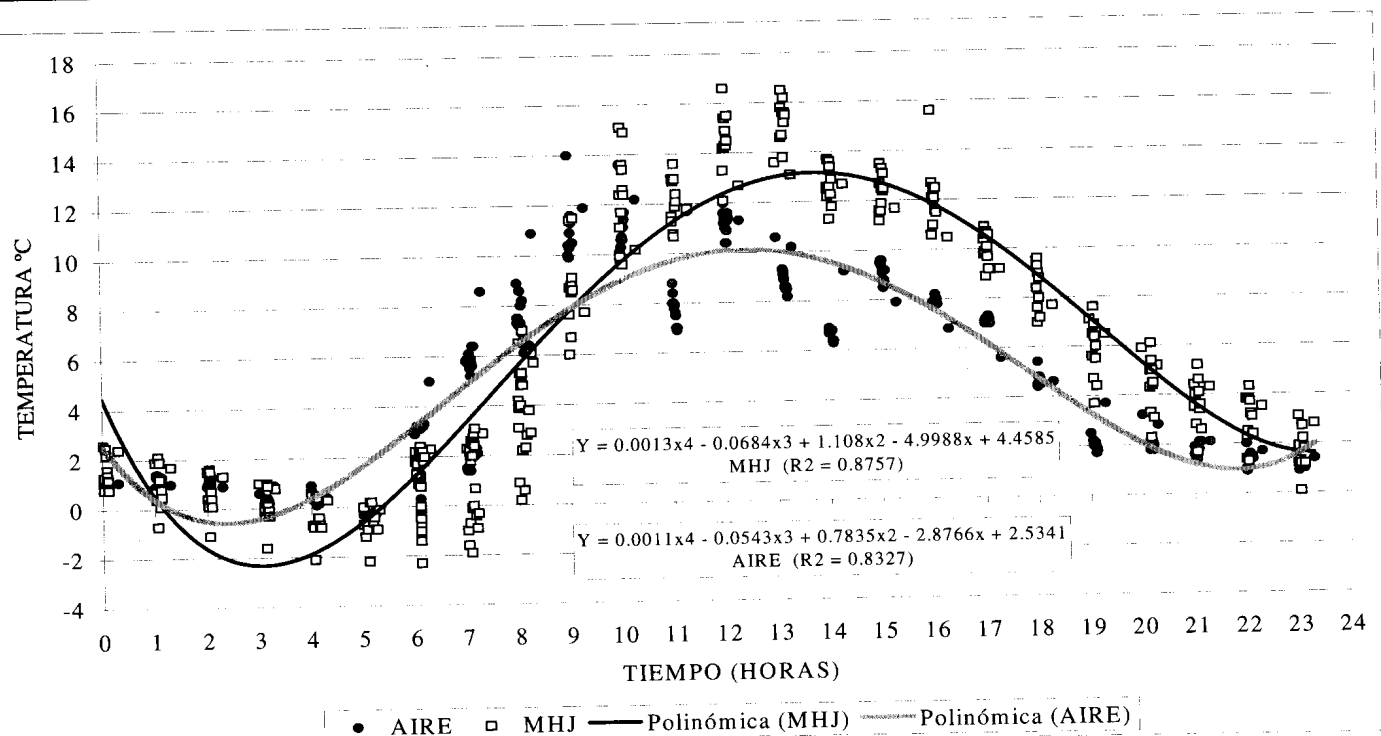


Figura 6. Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec. y del aire. Nevado del Tolima, 3870 m. Marzo 27 de 1997.

Tabla 7. Morfometría de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec., Nevado del Tolima, 3870 m.

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO		HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA		CUELLO	NECROMASA	LARGO	ANCHO	ÁREA
1 Patrón	150	101	49	5944.7	36.5	121	40.3	9.9	266.5
2	104	60	44	3217	28	111	35.5	10	236.7
3	97	62	35	3318.3	31.5	135	35.8	10.1	241.4
4	122	88	34	3739.3	25.5	92	33.1	7.1	157.6
5	58	21	37	3739.3	29.5	0	35.1	6.1	143.3
6	115	79	36	3217	33.5	106	32.4	8.4	181.9
7	158.5	126	32.5	2734	32.5	92.5	28.2	8.1	151.4
8	112	79	33	2463	41.5	125.5	30.5	6.4	130
9	189	142	47	2827.4	37.5	99	41	7.6	208.6
10	81	47	34	2332.8	33.5	100	32.8	8.3	181.7
11	198	162	36	5674.5	37.5	128	34.4	7.8	177.9
MEDIA	125.9	87.9	38.0	3564.3	33.4	100.9	34.5	8.2	188.8

cias notorias entre los registros del período diurno, aunque sí durante el ámbito diario. Estos resultados indican que la capacidad térmica del MHJ ejerce un efecto mayor sobre el desplazamiento térmico general de la curva que el sobrecalentamiento (Figura 6).

Nevado del Tolima: 4200 m.

Entre las 7:00 y las 8:00 ocurrió un retardo marcado del calentamiento poblacional de los MHJ. Sin embargo, entre las 8:00 y las 9:00, algunos individuos todavía per-

manecían con temperaturas del MHJ por debajo de la del ambiente. Entre las 9:00 y las 6:00 del día siguiente, las temperaturas del MHJ estuvieron bien por encima del ambiente, el cual después de las 0:00 y hasta las 6:30, fue equiparándose paulatinamente con la temperatura del aire que permaneció constante alrededor de los 0°C. No obstante, el individuo 10, de menor talla, fue el único que exhibió un descenso leve en la madrugada (Figura 7).

La temperatura promedio del MHJ fue de 9.42°C y la del ambiente de 4.60°C con HR de 80.15%. El individuo

**Tabla 8.** Morfometría de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec., Nevado del Tolima, 4200 m.

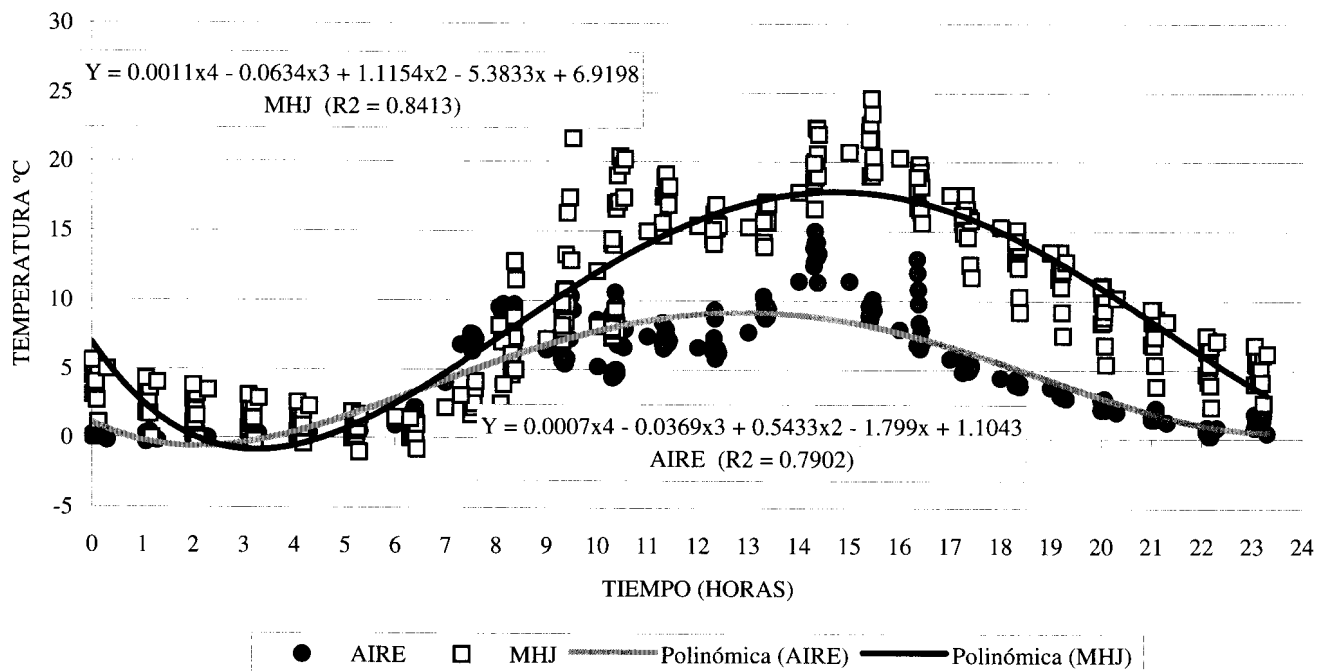
INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO		HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA		CUELLO	NECROMASA	LARGO	ANCHO	ÁREA
1	121	87	34	2551.8	39.5	30.8	29.9	7.7	152.9
2	106	70	36	3019.1	51.5	104.5	31.3	5.7	119.3
3	114	82	32	2734	50	33	27.5	7.5	137.5
4	146	114	32	4185.4	46	30.5	33	8.4	184.3
5	158.5	126.5	32	2734	46.2	109.5	26.8	6.2	110.1
6	86	57	29	2734	44	33	28.7	4.7	90.3
7	58	24	34	2290.2	44	0	34.3	6	137.6
8	214	171	43	5541.8	52.5	111	34.4	7	159.5
9	118.5	82	36.5	4071.5	49.5	112	39.3	6.6	173.4
10	50.5	20.5	30	1772.1	34	0	24.4	4.3	69.1
11 Patrón	178	142	36	4839.8	53.5	120	34.1	7	157.9
MEDIA	122.8	88.7	34.0	3315.8	46.4	62.2	31.2	6.5	135.6

No. 10 más bajo, marcó la mínima temperatura  $-1.0^{\circ}\text{C}$ , a las 5:29, ante  $0.7^{\circ}\text{C}$  del aire y HR del 83.4%. El No. 5 registró la mayor ( $24.6^{\circ}\text{C}$ ), ante  $9.3^{\circ}\text{C}$  del ambiente y HR del 62.4%. El 1, con  $8.30^{\circ}\text{C}$ , y el 7 con  $10.33^{\circ}\text{C}$  fueron los extremos del ciclo diario; el 2 ( $11.07^{\circ}\text{C}$ ) y 7 ( $14.59^{\circ}\text{C}$ ) los del diurno; el 10 ( $2.5^{\circ}\text{C}$ ) y 11 ( $6.87^{\circ}\text{C}$ ) los del nocturno.

Las temperaturas nocturnas medias del MHJ estuvieron correlacionadas con los perímetros basales de las rosetas y las áreas foliares ( $r = 0.683$  y  $0.671$ ;  $p < 0.05$ ,

$n=11$ ). Los individuos con mayores diámetros y áreas foliares, mantienen más efectivamente la temperatura del MHJ durante la noche, tal como lo muestran los individuos No. 10 y No. 11 de diámetros, áreas y temperaturas contrastantes (Tabla 8).

La diferencia entre la temperatura del MHJ y la del ambiente a 4200 m, fue una de las mayores, en especial, durante el período diurno ( $5.44^{\circ}\text{C}$ ). El sobrecalentamiento del MHJ y la elevada HR de la noche, favorecieron



**Figura 7.** Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas jóvenes (MHJ) de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec. y del aire. Nevado del Tolima, 4200 m. Marzo 25-26 de 1997.

significativamente la evasión de las bajas temperaturas en las horas de la madrugada (Figuras 6 y 7). Sin embargo, la morfometría general de la bioforma caulirrésula de *E. hartwegiana*, y en especial de la roseta, determinan la capacidad de aislamiento térmico del **MHJ**: la población a 4200 m, presentó hojas más angostas, al igual que el área foliar y el perímetro de la necromasa. Entretanto, el perímetro basal de la roseta se incrementó notablemente y la longitud del caule fue escasamente mayor (Tablas 7 y 8). El incremento del diámetro y del tronco produjeron mayor volumen de la médula almacenadora de agua, lo cual compensa la disminución del tamaño de la roseta, lo que implica mayor estabilidad térmica interna. El efecto de la morfometría y de la HR sobre el **MHJ**, se pone en evidencia durante los períodos diurno y nocturno, respectivamente. Ya que, durante el día, bajo condiciones similares de HR y temperatura, los **MHJ** de las dos poblaciones se comportaron diferencialmente. Mientras, en la noche, las HR y los **MHJ** fueron altamente disímiles (Tabla 3).

Los individuos patrones de las dos poblaciones mostraron gradientes térmicos nocturnos contrastantes. **1: suelo (5.72°C), MHJ (3.23°C) y aire (1.73°C)** a 3870 m. **11: MHJ (6.87°C), suelo (6.40°C) y aire (1.27°C)** a 4200 m. El primero sobresale por su mayor cobertura y longitud

de roseta, mientras el segundo por su mayor talla y perímetro basal de la roseta (Tablas 7 y 8).

Nevado del Cisne: 4300 m.

Entre 12:00 y 5:00 del día siguiente, las temperaturas del **MHJ** superaron notoriamente las del ambiente, pero entre las 8:00 y las 9:00 tendieron a estar moderadamente por debajo y a las 10:00 y 11:00 a equilibrarse (Figura 8). Es característica la estabilidad del manto alrededor de los **2.57°C** entre 0:00 y 7:00 y del ambiente sobre **0.95°C**, o sea una diferencia promedio de **1.62°C**. Esta estabilidad muestra de que manera las hojas más pequeñas conformantes del manto pueden aislar y retener el calor a pesar de los cambios ocurridos en la humedad relativa durante ese período (**Murcia, 2001**).

El manto mostró **7.44°C** en promedio, el ambiente **4.19°C** y la HR **73.29%**. El individuo No. **3** de menor tronco y de mayor longitud de roseta, presentó las temperaturas extremas: La mínima (**1.2°C**), con ambiente de **1.7°C** y HR de **88.8%**, a las 7:30; y la máxima (**21.6°C**), con ambiente de **9.1°C** y HR de **53.5%**, a las 13:03. Este ejemplar absorbió más energía radiante debido a su gran roseta (52 cm); y liberó la energía térmica más fácilmente

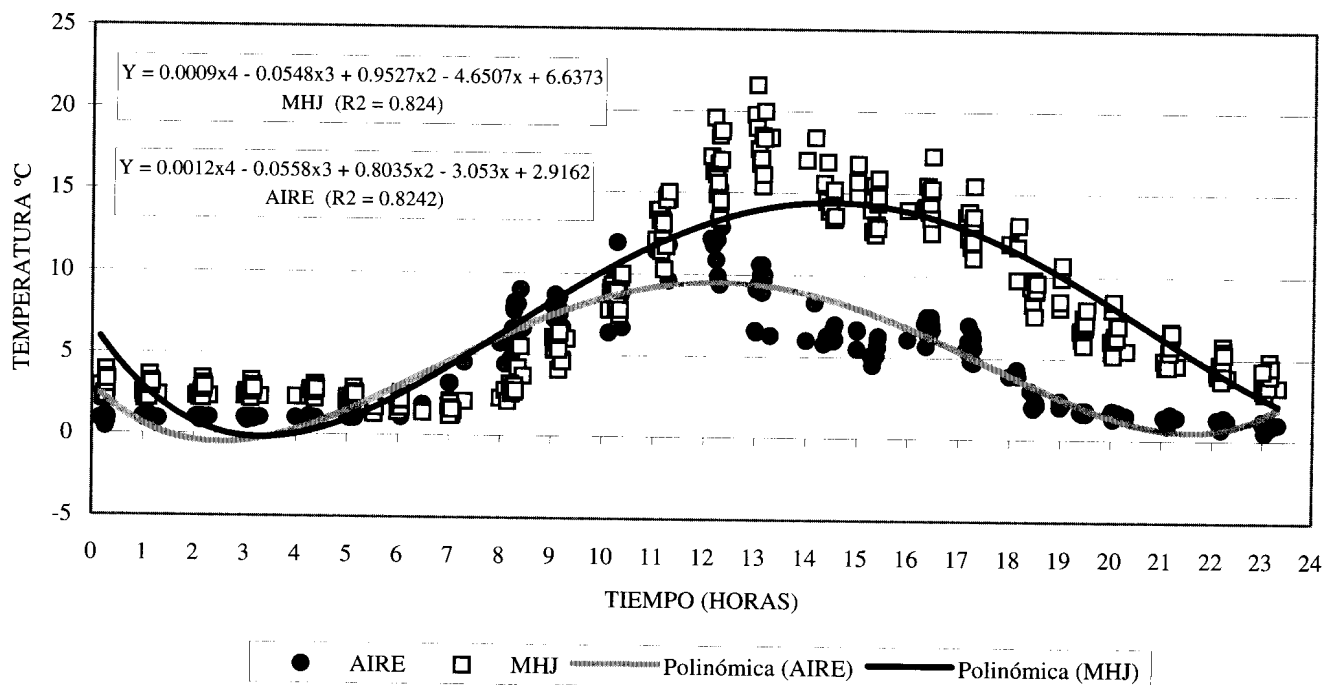


Figura 8. Comparación del comportamiento térmico poblacional del manto de hojas (**MHJ**) de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec. y del aire. Nevado del Cisne, 4300 m. Abril 18-19 de 1999.



en la noche como consecuencia de su reducida cobertura (Tabla 9). El individuo 4 de mayor talla (284.5 cm) ostentó las menores temperaturas medias del ciclo (**6.804°C**) y la noche (**3.57°C**); el 11 de 230 cm, las mayores del ciclo (**8.779°C**); el día (**12.07°C**) y la noche (**5.49°C**). Durante el período de luz, el de mayor cobertura obtuvo la menor (**9.29°C**). La morfometría general de los individuos no influyó significativamente en la temperatura media del manto de hojas jóvenes. Sólo la cobertura se asoció inversamente con el "delta del MHJ" ( $r = -0.729$ ,  $p < 0.05$ ): las diferencias térmicas medias entre el día y la noche disminuyen a medida que la cobertura aumenta. Por lo tanto, a mayor cobertura mayor regulación térmica.

En esta población es más ostensible que el manto de hojas captura, retiene y libera calor lenta y diferencialmente. De esta manera surge un desfase térmico, a manera de estrategia adaptativa que determina la fuerte superación de la temperatura del ambiente por la de la hoja durante las primeras horas de la tarde. El máximo se alcanza hacia las 13:00, luego desciende a la misma tasa que la temperatura del ambiente durante la tarde y las primeras horas de la noche, y finalmente se estabiliza por arriba de la del ambiente en la madrugada y la mañana. La tendencia del manto a mantener la temperatura casi paralela al eje temporal mientras el ambiente se incrementa marcadamente en la mañana se pone en evidencia la capacidad del manto de resistir cambios térmicos abruptos. El significado adaptativo consiste en el aislamiento con respecto a los cambios abruptos que moderen el sobrecalentamiento ambiental y el frío nocturno (Figura 8).

En el Nevado del Cisne se registraron las temperaturas medias más bajas del aire, en las tres épocas climáticas características. Sin embargo, las diferencias **MHJ-AIRE**, cercanas a los **3.3°C**, fueron superiores a las de otros sitios de estudio, a excepción del Nevado del Tolima (Tabla 3). Durante el periodo nocturno, los dos primeros

individuos mostraron claros gradientes térmicos. **1: suelo, 4.47°C; MHJ, 4.41°C y aire, 1.50°C. 2: suelo, 5.34°C; MHJ, 3.77°C y aire, 1.27°C.** No obstante, la evidente función reguladora nocturna del suelo, un individuo de *Espeletia hartwegiana*, ubicado a 4380 msnm, presentó una distribución térmica diferente: **MHJ, 1.96°C; suelo, 1.89°C y aire, 1.11°C.** Este individuo con 60 cm de talla, longitud de roseta de 35 cm y cobertura de 2375.8 cm<sup>2</sup>, se localizó a unos 10 metros al este del camino de Santa Rosa que conduce a la Laguna Verde (4300 m), en condiciones edáficas con afloramientos rocosos y expuesto directamente a la acción de los vientos que descienden en las horas de la tarde y la noche del nevado de Santa Isabel. Es posible que en estos suelos poco desarrollados, el **MHJ** de los individuos de *E. hartwegiana*, supla la función térmica nocturna del suelo debido al incremento del perímetro basal de la roseta (Tablas 9 y 12).

El efecto más conspicuo de la franja paramuna, entre 3870 y 4300 m, sobre la morfometría general de las poblaciones de *E. hartwegiana*, se detectó en la notable reducción del área foliar promedio de los individuos, resultante, en particular, por la disminución del ancho de las hojas. En cambio, el perímetro basal de la roseta acusó un significativo incremento. La población situada a una altura de 3870 m, presentó la media más baja y conformó el primer subconjunto homogéneo. Las otras dos, situadas a mayor altura, el segundo. Caso particular lo mostró el perímetro de la necromasa, ya que la población a 4200 m constituyó el segundo subconjunto homogéneo con el promedio más bajo. La cobertura y longitud de la roseta también variaron según la altitud, pero sin ser significativas (Tabla 10).

La reducción foliar, el incremento de la pubescencia y el aumento del volumen del ápice caulinar que ocurren en plantas de *Espeletia hartwegiana*, contribuyen a evitar el sobrecalentamiento excesivo interno de las hojas adultas como del **MHJ**, que se produciría como efecto del incre-

**Tabla 9.** Morfometría de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec., Nevado del Cisne, 4300 m.

INDIVIDUO	LONGITUD			COBERTURA cm <sup>2</sup>	PERÍMETRO		HOJA		
	TOTAL	CAULE	ROSETA		CUELLO	NECROMASA	LARGO	ANCHO	ÁREA
1	125	90	35	4312.5	51	131	31	5.3	110.4
2	285	252	33	3019.1	49.5	123	31	5.5	113
3	66	14	52	2970.6	49	62	28.7	4.4	84.9
4	284.5	248	36.5	4071.5	52	141	30.9	4.7	96
5	158	125	33	4071.5	42.5	135.5	33.4	4.9	109.9
6	108	80	28	2734	48	105	24	4.6	74
7	152	124	28	2507.2	50	116	26	4.9	84.5
8	182	144	38	5674.5	55.5	153.5	34.8	6	139.9
9	66	28	38	4778.4	53	78	35	5	116.7
10	189	156	33	3318.3	50.5	118	27.4	4.5	82.7
11	230	192	38	3739.3	50	152	31.4	5.7	119.3

**Tabla 10.** Agrupación de las medias morfométricas de *Espeletia hartwegiana* var. *centroandina* Cuatrec. en subconjuntos homogéneos según la franja paramuna.

ALTITUD	MORFOMETRÍA													
	ANCHO			ÁREA			LARGO		CUELLO		NECROMASA		COBERTURA	ROSETA
	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	1
3870	8.17			189.11			34.51		33.36		103.55		3564.30	37.9545
4200		6.44			135.51			31.22		46.43		69.30	3315.78	34.0455
4300			5.12			104.01		30.32		50.09	135.24		3745.17	35.6818
Sig.	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.308	1.0	0.183	0.068	1.0	0.643	0.126

(1, 2, 3) = Subconjuntos con promedios homogéneos. Tukey HSD. Alfa = 0.05  
 Hojas (N=33), las demás (N=11)

Hojas (N=33), las demás (N=11)

mento de la radiación global, pero también el sobreenfriamiento causado por las bajas temperaturas nocturnas sobre las hojas, por disminución de los espacios intercelulares que evitan la posibilidad de congelamiento (Levitt, 1980; Meinzer & Goldstein, 1985; Rada *et al.*, 1987; Mora-Osejo, 2001). Goldstein *et al.*, 1984, registraron una diferencia de las irradiaciones máximas de 250 ( $Wm^{-2}$ ) entre los páramos venezolanos El Batallón (3100 m) y Piedras Blancas (4200 m), que se reflejó en el marcado incremento de la razón entre el volumen hídrico de la médula caulinar y la superficie de transpiración (PV/LA) de las especies de *Espeletia* de las zonas desérticas altas. Estas especies mostraron la mayor "capacitancia" relativa y también las menores fluctuaciones del potencial hídrico de las hojas. De forma similar, la población de *E. hartwegiana* (4300 m) desarrolló la máxima cobertura y perímetro de necromasa medias, como respuestas

de significación adaptativa en la regulación de la mayor capacidad de almacenamiento de agua en la médula del tronco, que permite superar la deficiencia del agua en el suelo causada por las bajas temperaturas nocturnas y la alta radiación incidente propias de la *Psamophytia* del Nevado del Cisne (Hedberg, 1964; Larcher, 1975; Monasterio, 1986; Mora-Osejo, 2001).

Los interceptos ( $\beta_0$ ) y los dos primeros coeficientes ( $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) de las ecuaciones térmicas del manto de hojas y del aire (Figura 1), difirieron notablemente ( $p < 0.0001$ ), con excepción del segundo coeficiente en *Espeletia grandiflora* a 3300 m ( $p < 0.05$ ). La diferencia de los betas tiende a incrementarse con la altitud: el MHJ de *E. grandiflora* en Monserrate presentó los valores de  $|t_0|$  y  $|t_1|$  más bajos; mientras *E. hartwegiana* a 4200 m obtuvo los más altos (Tabla 11).

**Tabla 11.** Comparación de los betas ( $t_0$  = Ordenada en el origen y  $t_1$  = Coeficientes de  $X1..Xn$ ) y la probabilidad ( $|t_0| > t_{\alpha/2, n-2}$ ) de las ecuaciones polinómicas del MHJ de las especies de *Espeletia* y del aire, según la altitud.

MHJ vs AIRE	3300	3370	3400	3750	3870	4200	4300
*T $\beta_0$	4.60	8.21	10.16	13.72	9.48	19.16	14.07
Prob >  T	2.78E-06	3.44E-15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*T $\beta_1$	-36.17	-62.73	-70.55	-138.95	-135.36	-158.21	-82.12
Prob >  T	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*T $\beta_2$	2.32	11.25	10.33	16.75	20.66	25.25	7.66
Prob >  T	0.0103	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.33E-13
*T $\beta_3$	0.14	-0.59	-0.42	-0.48	-0.89	-1.17	0.05
Prob >  T	0.44	0.28	0.33	0.31	0.18	0.12	0.48
*T $\beta_4$	0.008	0.01	0.01	0.0004	0.01	0.02	-0.01
Prob >  T	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
N	412	298	264	264	319	311	291

(\*) T para Ho: Diferencia entre los Betas Estimados = 0.0

(\*) T para Ho: Diferencia entre los Betas Estimados = 0.0

La magnitud de las diferencias entre los modelos térmicos del **MHJ** y el aire se debe a la capacidad de sobrecalentamiento diferencial del **MHJ** de las especies de *Espeletia* estudiadas. Este incremento térmico se produce principalmente por el calentamiento experimentado por las hojas adultas expandidas y por la transferencia posterior de calor a través del aire circundante de la capa límite hacia el **MHJ** (Smith & Nobel, 1977). Durante la tarde, las hojas más jóvenes, con una capa de indumento más gruesa, mantienen altas temperaturas aun si los niveles de radiación solar incidente son bajos (Meinzer & Goldstein, 1987). Este hecho explica el incremento y la conservación del calor del **MHJ** de *E. grandiflora* en los páramos húmedos de Chingaza.

El ascenso y la conservación diferencial de la temperatura interna del **MHJ** ponen en evidencia la reflexión de onda corta, la conducción térmica de las hojas adultas hacia los primordios foliares y la reducción de la difusión de calor hacia la atmósfera por emisión de radiación de onda corta, particularmente en la noche y en horas de la madrugada, en razón de la presencia de las capas de hojas superpuestas densas que rodean el ápice caulinar de las especies de bioforma caulirrésula de *Espeletia*. El movimiento nictinástico de las hojas adultas, en especies tales como *E. schultzii*, *E. spicata* y *E. timotensis*, contribuye a mantener por más tiempo la mayor constancia de la ener-

gía térmica interna y más bajas las tasas de reradiación de calor. Esto a su vez, condiciona el desfase térmico-temporal del **MHJ** y del ápice caulinar (Smith, 1979; Monasterio, 1986; Murcia, 2001). El desfase térmico-temporal del ápice caulinar de *E. schultzii*, páramo de Mucubajá a 3600 m, fue aproximadamente de dos horas y una diferencia de 10°C con respecto a la temperatura máxima del aire a nivel del suelo, similar al registrado en el **MHJ** de *E. incana* (Figura 5). Es claro que este desfase es suficiente para evitar el congelamiento del ápice caulinar de *E. schultzii* y no implica actividad metabólica ya que la temperatura más baja (0.3°C) se registró a las 7:00, con 10°C en el aire.

Las temperaturas medidas en esta investigación (Figuras 2 a 8) permiten someter a prueba la hipótesis planteada por Rada *et al.* (1985), según la cual, el calor se transfiere de las hojas adultas a las más jóvenes y de éstas al manto de hojas juveniles que recubre el apice caulinar. En efecto se pudo demostrar que los frailejones no necesitan consumir energía para protegerse de las bajas temperaturas nocturnas. Para evitarlo tampoco se sobrenfrián, aunque pudieran hacerlo. Para explicar este comportamiento: Rada *et al.* (1985) sobreenfriaron mantos disecados, en un experimento bajo condiciones controladas en el laboratorio. El experimento fue diseñado de tal modo que permitiera inferir la resistencia máxima posible de la planta, bajo las condiciones de un ambiente congelado. No obstante, la temperatura mínima que dichos autores (l.c.) registraron en *Espeletia timotensis* y *E. spicata*, bajo condiciones de campo, fue de 2°C. Ellos mismos y Sakai & Larcher (1987) omitieron este dato y afirmaron que las rosetas gigantes evitan el congelamiento por sobreenfriamiento, situación que permite formular la hipótesis, según la cual, al hábito caulirrésula de las *Espeletiinae* de la Cordillera Central de Colombia se debe la capacidad autoecológica de protegerse de las oscilaciones meteorológicas en general y de las térmicas en particular.

Los registros de la temperatura del manto de hojas confieren a éste la condición de protector del meristema caulinar apical de los frailejones caulirrosulares. Este estudio muestra que en cierta medida el **MHJ** es una adaptación de las *Espeletiinae* caulirrosulares a los cambios térmicos abruptos, tan característicos del ambiente donde crecen tales especies. Así se detecten cambios osmóticos o traslocación de metabolitos en laboratorio, no necesariamente tal resultado permite afirmar que es en razón de tal adaptación, producto del proceso evolutivo, que la planta se defiende del frío excesivo.

Otro argumento a favor de la hipótesis del aislamiento térmico producido por el **MHJ** surge de comparar las tem-

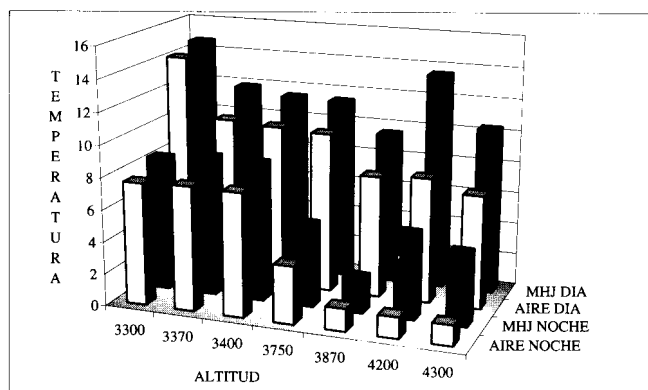
**Tabla 12.** Ordenamiento de las temperaturas medias del suelo, a 10 cm de profundidad, circundante a los individuos patrones de las especies de *Espeletia*, en 6 subconjuntos homogéneos, a lo largo de la franja altitudinal (N=48). Según Tukey. (HSD).

ALTITUD	Subconjuntos homogéneos (alfa = 0.05)					
	1	2	3	4	5	6
4380	2.3146					
4300		4.4750				
3870			5.7417			
4200			6.0063			
3750				8.1208		
3340					9.6563	
3370					9.6625	
3400					9.6646	
3300						10.6229
<b>Sig.</b>	1.0	1.0	.267	1.0	1.0	1.0

**Tablas 13 y 14.** Arriba. Ordenamiento de las temperaturas medias del **MHJ** de las especies de *Espeletia*, en subconjuntos homogéneos, periodos diurno y nocturno. Abajo. Ordenamiento de las HR y de las temperaturas medias nocturnas del aire (Tukey, HSD: N=132; Alfa = 0.05).

ALTITUD MHJ DIA	Subconjuntos				ALTITUD MHJ NOCHE	Subconjuntos		
	1	2	3	4		1	2	3
3870	9.5288				3870	2.1780		
4300	10.3720	10.3720			4300		4.4773	
3750		11.4030			3750		5.1591	
3400		11.4432			4200		5.2871	
3370		11.8591	11.8591		3300			8.3841
4200			13.5530	13.5530	3400			8.6492
3300				14.6674	3370			8.7182
Sig.	.809	.180	.079	.526	Sig.	1.0	.119	.933

ALTITUD HR% NOCHE	Subconjuntos					ALTITUD AIRE NOCHE	Subconjuntos		
	1	2	3	4	5		1	2	3
3870	78.9098					4300	1.2811		
3750		82.9136				4200	1.3250		
4300		84.7780				3870	1.4121		
4200			90.0636			3750		3.5962	
3300				92.2917		3300			7.6364
3370					98.0167	3400			7.6962
3400					98.0500	3370			7.7439
Sig.	1.0	.053	1.0	1.0	1.0	Sig.	.905	1.0	.962



**Figura 9.** Contraste de las temperaturas medias del manto de hojas jóvenes (MHJ) y del aire durante los periodos diurno y nocturno según la altitud (N=132).

peraturas medias del **aire** de las localidades con las del **MHJ** (Tabla 3). El GLM detecta tres subconjuntos homogéneos de las primeras durante el día y la noche; y cuatro de las segundas durante el día y tres en la noche, sin describir “gradientes térmicos” equiparables en ambos casos (Figura 9, Tablas 13 y 14). Se destaca que las medidas de los dos puntos de La Paila son coincidentes, incluso en las medidas del suelo y de la HR (Tablas 12 y 14). Tal coincidencia permite suponer que también el biotopo puede contribuir a definir el comportamiento térmico.

### Conclusiones

La curva de variación de la temperatura del manto de hojas jóvenes (MHJ), del ciclo diario, se aparta de la del am-

biente, en razón del marcado sobrecalentamiento interno. Esto facilita el mantenimiento de la energía térmica diferencial durante las primeras horas nocturnas y reserva el producto de la resistencia térmica y del gradiente térmico nocturno que se mantiene por el aporte calórico del suelo. De esta manera se obtiene el aislamiento con respecto a las bajas temperaturas nocturnas, lo cual pone en evidencia que tal aislamiento configura una respuesta adaptativa de las especies caulirrósculas de las *Espeletiinae* sometidas a estudio, propias de los páramos húmedos del centro de Colombia.

El sobrecalentamiento del **MHJ** es mayor a medida que las especies de *Espeletia* ascienden en la franja paramuna, lo cual compensa la marcada disminución de la temperatura del suelo y regula y contribuye a los gradientes térmicos internos.

El aislamiento térmico, en tal medida, es una respuesta adaptativa proveniente de la forma total de las plantas caulirrósculas de *Espeletia* que evita que se produzca el congelamiento y las oscilaciones térmicas abruptas, propias de los páramos.

### Agradecimientos

Los autores del presente trabajo expresan sus agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia y al Cindéc por haber asumido la mayor parte de los costos para su realización. Al Ingeniero Eduardo Barcenás Parra, Director de la División Sistema Chingaza, por el apoyo logístico imprescindible en Piedras Gordas y La Paila. Al Biólogo Fidel Ernesto Poveda Gómez, por su participación en el desarrollo y planificación de la metodología, por su ayuda en las labores de muestreo en Monserrate, Chingaza y Nevado del Tolima y por sus comentarios valiosos acerca de este manuscrito. A la Bióloga Martha Patricia Ochoa Reyes, por su colaboración en campo en Chingaza y Nevado del Cisne, por su participación invaluable en la culminación oportuna y feliz de esta investigación. A Mónica Acosta Ortiz, por su colaboración valiosísima en las jornadas de muestreo realizadas en Chingaza y Nevado del Tolima. A la muy distinguida Bacterióloga, Microbióloga e investigadora Berta Coba de Gutiérrez, por su colaboración logística. Al Estadístico Hugo Alexander Martínez Gallego, por su acertada asesoría.

### Referencias bibliográficas

- Del Llano, M. 1990. Los Páramos de los Andes. Explicación Ecológica Integrada en la Alta Montaña Ecuatorial. Bogotá, Colombia.
- Goldstein, G., F. Meinzer & M. Monasterio, 1984. The role of capacitance in the water balance of Andean giant rosette species. *Plant Cell and Environment* 7: 179-186.

- Goldstein, G., Rada, F. & Azócar A. 1985. Cold hardiness and supercooling along an altitudinal gradient in Andean giant rosette species. *Oecología* 68: 147-152.
- Hedberg, I. & Hedberg, O. 1979. Tropical alpine life forms of vascular plants. *Oikos* 33: 297-307.
- Hernández, C.M.L. & Murcia R.M.A. 1992. Estimación de la productividad primaria neta de *Espeletia grandiflora* (H & B) Cuatrec. y de *Pinus patula* Schl. y Cham en el páramo El Granizo, región de Monserrate, Colombia. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Biología, Bogotá.
- 1994. Estimación de la productividad primaria neta de *Espeletia grandiflora* (H & B) Cuatrec. y de *Pinus patula* Schl. y Cham en el páramo El Granizo, región de Monserrate, Colombia. En: Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino cordillera Oriental de Colombia. Tomo II. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 6.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York and London.
- 1980. Responses of plants to environmental stresses. 2a. Ed. Vol 1 Chilling, freezing, and high temperature stress. Academic Press, New York.
- Meizner, F., Goldstein, G. & Rundel, P. 1985a. Morphological changes along altitude and their consequences for an Andean giant rosette plant. *Oecología* (Berlín) 65: 278-283.
- Meizner, F. & Goldstein G. 1985b. Some consequences of leaf pubescence in the Andean giant rosette plant *Espeletia timotensis*. *Ecology* 66: (2), 512-520.
- Monasterio, M. 1986. Adaptive strategies of *Espeletia* in the Andean Desert Paramo. En Vuilleumier, F. & Monasterio, M. (Eds). High Altitude Biogeography. New York. Oxford. P. 49-80.
- Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México, D.F.
- Mora-Osejo, L.E., Arenas, H., Becerra, N. & Coba, B. 1994. La regulación de la transpiración por factores endógenos y ambientales del páramo. En: Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino cordillera Oriental de Colombia. Tomo I. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 6.
- Mora-Osejo, L.E. 2001. Contribuciones al estudio comparativo de la conductancia y de la transpiración foliar de especies de plantas del páramo. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras N° 17.
- Murcia R., M.A. 2001. Aislamiento térmico resultante de la bioforma caulirróscula de *Espeletia* spp en los páramos de Monserrate, Chingaza, Ocotá, nevados del Tolima y el Ruiz. Tesis de Magíster en Ecología. Universidad Nacional de Colombia.
- Rada, F., Goldstein, G., Azócar, A. & Meizner, F. 1985a. Daily and seasonal osmotic changes in a tropical treeline species. *Journal of Experimental Botany* 36: (167), 989-1000.
- 1985b. Freezing avoidance in Andean giant rosette plants. *Plant, cell and Environment* 8: 501-507.

- & **Torres, F.** 1987. Supercooling along an altitudinal gradient in *Espeletia schultzii*, a caulescent giant rosette species. *Journal of Experimental Botany* 38: (188), 491-497.
- Sakai, A. & Larcher, W.** 1987. *Frost Survival of Plants*. Springer. Berlín. P. 218-29.
- SAS.** 1996. *The SAS System for Windows*. Software Release 6.12 TS020. Licensed to NASCO, Site 0003253071. Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Smith, A.P.** 1974. Bud temperature in relation to nyctinastic leaf movement in an Andean giant rosette plant. *Biotropica* 6:263-266.
- & **P.S. Nobel.** 1977. Influences of seasonal changes in leaf morphology on water-use efficiency for three desert broadleaf shrubs. *Ecology* 58:1033-1043
- Solbrig, O.T.** 1986. Convergencia en la flora de altas montañas tropicales: algunas consideraciones generales. IV Congreso Latinoamericano de Botánica. Medellín, Colombia.
- Squeo, F.A., Rada, F., Azocar, A., & Goldstein, G.** 1991. Freezing tolerance and avoidance in high tropical Andean plants: is it equally represented in species with different plant height? *Oecología* 80: 379-383.
- Sturm, H. & Rangel, O.** 1985. *Ecología de los páramos andinos: una visión preliminar integrada*. Instituto de Ciencias Naturales. M.H.N. Universidad Nacional de Colombia.
- Vuilleumier, F. & Monasterio, M. (Eds).** 1986. *High Altitude Biogeography*. New York. Oxford. 649 p.
- Zar, H.J.** 1999. *Biostatistical Analysis*. Fourth edition. Prentice hall. Upper Sadle River, New Jersey.

# EL PROFESOR BERNARD LEWY Y EL INSTITUTO DE CIENCIAS NATURALES, FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEL COLEGIO MAYOR DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO

por

María Clara Guillén de Iriarte\*

## Resumen

**Guillén, M.C.:** El profesor Bernard Lewy y el Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **27**(105): 553-568. 2003. ISSN 0370-3708.

Con base en documentos que reposan en el Archivo Histórico del Colegio Mayor del Rosario se dan a conocer datos relativos a la creación del Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas en dicha universidad. El presidente del Instituto fue el profesor de química Bernard Lewy, oriundo de Dinamarca y radicado en París, a quien se le encomendó además, la dirección de la Escuela de Ciencias de la Universidad del Primer Distrito. Tanto el Instituto como la Escuela fueron establecidos en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario entre 1847 y 1850. Adicionalmente se explican los antecedentes de la creación del Instituto, como fueron la incorporación en 1842 del Colegio Mayor a la Universidad Central y luego a la Universidad del Primer Distrito.

**Palabras clave:** Universidad del Primer Distrito, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas, Historia de las ciencias en Colombia, Bernard Lewy.

## Abstract

Based in documents that are preserved in the historical archives of the Colegio Mayor del Rosario data relative to the creation of the Institute of Natural Sciences, Physics and Mathematics of this university are reported herein. The president of the Institute was the chemist Bernard Lewy, originally from Denmark but based in Paris who was also Director of the Escuela de Ciencias of the Universidad del Primer Distrito. Both the Institute and the Escuela were established in the Colegio

\* Directora del Archivo Histórico de la Universidad del Rosario, Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Historia y de número de la Academia de Historia de Bogotá.

Mayor de Nuestra Señora del Rosario between 1847 and 1850. Additionally, the antecedents to the creation of the Institute are discussed, such as the incorporation in 1842 y the Colegio Mayor in the Universidad Central and later in the Universidad del Primer Distrito.

**Key words:** Universidad del Primer Distrito, Mathematics, History of Sciences in Colombia, Bernard Lewy.

En la literatura secundaria existente tanto sobre el Instituto de Ciencias Naturales Físicas y Matemáticas, fundado por el gobierno de la Nueva Granada a mediados del siglo XIX, como sobre su director, el profesor danés Bernard Lewy, no se menciona que dicho instituto fue establecido en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, como tampoco, que el claustro rosarista formó parte de la Universidad del Primer Distrito.

Safford<sup>1</sup> se refiere al profesor Lewy de manera despectiva calificándolo de irresponsable porque supuestamente no dictó las clases tal como se le había encomendado, porque hablaba un pésimo español, razón por la cual los alumnos no le entendían nada, aparte de ser “*arrogante en todos los sentidos*” y porque exigió al gobierno de la Nueva Granada la compra de un costoso laboratorio proveniente de Europa, además de cobrar por sus servicios un salario excesivo.

De otra parte, Joung<sup>2</sup> describe cuidadosamente la legislación de la universidad pública sin tener en cuenta el Colegio Mayor del Rosario como parte integrante de la misma. Lo cierto es que el poder ejecutivo de la Nueva Granada concebía la universidad pública, al igual que lo había hecho la corona española hasta 1819, como una entidad estatal que otorgaba grados, puesto que las clases universitarias se dictaban en los colegios. Es por ello que los dos colegios santafereños, el Mayor de San Bartolomé y el Mayor del Rosario fueron incorporados a la universidad estatal como facultades de la misma, desde 1826 hasta 1850.

Estos hechos hacen necesario tener en cuenta el papel que ha desempeñado el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario en la historia de las ciencias en Colombia puesto que en sus aulas fue donde se dio inicio a la facultad de ciencias de la universidad pública<sup>3</sup>. Por otro lado, es preciso comprender al profesor Lewy, a través de la documentación que reposa en el Archivo Histórico de la Universidad del Rosario, la cual nos da una explicación del comportamiento tan duramente calificado por Safford.

#### **Dependencia del Colegio Mayor del Rosario de la Universidad Central y Colegio de San Bartolomé**

El presidente Pedro Alcántara Herrán decretó el 10 de abril de 1842, que “*las cátedras de jurisprudencia y medicina de los colegios de San Bartolomé y del Rosario de esta ciudad han permanecido y pertenecen a la Universidad Central*”<sup>4</sup>. Meses después, el 21 de mayo de 1842<sup>5</sup> el Senado y la Cámara de Representantes de la Nueva Granada mediante la expedición de una ley establecieron que la Universidad Central de Bogotá, el Museo y el Colegio de San Bartolomé, carecían de los recursos necesarios para funcionar individualmente y resolvieron reunir las tres instituciones bajo la dirección de un solo director, que en adelante sería rector de la Universidad Central y Colegio de San Bartolomé.

Es importante tener en cuenta que el Colegio Mayor del Rosario había hecho todo lo posible para que la Universidad Central se estableciera en su claustro, según consta en un decreto emitido por la Cámara de la provincia de

1 Frank Safford, *El ideal de lo práctico*, Bogotá, El Áncora, 1989, pp. 190-197.

2 John Lane Joung, *La reforma universitaria de la Nueva Granada (1820-1850)*, Santafé de Bogotá.

3 Actualmente Jorge Arias de Greiff y Clara Helena Sánchez vienen investigando sobre la historia de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, la cual será próximamente publicada bajo el título: *Antecedentes de la facultad de Ciencias de la Universidad Nacional*.

4 Decreto 10 de abril de 1842, *que declara pertenecientes a la Universidad Central las cátedras de jurisprudencia y medicina de los colegios de San Bartolomé y el Rosario*, en: ICFES, *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, volumen II, parte I, Bogotá, Icfes, 1974, pp. 347-348.

5 Ley de 21 de mayo de 1842, *que hace varios arreglos en la Universidad Central*, en: ICFES. *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, volumen II. Parte II., Bogotá, 1974, pp. 363-365.



Bogotá el 3 de octubre de 1842, el cual en su artículo único dice: “*siempre que el Poder Ejecutivo estime conveniente establecer la universidad central en el edificio en que hoy está el Colegio de Nuestra Señora del Rosario, se observarán en este los reglamentos que dicte, tanto para el régimen interior de la universidad, creación y dotación de las cátedras del mismo Colegio, con tal que se cumpla puntualmente con el tenor de todas las fundaciones que se hayan hecho a su favor, cualquiera que sea su objeto*”<sup>6</sup>. Este propósito no se pudo lograr; en cambio, el ejecutivo emitió una ley por medio de la cual se estableció que el Universidad Central seguiría ubicada en el Colegio de San Bartolomé, con un solo rector, bajo la estricta dependencia del presidente de la República, quien se encargaría de reorganizar la educación en el territorio neogranadino<sup>7</sup>.

“*Artículo 1°. La Universidad Central, el colegio de San Bartolomé, el Museo y la biblioteca nacional, quedan bajo el gobierno y disposición de un solo superior, que se denominará “rector de la universidad y del colegio de San Bartolomé”.*”

“*Artículo 2°. Corresponde al Poder Ejecutivo dictar los reglamentos y órdenes necesarias para la organización y dirección de estos establecimientos, nombramiento, suspensión y destitución de los empleados, recaudación, contabilidad e inversión de los fondos y rentas; conservación, administración y enajenación de sus bienes: creación, dotación y suspensión de cátedras, y sobre todo lo demás relativo a la enseñanza.*”

“*Artículo 3°. El Poder Ejecutivo se sujetará, al expedir los reglamentos de que habla el artículo anterior, a las prevenciones siguientes:*

“*1°. En el nuevo establecimiento se enseñarán, tanto las ciencias profesionales, cuya enseñanza es peculiar de las universidades, como también los idiomas, ciencias exactas, naturales y morales y los demás conocimientos que son propios de los colegios provinciales.*

“*2°. A las fundaciones y principales que tengan señalada por los fundadores y donantes, una aplicación especial para determinada enseñanza, se le dará la inversión que la voluntad de aquellos haya designado.*”

“*Artículo 4°. El rector será de libre nombramiento del Poder Ejecutivo.*”

“*Artículo 5°. Desde el día de la publicación de esta ley cesan en sus destinos los superiores de estos establecimientos.*”

“*Parágrafo único. Mientras se proveen en propiedad, después de dictados los reglamentos que debe expedir el Poder Ejecutivo, los destinos de rector y demás superiores o catedráticos, que según sus disposiciones hayan de tener los establecimientos de que trata esta ley, serán servidas interinamente las plazas, que por este artículo se declaran vacantes, por las personas que al efecto designe el mismo Poder Ejecutivo.*”

“*Artículo 6°. El nombramiento de los catedráticos que han de formar la junta de inspectores y gobierno de la universidad central, y todos los demás actos, que conforme a las leyes que actualmente rigen, se desempeñan por una junta de doctores, se ejecutarán en adelante por una junta compuesta de los catedráticos y superiores de estos establecimientos.*”

“*Artículo 7°. Las disposiciones del artículo anterior y la del artículo se observarán igualmente en las demás universidades de la República.*”

“*Artículo 8°. La duración de los rectores de las universidades será en lo sucesivo por cuatro años; pero los actualmente nombrados para las del Cauca y del Magdalena e Istmo, sólo permanecerán en estos destinos por los tres años para que fueron elegidos.*”

“*Artículo 9°. El Poder Ejecutivo hará en el plan de instrucción pública las reformas que juzgue convenientes, no solamente respecto de la Universidad Central, sino de las demás universidades de la República*”<sup>8</sup>.

En consecuencia con lo anterior, el presidente de la Nueva Granada, Pedro Alcántara Herrán expidió, el 20 de junio de 1842 el siguiente decreto:

“*Sobre arreglo de las universidades y otros establecimientos de educación.*”

6 Olga Lucía Zuluaga Garcés y otros, *Disposiciones legales sobre instrucción pública en Bogotá (1832-1858)*, Bogotá, Alcaldía Mayor, 1998, pp. 44-45.

7 Véase: María Clara Guillén de Iriarte, *Los asertos de conclusiones públicas en el Colegio del Rosario durante la época de la Universidad Central, 1826-1842*, en: *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, volumen XXV, N° 94 marzo de 2001, pp. 91-193.

8 Ley de 21 de mayo de 1842, *que hace varios arreglos en la Universidad Central*, en: ICFES. *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, volumen II. Parte II., Bogotá, 1974, pp. 363-365.

*Artículo 1o. El doctor Pablo A. Calderón, rector que ha sido del colegio de San Bartolomé, se encargará provisionalmente del rectorado de la universidad central y del mismo colegio de San Bartolomé, hasta que hechos los arreglos que previene la ley de 21 de mayo último, se haga el nombramiento en propiedad como ella lo dispone.*

*Artículo 2o. El nombrado gozará del sueldo de 800 pesos anuales de que hoy disfruta el rector de la universidad central.*

*Artículo 3o. Los catedráticos y el secretario de la universidad y los catedráticos del colegio de San Bartolomé que hasta la publicación de la ley en esta ciudad han estado en ejercicio de sus destinos, continuarán en él hasta el día 31 de agosto próximo, en cuyo día cesarán todas las cátedras que hay actualmente en ejercicio en los establecimientos de que habla el artículo 1o. de la citada ley, las cuales permanecerán en suspenso hasta que expidan los reglamentos que el Poder Ejecutivo debe dar para la organización de la universidad y colegio citados.*

*Artículo 4º. Todos los demás empleados, bien sean en la universidad central, en el colegio de San Bartolomé, o en el museo nacional, continuarán en sus destinos hasta el día último del corriente junio, en que deben cesar; en este tiempo entregarán al rector nombrado los objetos que estén a su cargo, y rendirán las cuentas de su manejo los que lo tuvieren.*

*Artículo 5o. El bibliotecario nacional continuará en su destino hasta que se hagan los arreglos de que antes se ha hablado.*

*Artículo 6o. El rector de la universidad y del colegio de San Bartolomé propondrán al Poder Ejecutivo las reformas que deben hacerse en los edificios de estos establecimientos y los medios y arbitrios para ejecutarlas; dará cuenta del estado de sus rentas y presentará todas las indicaciones que estime conducentes a la mejor organización del nuevo establecimiento, administración y aplicación de sus rentas”<sup>9</sup>.*

### **Dependencia del Colegio Mayor de Rosario de la Universidad del Primer Distrito y Colegio de San Bartolomé**

El 1º de diciembre de 1842<sup>10</sup> el presidente de la República, don Pedro Alcántara Herrán, expidió un decreto que organizaba el sistema universitario en el territorio de la Nueva Granada y en el mismo dispuso que la Dirección General de Instrucción Pública estaría a cargo del secretario de la cartera del Interior y Relaciones Exteriores<sup>11</sup>, a quien le correspondía llevar a cabo, entre otras funciones, la de mejorar la enseñanza, elaborar los programas y fomentar la traducción y publicación de libros<sup>12</sup>; el encargado fue don Mariano Ospina Rodríguez.

En cada una de las provincia del territorio nacional se establecieron Subdirecciones de Instrucción Pública subordinadas a la Dirección General<sup>13</sup> y a cargo del respectivo Gobernador, además de dos adjuntos nombrados por el Poder Ejecutivo. La Universidad Central fue clausurada y se establecieron tres universidades independientes entre sí en las capitales de los tres distritos universitarios creados en 1826 don Francisco de Paula Santander así: en Bogotá la Universidad del Primer Distrito, que comprendía las provincias de Antioquia, Bogotá, Casanare, Mariquita, Neiva, Pamplona, Socorro, Tunja y Vélez. En Cartagena la Universidad del Segundo Distrito, que incluía las provincias de Cartagena, Mompo, Panamá, Riohacha, Santa Marta y Veraguas, y en Popayán la Universidad del Tercer Distrito, que incluía las provincias de Buenaventura, Cauca, Chocó y Pasto<sup>14</sup>.

La universidad de Bogotá se denominó “Universidad del Primer Distrito y Colegio de San Bartolomé” y quedó regida por un “Gran Consejo”, una “Junta de Inspección y Gobierno”, uno o varios “Inspectores” y un “Rector” como jefe del establecimiento. La misma incluía cinco facultades denominadas: de “Literatura y Filosofía”, de “Ciencias Físicas y Matemáticas”, de “Medicina”, de “Jurisprudencia” y de “Ciencias Eclesiásticas”. Éstas a su vez estaban compuestas por las “Escuelas Generales” que

9 Decreto de 20 de junio de 1842, en ejecución de la ley de 21 de mayo, sobre arreglo de las universidades y otros establecimientos de educación, capítulo 1º Art. 1º, en: ICFES. *Compilación de normas sobre la educación superior. La república neogranadina*, volumen II. Parte II., Bogotá, 1974, p.365-366.

10 Decreto de 1º de diciembre de 1842, que organiza las universidades, capítulo 1º Art. 1º, en: ICFES. *Compilación de normas sobre la educación superior. La república neogranadina*, volumen II. Parte II., Bogotá, 1974, p. 366.

11 *Ibíd.*

12 *Ibíd.*

13 *Ibíd.*, p. 367.

14 *Ibíd.*

eran “aquellas en que se enseñan todos los ramos de la facultad” y “Escuelas Especiales en que solo se enseñan algunos ramos de la facultad”.

El Colegio Mayor del Rosario quedó convertido en escuela general de literatura y filosofía de la Universidad del Primer Distrito y Colegio de San Bartolomé. Al rector del Rosario, doctor Vicente Antonio Gómez Polanco le correspondía desempeñarse además como primer inspector de la Universidad, es decir, que actuaba como segundo en la jerarquía directiva, subordinado al rector de la Universidad, a quien le tenía que pedir licencia, inclusive para modificar el horario de las clases.

El rector del Rosario tenía las siguientes obligaciones:

“Artículo 56. Habrá en la universidad un inspector, que será el segundo jefe de ella. Será nombrado y amovible por el Poder Ejecutivo y durará en su destino cuatro años. Para ser inspector se necesitan los mismos requisitos que para rector, excepto la edad, pues bastará que tenga veinticinco años cumplidos.

Artículo 57. Donde por estar separadas en diferentes edificios las escuelas o por otra causa suficientemente grave no pueda un solo inspector llenar cumplidamente las funciones del destino, podrá haber dos o mas que serán designados con los números 1°. 2°. 3°, etc.

Artículo 58. Al inspector tocará examinar diariamente si los catedráticos asisten a las aulas a la hora señalada y si dan las lecciones por todo el tiempo que deben. Inmediatamente que note alguna falta de esta especie lo avisará por escrito al catedrático y lo pondrá en conocimiento del rector.

Artículo 59. Llevará un registro de asistencia de los catedráticos. Diariamente anotará en él si el catedrático asistió cumplidamente o no.

Artículo 60. Cuidará de la asistencia de los cursantes a las clases, estudios, pasos, conferencias y demás actos y funciones a que deben concurrir; corregirá a los que falten; mantendrá el buen orden y disciplina en todos esos ejercicios y durante las horas de recreo.

Artículo 61. Llevará un registro de asistencia de cursantes en que diariamente anotará las faltas de cada uno de ellos a la aula, paso estudio o cualquiera función o ejercicio obligatorio. Las faltas deberán anotarse aun

cuando el cursante no pueda concurrir a causa de enfermedad o de otro motivo justo.

El registro será formado de manera que las anotaciones de faltas puedan hacerse con la separación debida y sin necesidad de escribir muchas palabras

Artículo 62. Llevará también el inspector un manual en que anote los actos de virtud que recomienden a algún alumno, e igualmente los actos de mala conducta, de insubordinación, de irrespeto o desaplicación o cualesquiera otras faltas cometidas por los alumnos, así internos como externos.

Artículo 63. Habrá una destinada para la anotación de faltas; y por ningún motivo se postergará esta operación. El día último de cada uno de los meses del año escolar presentará el inspector al rector estos registros firmados, para que el rector haga en sus libros las anotaciones correspondientes.

Artículo 64. Durante las horas de paso y estudio el inspector recorrerá constantemente los claustros y salones de estudios y no podrá ausentarse sino cuando el rector ejecute por sí la inspección.

Artículo 65. El inspector deberá habitar en el edificio de la universidad; y cuando a ésta esté unido algún colegio no podrá ausentarse durante la noche sino con anuencia del rector y quedando este en él.

Artículo 66. Custodiará el gran sello de la universidad y en su presencia se sellarán los actos que deban serlo”<sup>15</sup>.

Sobra decir, que el Colegio del Rosario quedó sometido completamente al Poder Ejecutivo el cual se encargó de emitir decretos y reglamentos para la marcha del mismo. El sistema de elecciones para la provisión de colegiales de primera fundación, catedráticos y cargos directivos, establecido en las Constituciones dejó de existir. El presidente, se encargó de nombrarlos directamente.

En esas circunstancias, el doctor Vicente Antonio Gómez Polanco entregó la rectoría a su sucesor, el doctor Andrés María Pardo y Álvarez, en enero de 1843.

### Reglamento para el Colegio Mayor

El 28 de enero de 1843 el rector de la Universidad del Primer Distrito y Colegio de San Bartolomé, Pablo Agustín

15 Decreto de 1° de diciembre de 1842, que organiza las universidades, capítulo 8°, en: ICFES. *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, volumen II. Parte II., Bogotá, 1974, pp. 374-375.

Calderón, elaboró un reglamento provisional y le envió al doctor Pardo una copia auténtica de “la parte que dice relación con el establecimiento que U preside, para que sea observado inter que la junta de inspección y gobierno dispone otra cosa”.

“REGLAMENTO La Junta de Inspección y Gobierno de la Universidad del Primer Distrito en cumplimiento del artículo 340 del decreto ejecutivo orgánico de las Universidades ha aprobado el Reglamento provisional económico de esta Universidad que arregla las horas de asistencia a la aulas, pasos, estudios, conferencias, actos religiosos y demás que debe haber con arreglo al citado decreto.

### **Colegio del Rosario**

Por la mañana: Art°. 1° De las 6 a las 7 estudio (la puerta estará abierta hasta las 6 y  $\frac{1}{4}$ , a cuya hora se cierra y al que no haya entrado se le apunta la falta). Art°. 2° A las 6 y  $\frac{1}{4}$  que se anuncia con dos toques de campanas, cada bedel forma su clase y el inspector o pasante, pasa la lista y continúa el estudio. Art°. 3° A las 7 se anuncia que concluye el estudio dando tres toques de campana y una voz uno de los superiores con la cual indica que se retiren. Art°. 4° De las 7 a las 8 salen a almorzar. Art°. 5° De las 8 a las 10 aulas, (la puerta estará abierta hasta las 8 y  $\frac{1}{4}$ ). Art°. 6° Los cursantes antes de entrar a su respectiva clase, formaran, y en ese orden se dirigen a a las aulas, esta operación corresponde hacerla a los bedeles, y la formación se verificará en el orden con que estén numeradas, y en el mismo orden de formación saldrán de las clases. Art°. 7° De las 10 a las 11 habrá descanso, sin permitir salir ningún alumno fuera del colegio, y se ocuparán en ejercicios gimnásticos siempre a presencia de uno de los pasantes. Art°. 8° De las 11 a las 12 paso.

Único. A esta hora concurrirán a la clase extraordinaria de literatura que en el orden de la distribución le toque, y el resto de los alumnos continúe en paso. Art°. 9° Al dar las 12, se retiran, iniciándose con tres toques de campana y la voz de un superior.

Por la tarde: Art°. 10° De las 2 a las 3 estudio (la puerta estará abierta hasta las 2  $\frac{1}{2}$ , a cuya hora se cierra y al que no haya entrado se le apunta la falta). Art°. 11° De las 3 a las 6 aulas, y al entrar[sic] y salir de ellas se verifica en formación como se ha dicho de por la mañana. Art°. 12° De las 5 a las 6 concurrirán a la clase de literatura aquella clase que le haya tocado en un turno y los que se retiran, la concurrencia a esta clase y retiro se anuncia con tres toques de campana.

Días festivos: Art°. 13° A las 8 de la mañana será la misa. Todos los cursantes deben asistir en cuerpo y formados de dos en dos alas en el centro de la respectiva capilla por el orden de la clase que será 1° la sección de literatura; 2° la de filosofía; 3° las de medicina; 4° las de jurisprudencia; los superiores, bedeles y jefes de sección, cuidarán de que se guarde todo orden y compostura en este acto, sin permitir que ningún alumno se ponga de pie ni se siente; cualesquiera falta se calificará por grave y así se asentará en el respectivo registro. Art°. 14° Los alumnos deberán estar en el colegio a las 7 y  $\frac{1}{2}$ ; la puerta estará abierta hasta los tres cuartos para las 8, las clases forman y se pasa lista para el objeto de apuntar las fallas. Art°. 15° La entrada y salida a la iglesia se hará en formación de dos en dos y con precedencia de clases. Art°. 16° Concluida la misa y habiendo regresado a los claustros, el respectivo superior anuncia que pueden retirarse.

Art°. 17° De las 10 y  $\frac{1}{2}$  a las 12 concurrirán todos los alumnos a la clase de religión, para lo cual deberán estar dentro del colegio a las 10 y  $\frac{1}{4}$ , a cuya hora se cierra la puerta, forman las clases, se pasa lista para apuntar las fallas. Art°. 18° Concluida la clase, se retiran anunciándose con tres toques de campana y la voz del superior.

Comuniones de regla: Art°. 19° Ocho días antes el rector avisará el día en que debe tener lugar, para que se vayan disponiendo. Art°. 20° Los días destinados a preparación no habrá clases, ni estudio, ni paso, sino que se ocuparán en el colegio en ejercicios propios para recibir dignamente la sagrada comunión. Un reglamento especial formado por el capellán y aprobado por el rector arreglará los ejercicios de estos días. Art°. 21° El día de la comunión los alumnos se arreglarán a la distribución de que habla el artículo anterior. Cualesquier falta se calificará de inmoralidad y así se anotará en el libro respectivo. Art°. 22° Mientras la capilla del colegio de San Bartolomé no se halle en estado de servicio y esté nombrado el capellán, los alumnos de facultad mayor concurrirán al colegio de Nuestra Señora del Rosario los días festivos a oír la misa y a la clase de religión, y del mismo modo concurrirán a la comunión de regla y a los ejercicios preparatorios de ella.

Bedeles y jefes de sección: Art°. 23° Los bedeles y jefes de sección son los agentes de los superiores, hacen cumplir las disposiciones del reglamento a sus clases y secciones, mantienen el orden al entrar[sic] y salir del colegio y a las clases, como también en el estudio, paso, actos religiosos, y llenan los deberes de los artículos 333 y siguientes del decreto orgánico. Art°. 24° Es un deber

de los alumnos obedecer las órdenes que tengan relación con el reglamento comunicadas por los bedeles y jefes de sección, respetar a éstos en ejercicio de sus funciones. Artº. 25º Los bedeles y jefes de sección no permitirán a ningún cursante estar con capa ni sombrero a las horas de estudio, paso, aulas, conferencias y cualesquiera otros actos literarios. Artº. 26º Tampoco se permitirá a los cursantes en las horas de descanso tener puesto el sombrero, y precisamente al entrar a la puerta del colegio, lo tomarán a la mano, y a las horas en que deben retirarse, tampoco les será permitido el ponérselo sino hasta salir de la puerta. Artº. 27º Los bedeles y jefes de sección cuidarán que cuando alguna persona notable entre al colegio, dos cursantes le acompañen hasta el lugar a donde se dirija, y lo mismo verificarán al tiempo de salir conduciéndolo hasta la puerta. Este deber lo tienen todos los cursantes sin necesidad de que se lo manden los bedeles y jefes, lo mismo que hacer agudo acatamiento que previene la fina urbanidad a la entrada y salida. Artº. 28º Los bedeles y jefes de sección corregirán a los cursantes las faltas de urbanidad que noten en ellos dentro y fuera del colegio. Artº. 29º Los bedeles y jefes de sección son responsables de cualesquiera desorden y falta que se note en sus clases o secciones, las corregirán e inmediatamente las manifestarán a los superiores, informando igualmente sobre la buena o mala conducta de los alumnos; y toda consideración o disimulo en esta parte, es imputable al bedel o jefe respectivo, y por lo mismo, será corregido y castigado con más severidad que a los demás alumnos. Artº. 30º Siendo el destino de bedel y jefe de sección por el decreto orgánico de universidades artículos 333 y 334, de distinción y de mérito y se concede a los dos mejores conducta y aplicación, el ser removido de él, trae consigo la nota de mala conducta, y así se anotará en el respectivo libro. Artº. 31º Cuando un bedel o jefe de sección desmerezca la confianza de los superiores por no haber llevado sus deberes o por no haber denunciado las faltas que hayan observado en los alumnos que están bajo su vigilancia, será removido del destino por el rector o inspector, y en una de las horas de paso o estudio se hará saber esta providencia a las clases, lo mismo que la de la elección que se haya hecho en quien deba reemplazarlo, y de todo se dará por parte oficio al respectivo catedrático y la providencia de moción hecha se anotará en el respectivo libro para que obre al tiempo de los exámenes. Artº. 32º Cada semana terminará uno de los bedeles por designación hecha por los pasantes para que anuncie con la campana las horas de entrar y salir a paso, estudio, clases, conferencias, actos religiosos y cualesquiera otras que haya en el colegio.

Disposiciones varias: Artº. 33º Todo cursante al encontrarse en la calle con algún superior o catedrático le saludará con el sombrero a la mano, y esto mismo hará con toda persona notable. Artº. 34º En las horas de paso, estudio, aulas o cualesquiera otros actos persona notable. Artº. 34º En las horas de paso, estudio, aulas o cualesquiera otros actos interiores (exceptuando las horas de descanso), no permitirá a los alumnos fumar ni sentarse en las barandas ni recostarse hacia la pared, ni tener una pierna sobre otra. Artº. 35º Los superiores cuidarán de reprender toda falta de urbanidad que noten en los alumnos dentro o fuera del colegio. Artº. 36º El Rector de la Universidad hará una distribución entre los días de la semana para que se tengan las conferencias con arreglo al artículo 1º cap. 2º del decreto orgánico, y estas serán con unas de las horas de la clase.

Artº. 37º Del mismo modo fijará el día y la hora para la conferencia general de cada facultad que debe haber en el mes. Artº. 38º La cucarda prevenida por el decreto orgánico, será circular, por lo menos su diámetro de tres pulgadas y en el centro llevará la siguiente inscripción "Alumno de la Universidad". El rector fijará el día en que todos deben usarla.

Artº. 39º Las clases de literatura cuyos cursos son extraordinarios, se arreglarán a las 11 por la mañana y a las 5 por la tarde conforme a la distribución que ha hecho, dando las lecciones a los de cada clase, atendiéndose a la clase en que están y no a los cursos que están ganándose, es decir un día para los de 1º año, otro para los de 2º, etc. Art. 40º Este reglamento les será leído a todos los alumnos en tres días distintos uno en cada semana, y se fijarán aquellas disposiciones que se crean que deben estar más al alcance de los alumnos.

Dado en la sala de las sesiones de la junta de inspección y gobierno a 23 de enero de 1843. El rector de la Universidad = Pablo Agustín Calderón = El secretario = Alejandro Osorio. Es copia de la parte que toca al Colegio de Nuestra Señora del Rosario. Alejandro Osorio. Secretario.

Artículos adicionales: 1º Cuando un catedrático no concurra pasada media hora en que debían haberse comenzado las lecciones, los cursantes que por esta causa no tienen aula se pondrán en estudio, el que durará todo el tiempo que la aula había de durar. 2º Las faltas a este reglamento serán castigadas con arreglo al artículo 8º del capítulo 24 del decreto orgánico y con aquellas penas correccionales que sean necesarias para mantener el orden y disciplina a juicio y prudencia de los superiores.

res, mientras que estas se detallan con arreglo al artículo 34° Alejandro Osorio, secretario”<sup>16</sup>.

### Nuevo escudo y uniforme para los alumnos

El 20 de febrero de 1843, la Junta de Inspección y Gobierno de la Universidad del Primer Distrito decretó que todos los alumnos de la universidad debían llevar en la parte superior e izquierda del sombrero, la siguiente cucarda: “será circular, de dos a tres pulgadas de diámetro, y llevará bordado o estampado en negro sobre fondo blanco el escudo de armas de la Universidad es decir el escudo de las armas de la República, con esta inscripción al rededor <Universidad del Primer Distrito>”. “Cada cucarda llevará además una orla de media pulgada, que será del color de la facultad en que estuviere matriculado el alumno”<sup>17</sup>; por supuesto los alumnos del Rosario debían utilizarla por pertenecer a la universidad.

El 15 de marzo de 1843 el rector de la universidad le informó al doctor Pardo que el presidente de la República había suspendido el artículo 408 del decreto orgánico de las universidades en el cual se estableció que el uniforme de los miembros del gran consejo de la universidad era “pantalón azul turquí, casaca del mismo color, redonda, con forro y botones blancos, cuello cuadrado y rector con un tallo de granadas con hojas y fruto, bordado de plata, chaleco y corbata blancas, y sombrero negro redondo”<sup>18</sup>. En adelante el uniforme sería “traje negro llevando al pecho el escudo de armas de la Universidad con una cinta de colores del pabellón nacional”<sup>19</sup>. El 20 de abril de 1843 el presidente, Pedro Alcántara Herrán, sancionó una nueva Constitución Nacional, de carácter centralista y que le daba un gran poder al Ejecutivo;<sup>20</sup> tal constitución tuvo una vigencia de 10 años. El 26 de mayo de 1843 el rector de la Universidad informó al rector que

el nombramiento de capellán “es privativo del Poder Ejecutivo”<sup>21</sup> y el 5 de julio que el recaudo de los fondos de las fundaciones de que es patrono el Colegio le correspondía al Ejecutivo<sup>22</sup>. La correspondencia dirigida por el rector de la universidad al primer inspector del Rosario, ordenándole hasta el más mínimo detalle respecto del funcionamiento del Colegio, fue prolífica. El 24 de agosto de 1843 el doctor Pardo fue nombrado secretario de la Universidad del Primer Distrito y abandonó el rectorado del Rosario por este motivo<sup>23</sup>. Le sucedió el doctor Lorenzo María Lleras González.

El 24 de diciembre de 1844<sup>24</sup> el presidente Pedro Alcántara Herrán, expidió un decreto por medio del cual reglamentó las escuelas generales de la Universidad del Primer Distrito y determinó que las facultades estarían ubicadas en cuatro escuelas generales, a saber:

La Escuela General de Literatura y Filosofía seguiría ubicada en el Colegio del Rosario; la Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas y la de Jurisprudencia en el Colegio de San Bartolomé; la Escuela de Medicina en el edificio de San Juan de Dios y la Escuela de Ciencias Eclesiásticas en el Seminario. El rector de la Universidad residía en el edificio de San Bartolomé pero diariamente debía visitar los otros edificios.

La Universidad del Primer Distrito tenía dos inspectores; el primer inspector era el rector del Colegio de Nuestra Señora del Rosario, quien devengaba un sueldo de 500 pesos por año y vivía en la casa destinada para tal fin en el claustro rosarista; el segundo inspector residía en el Colegio de San Bartolomé; había además un inspector pasante que habitaba en el edificio de San Juan de Dios.

Los colegiales debían usar la beca universitaria “con arreglo al decreto de 27 de noviembre de 1843” y “los

16 AHUR, caja 33, folios 135-140.

17 AHUR, caja 33, folios 129-132.

18 Decreto de 1° de diciembre de 1842, que organiza las universidades, capítulo 27, ICFES, op. cit. *La República Neogranadina*, volumen II, parte II, p. 419.

19 AHUR, caja 33, folios 184-185.

20 Néstor Iván Osuna Patiño, *Constituciones de Colombia un estado en formación*. en: *Gran Enciclopedia de Colombia*, Bogotá, Círculo de Lectores, tomo 7, pp. 15-32.

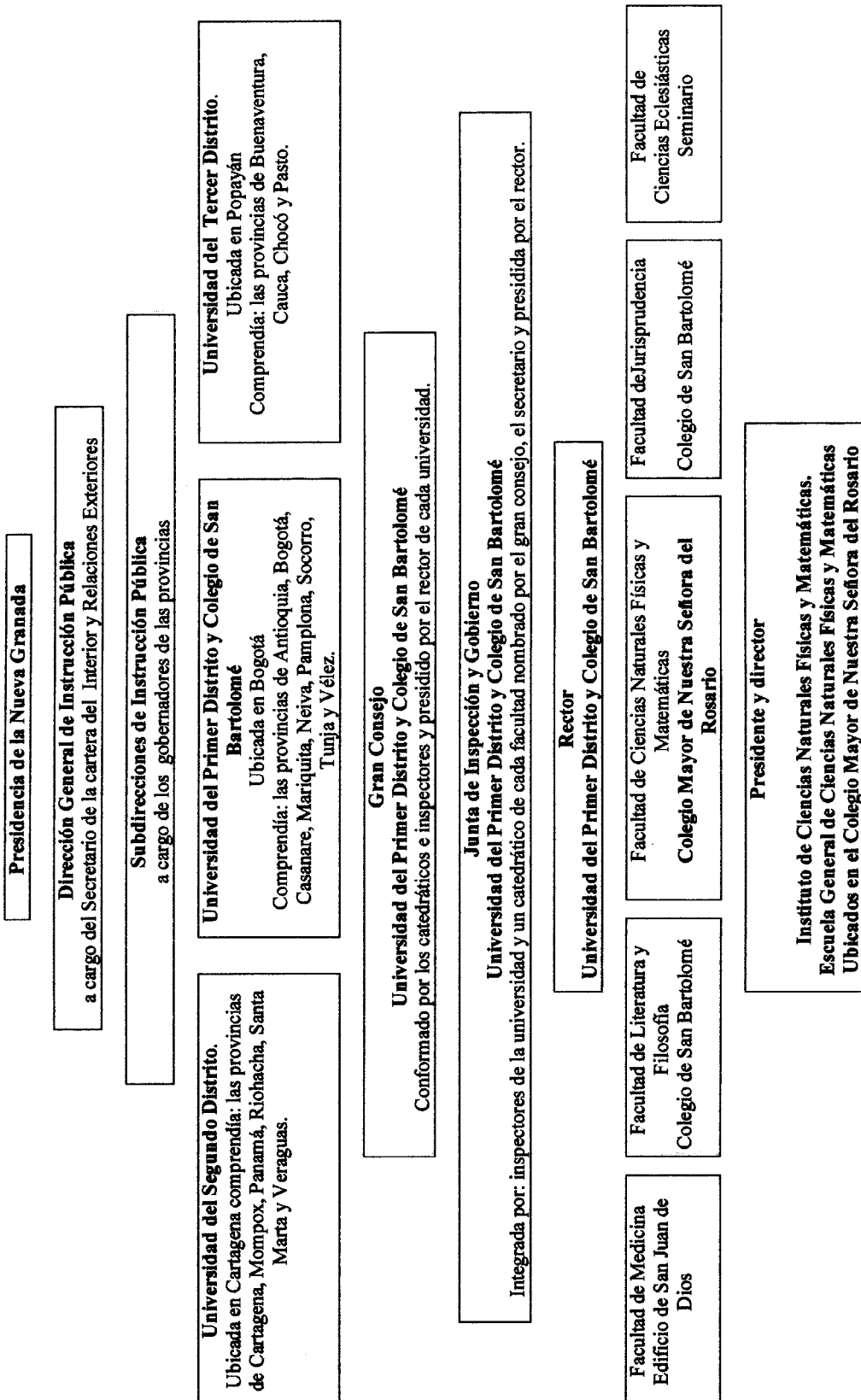
21 AHUR, caja 33, folio 204.

22 *Ibid.*, caja 33, folios 212-213.

23 *Ibid.*, caja 33, folio 165.

24 Decreto 22 de diciembre de 1844, que contiene las disposiciones transitorias relativas al plan general de instrucción pública, en: ICFES, *La República Neogranadina*. op. cit. volumen II, parte II, pp. 449-457.

## Organigrama de la Universidad del Primer Distrito y Colegio de San Bartolomé (1848 - 1850)



*individuos que han vestido la beca en alguno de los colegios de Nuestra Señora del Rosario o de San Bartolomé tienen derecho a vestir la beca universitaria*”, beca blanca para los rosaritas y roja para los bartololinos<sup>25</sup>.

El 1 de enero de 1846 el Poder Ejecutivo nombró al doctor Venancio Restrepo Villegas, primer inspector de la Universidad del primer distrito y rector de la Escuela de filosofía y Literatura<sup>26</sup> ubicada en el Colegio del Rosario, conocido como *Primer Inspectorado de la Universidad y Rectorado del Rosario*.

El 3 de enero de 1846 el presidente de la República, Tomás Cipriano de Mosquera determinó, que el uniforme de los alumnos internos de la Universidad del Primer Distrito de Bogotá sería: *“pantalón azul turquí, levita del mismo color, abrochada con botones negros, de faldas anchas que bajen de las rodillas, cuello recto y cuadrado con un libro abierto en cada lado bordado de seda del color de la facultad, y botas negras, corbatín negro y sombrero negro redondo. Al tercer ojal de la levita, al lado izquierdo, llevarán una cinta del color de la facultad de un tercio de pulgada de ancho y de una de largo, colocada verticalmente”*; la insignia que debían llevar los bachilleres en literatura y filosofía es decir los alumnos del Rosario, *“será un lazo de cinta de cinco vueltas del color de la facultad, pendiente del pecho en lugar de la señalada para el uniforme”*; los bachilleres de las demás facultades llevarían la cinta del color de cada facultad, la cinta de los licenciados sería de siete vueltas, *“y un cordón de plata con las alas desplegadas de diez a seis líneas de diámetro; y los doctores en el mismo lazo de cintas las armas de la república abiertas en un escudo de plata de doce líneas de longitud”*, y para los alumnos externos *“cuando representen algún acto público de la Universidad usarán del mismo uniforme detallado por los internos, pero la levita será de cuello vuelto, botón de seda y sin bordadura”*<sup>27</sup>, lo cual debería hacer cumplir el rector Restrepo.

El 29 de enero de 1846 el rector de la Universidad de Bogotá informó al doctor Restrepo que en lo sucesivo los inspectores de la universidad se denominarían por el nombre de la escuela y todos tendrían igual categoría por lo

tanto al rector del Rosario le correspondía el de *“Inspector de la Escuela de Literatura y Filosofía”*<sup>28</sup>.

Por intermedio del rector de la Universidad, Pablo Agustín Calderón, el 18 de septiembre de 1847, el presidente Mosquera envió un mensaje al doctor Restrepo; en el mismo resalta que:

*“mucha importancia da el Poder Ejecutivo a la educación social y moral de la juventud, independientemente de la intelectual, porque es de los principios morales y sociales que profesen y de su cortesanía que dependerán la mayor parte de sus acciones en la carrera de la vida. Por lo general los hombres truhanes, groseros o inmorales los que sirven de escándalo en el mundo, y de los que todo hay que temerlos, al paso que si por la falta de luces no puede hacerse mucho, útil, la bondad de las acciones dependerá siempre de lo primero. En las generaciones que se levantan es en donde deben formarse costumbres prácticas y honradas, porque de este modo ellas serán fructuosas, y una vez obtenido un resultado los posteriores serán el resultado de la consecuencia de aquella preciosa adquisición”*.

La situación del claustro rosarista se vio reflejada en la misma comunicación:

*“es constante al gobierno que el Colegio del Rosario se halla en su materia, en estado lamentable y vergonzoso, y que en la formal no se presta toda la atención, vigilancia, energía e inteligencia que demanda un establecimiento de esta clase. Algunos catedráticos ni asisten diariamente a las lecciones, ni las dan en el método conveniente, ni por todo el tiempo que es necesario. Todo esto exige con urgencia un remedio radical contrario a los puntos siguientes y a los demás que sean precisos 1° que se practiquen las refacciones que exija el edificio, y que se haga responsable de cualquier daño posterior al que resulte culpable. 2° que los superiores estén todo el día y por la noche en el Colegio, siempre en los claustros o donde se hallen los estudiantes, siendo tal su celo que evite todo mal resultado. 3° que se obligue a los catedráticos a llevar cumplidamente sus deberes. 4° que se remueva al empleado que no desempeñe a entera satisfacción, informándose al gobierno respecto de los que*

25 Decreto 22 de diciembre de 1844, que contiene las disposiciones transitorias relativas al plan general de instrucción pública, en: ICFES, *La República Neogranadina*. op. cit. volumen II, parte II, p.454.

26 AHUR, volumen 33, folio 13.

27 *Ibid.*, caja 34, folios 319-320.

28 *Ibid.*, caja 34, folios 301-302.



*de él dependen, para decretarla 5° que no haya ninguna especie de disimulos 6° que el rector [de la universidad] visite con la frecuencia posible y necesaria el Colegio y se cerciore de la buena marcha del establecimiento, del aprovechamiento de los jóvenes y del cuidado asiduo que se pone en su conducta moral y social, tomando en todo las providencias de su resorte, e indicando al gobierno las que no les incumban”<sup>29</sup>.*

### **Contrato celebrado entre el presidente Mosquera y el profesor Bernard Lewy**

El 12 de junio de 1847 el presidente Tomás Cipriano de Mosquera celebró en París un contrato, en nombre de la Nueva Granada, con el profesor de química y metalurgia Bernard Lewy, quien sería el presidente de una nueva institución educativa denominada Instituto Nacional de Ciencias Naturales Físicas y Matemáticas. En dicho instituto se establecería la Escuela de Ciencias Naturales, Física y Matemáticas en la cual, el profesor Lewy, dictaría clases de química durante seis años<sup>30</sup>. El 23 de junio de 1848 el rector de la Universidad del Primer Distrito, José Ignacio de Márquez le envió una copia del contrato firmado por el secretario de la Universidad Andrés María Pardo, el cual decía:

*“Entre los infrascritos Manuel María Mosquera enviado extraordinario y ministro Plenipotenciario de la Nueva Granada obrando a nombre i representación de su Gobierno, y el señor doctor B. Lewy profesor de química y metalurgia han convenido en lo que sigue.*

*1° El doctor Lewy se compromete con el gobierno de la Nueva Granada a enseñar en la facultad de ciencias de Bogotá la química en todos sus ramos y la metalurgia bajo la dirección de los empleados superiores dedicados a la enseñanza por la ley y a las órdenes del gobierno. Este contrato durará por seis años consecutivos, que se contarán desde el día de la llegada del señor Lewy al territorio de la Nueva Granada y de su presentación al gobernador de la provincia donde desembarque.*

*2° El señor doctor Lewy partirá del Habre para la Nueva Granada en el próximo mes de octubre, y después de su embarque en el puerto de Santamarta o en el de Cartagena partirá a Bogotá a comenzar su enseñanza lo mas pronto posible, a no ser que circunstancias mayores lo retengan.*

*3° El señor doctor Lewy desempeñará sus deberes como profesor de química y metalurgia dando lecciones teóricas y experimentales en las dos ciencias durante cada período del año escolar estableciendo en la república de la Nueva Granada y con toda la extensión de doctrina que es necesaria para formar discípulos aptos a difundir la enseñanza en los establecimientos provinciales de la república. A este efecto se obliga a dar a los discípulos que sigan sus clases, tres lecciones por semana, cuya duración será de una hora a hora y media, según que sea determinado por la dirección general de estudios. Estas lecciones serán dadas con intervalo de un día, de manera que él dará una nueva lección cada dos días. Los discípulos serán admitidos en el laboratorio a las horas determinadas, donde se harán los trabajos y preparaciones para los cursos, en el número que la dirección lo crea conveniente, después de haber oído la explicación del profesor para mostrar prácticamente los procedimientos y manipulaciones de la ciencia.*

*4° El Gobierno de la Nueva Granada pondrá a la disposición del señor Lewy todos los instrumentos, productos químicos, combustibles, utensilios del laboratorio y libros científicos necesarios, y cuidará de todos los gastos para la conservación del laboratorio químico. El gobierno de la Nueva Granada suministrará además todos los instrumentos químicos i utensilios del laboratorio que el señor Lewy crea necesarios llevar consigo y que se hallan indicados en el contrato anexo al tratado presente.*

*5° El Gobierno de la Nueva Granada se obliga a pagar puntualmente y por mes al señor Lewy su sueldo a razón de mil cuatrocientos pesos fuertes por cada año escolar, y establecer un laboratorio acomodado, al cual estará anexo un alojamiento para él. Bien entendido que el sueldo del señor Lewy le será pagado siempre sin ningún descuento ni disminución a que puedan estar sujetos ocasionalmente los demás empleados del departamento de la Instrucción Pública. El gobierno de la Nueva Granada se obliga igualmente a dar al señor Lewy para su viaje de París a Bogotá una suma de quinientos pesos fuertes que le serán entregados por cuenta de estado; todos los gastos de transporte de París a Bogotá, de las cajas que contengan los libros instrumentos y otros objetos científicos que el señor Lewy crea conveniente llevar consigo. Los quinientos pesos para el viaje serán pagados al señor Lewy en el momento de su salida de París.*

<sup>29</sup> AHUR, caja 35, folios 15-16.

<sup>30</sup> *Ibíd.*, caja 35, folios, folios 151.

6° El señor doctor Lewy en su calidad de profesor y miembro del instituto de Bogotá, podrá entregarse a investigaciones científicas en el laboratorio y con los instrumentos, productos químicos, combustibles y utensilios de la facultad siempre que estos trabajos no le impidan dar todos los cuidados y atenciones necesarios a su enseñanza; y los resultados de estos trabajos y de los descubrimientos científicos serán siempre comunicados al instituto por el señor Lewy en su calidad de miembro de dicho instituto y conforme a los reglamentos y disposiciones que se adopten.

7° Este acto se ha hecho triplicado, firmado por las dos partes contratantes y autorizado con el sello oficial de la legación de la Nueva Granada en París a 12 de junio de 1847 – M. M. Mosquera – y A. B. Lewy. Es copia, el secretario Andrés María Pardo<sup>31</sup>.

### **Instituto de Ciencias Naturales Físicas y Matemáticas**

El 14 de septiembre de 1847 el vicepresidente encargado del Poder Ejecutivo, don Rufino Cuervo, estableció mediante decreto nuevas disposiciones sobre educación pública las cuales, en términos generales y en lo referente al Colegio del Rosario, tenían muy pocas variaciones con respecto al decreto del 1° de diciembre de 1842, excepto por una novedad: la creación del Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas, el cual tendría tres secciones cada una de las cuales funcionaría en las sedes de las tres universidades, Bogotá, Cartagena y Popayán:

“Art. 69. La enseñanza, la propagación y la aplicación de las ciencias naturales, físicas y matemáticas, están encomendadas a un instituto compuesto de los catedráticos propietarios y sustitutos, y de los examinadores de las escuelas de estos ramos en las tres universidades de la república. El Presidente del instituto es nombrado por el Poder Ejecutivo y reside en Bogotá.

Art. 70. El instituto se divide en tres secciones existentes una en Bogotá, otra en Cartagena y otra en Popayán; cada sección se compone de los catedráticos propietarios de los sustitutos y de los examinadores de la escuela existentes en las mismas ciudades, y tiene un consejo compuesto de los catedráticos en servicio, que obra a nombre y en representación del instituto para el desempeño de sus funciones, y tiene un director nombrado por

los catedráticos propietarios de la escuela, ejerciendo el pasante las funciones de secretario, y por su falta, el catedrático menos antiguo. El presidente del instituto es director de la sección de Bogotá.

Al director le subroga el catedrático más antiguo de la escuela respectiva, por su orden, y en su caso también al presidente del instituto.

Art. 71. Las funciones del instituto son las mismas que generalmente quedan atribuidas a los consejos de las facultades de las otras escuelas.

Art. 72. Los catedráticos de Ciencias naturales, físicas y matemáticas, de un colegio provincial forman una sección corresponsal de la sección del distrito cuyas funciones ejerce, en lo concerniente al régimen universitario del establecimiento respecto de la enseñanza de estos ramos.

Art. 73. El presidente del Instituto es el centro y punto de contacto de las tres secciones para comunicarse recíprocamente cuando conduzca al adelantamiento de las ciencias, y para que la enseñanza de éstas sea uniforme en sus principios y adecuada en su aplicación a las necesidades y circunstancias de los lugares.

Art. 74. A su cuidado están el observatorio astronómico, el gabinete de historia natural, el jardín de plantas, el laboratorio químico y el museo existentes en Bogotá: él vigila en la conservación, aumento, mejora y buen orden de estos establecimientos, sin permitir que sufran el menor daño cuando son puestos a disposición del respectivo catedrático para que dé sus lecciones. Los directores del instituto en Cartagena y Popayán cuidan de los establecimientos de este género que haya en aquellas ciudades.

Art. 75. Por medio del presidente se comunica el instituto con las sociedades y sabios extranjeros, y se entiende con el director de Instrucción Pública para la adquisición de obras, instrumentos y demás útiles necesarios para la enseñanza, que deban traerse de países extranjeros.

En todos los demás negocios, cada sección depende del respectivo rector de la universidad, lo mismo que los consejos de las facultades de las otras escuelas<sup>32</sup>.

31 AHUR, caja 35, folios 152-153.

32 Decreto 14 de septiembre de 1847, que organiza las universidades, parágrafo 6°, del Instituto de Ciencias Naturales, Físicas y Matemáticas, en: ICFES, *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, op. cit., volumen II, parte II, pp. 490-491.

El profesor Lewy, dependía del rector de la universidad de Bogotá y actuaba como presidente del Instituto; era además el inspector de la Escuela de Ciencias ubicada en el Colegio de San Bartolomé.

El 29 de abril de 1848 el rector de la Universidad, don José Ignacio de Márquez, le informó al doctor Restrepo:

*“Señor inspector del Colegio del Rosario. El honorable señor secretario de estado del despacho de Gobierno, con fecha 27 del corriente N° 27 me dice lo siguiente. Con esta fecha comunico al honorable señor secretario de Relaciones Exteriores lo que sigue: el presidente de la república ha dispuesto que el arquitecto del gobierno pase al colegio del Rosario y examine todo el edificio bajo de dicho colegio que está en la parte que da a la calle y convertido en tiendas, para que se formen en ellas las piezas necesarias para el establecimiento de la escuela de química. Además debe quedar unido a dicha escuela el patio pequeño y el corredor que quedan debajo de la casa del inspector del expresado colegio. El profesor señor Lewy, pasó a reconocer dicho edificio en compañía de S. E. y del infrascrito y se acordó el arreglo que indico a usted, el cual dispone S. E. que se verifique bajo la dirección del arquitecto y de acuerdo con el señor Lewy, quien indicará el número de piezas necesarias y el destino que deben tener. Juzga igualmente el presidente que en el mismo colegio deben ponerse las escuelas de arquitectura, de botánica y de física, sobre lo cual espera que el arquitecto reconociendo todo el edificio, levante el plano y proponga el modo de hacer la composición. En consecuencia V. S. se servirá dar las órdenes que correspondan a ese despacho como encargado del departamento de obras públicas”<sup>33</sup>.*

El mismo día 24 de abril de 1848 el secretario de gobierno, Alejandro Osorio, le envió otra carta al rector del Rosario que decía:

*“República de la Nueva Granada.*

*Secretaría de Estado del Despacho de Gobierno. Sección 4ª.*

*Bogotá 29 de abril de 1848*

*Al Señor Rector del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.*

*El presidente de la República ha dispuesto que los bultos venidos de Europa conteniendo el aparato químico que debe servir a la cátedra del señor Lewy, se depositen en una pieza segura del edificio de ese Colegio. Lo que comunico a U. para su cumplimiento y fines consiguientes. Dios guarde a U. Alejandro Osorio”.*

*[al margen] “Enterado Restrepo”<sup>34</sup>.*

Dos meses más tarde don Manuel Mallarino, le envió al rector del Rosario otra misiva:

*“República de la Nueva Granada.*

*Secretaría de Estado del Despacho de Gobierno. Sección 4ª .*

*Bogotá 3 de junio de 1848.*

*Número 9.*

*Al Sr. Rector del Colegio del Rosario.*

*Sírvase U. Entregar al señor Lewy la llave de la pieza en que están depositados los útiles del aparato químico, de que hablé a U. en mi comunicación de 29 de abril último. Dios aguarde a U. M[anuel] M[aría] Mallarino”<sup>35</sup>.*

El laboratorio de química y todos los implementos necesarios para el funcionamiento del instituto fueron llegando de Europa durante los seis meses siguientes, los cuales fueron ubicados en el Colegio del Rosario:

*“República de la Nueva Granada. Gobernación de la Provincia. Sección 3ª .*

*Bogotá 5 de junio de 1848.*

*N° 108.*

*Al Señor Rector del Colegio del Rosario,*

*Habiendo dispuesto el Gobierno se depositen en ese Colegio los bultos del laboratorio químico que han llegado de Europa, ud. Hará que dichos tercios se coloquen en una pieza adecuada dando la llave de ella al Dr. Lewy. Sírvase usted disponer tenga su efecto la presente determinación lo más pronto posible. Dios guarde a ud. José María Rubio”<sup>36</sup>.*

<sup>33</sup> AHUR, caja 35, folio 219.

<sup>34</sup> AHUR, caja 35, folios 201.

<sup>35</sup> *Ibíd.*, caja 35, folio 202.

<sup>36</sup> *Ibíd.*, caja 35, folios 201-203.

### **La Escuela de Ciencias Naturales Física y Matemáticas instalada en el Colegio Mayor del Rosario**

El 6 de junio de 1848 el presidente Mosquera estableció que la Escuela de Ciencias Naturales Físicas y Matemáticas, que funcionaba en el Colegio de San Bartolomé, fuera ubicada en el edificio del Colegio Mayor del Rosario y que la Escuela de Literatura y Filosofía, que funcionaba en el Rosario, “se pasará a San Bartolomé con todos sus alumnos”<sup>37</sup>.

“Tomás Cipriano de Mosquera, Presidente de la República.

*En uso de la facultad que corresponde al Poder Ejecutivo por el artículo 5° de la ley de 8 de mayo de 1848. Decreto. Art. 1° La escuela de Ciencias Naturales, físicas y matemáticas de la Universidad de Bogotá, se establece en el Colegio del Rosario. Art. 2° Esta escuela forma la sección del Instituto nacional de ciencias naturales físicas y matemáticas. Art. 3° La escuela de Literatura y Filosofía establecida en el edificio de dicho Colegio del Rosario, se pasará al edificio de San Bartolomé con todos sus alumnos.*

*Art. 4° El presidente del Instituto será al mismo tiempo inspector del Colegio del Rosario, quedando en esta parte reformado el artículo 44 de los estatutos universitarios de 14 de Setiembre de 1847. Art. 5° La Biblioteca del Colegio del Rosario se unirá a la Biblioteca de San Bartolomé, y de esta se tomarán todas las obras de Ciencias naturales, físicas y matemáticas para formar una biblioteca especial unida al Instituto. Art. 6° El edificio del Colegio del Rosario de modo que puedan darse en él, lecciones de química, mineralogía, arquitectura, física, matemáticas astronomía, diseño, pintura e historia natural. Así mismo se colocará el archivo de los ingenieros civiles, y geógrafos de la República. Art. 7° Se trasladará al mismo edificio el museo de mineralogía, y el de historia natural. Art. 8° El museo de antigüedades y otros objetos preciosos quedará en el edificio de la universidad, a cargo del presidente del instituto. Art. 9° Los gastos para el arreglo del edificio del Colegio del Rosario y traslación del museo, se harán de los fondos de la universidad, y de las cantidades aplicadas por las leyes de gastos del corriente y entrante año económico para estos objetos. Art. 10° La contabilidad de los gastos del instituto estará a cargo de la Universidad, como que hace*

*parte de los colegios a ella. Art. 11° El arquitecto del gobierno presentará el plano del edificio, y el presupuesto de los gastos que demande la ejecución de este decreto. A su cargo estará también la dirección de los trabajos. Art. 12° El presidente del Instituto vivirá en el colegio, lo mismo que aquellos profesores que puedan alojarse, si hubiere capacidad para ello, sin perjuicio de la enseñanza. Vivirán del mismo modo en el colegio el portero y sirvientes encargados del aseo, custodia y arreglo del establecimiento. Art. 13° Todos los instrumentos de ciencias se pasarán al Instituto, para colocarlos en los respectivos gabinetes, y se formará un inventario general de ellos, en que conste su estado actual, y las mejoras de que sean susceptibles. El secretario de Gobierno queda encargado de la ejecución del presente decreto. Dado en Bogotá a 6 de junio de 1848. Tomás Cipriano de Mosquera. El Secretario de Relaciones Exteriores encargado del Despacho de Gobierno. Manuel María Mallarino. Es copia el secretario de la Universidad Andrés María Pardo”<sup>38</sup>.*

El doctor Restrepo siguió viviendo en la casa destinada para el rector del Rosario hasta el mes de octubre cuando debió entregarla al profesor Lewy, como consta en la orden que recibió el 26 de septiembre de 1848:

“República de la Nueva Granada. N°. 92.

*Universidad del Primer Distrito. Bogotá, 26 de septiembre de 1848.*

*Señor Inspector del Colegio del Rosario.*

*En nota de fecha 23 del corriente N° 70, dice el señor secretario de Gobierno a este rectorado lo que inserto.*

*“S. E. el presidente de la república ha dispuesto que luego que el señor inspector de la escuela de literatura y filosofía desocupe la casa en que habita, anexa a aquel establecimiento la ponga usted a disposición del señor B. Lewy, presidente del Instituto de Ciencias Naturales, lo mismo que todo el edificio luego que esté desocupado.*

*Y lo transcribo a U. Para que por su parte de den las providencias convenientes a fin de dar cumplimiento a la anterior orden del P.E.*

*Dios guarde a U. José Antonio Amaya”<sup>39</sup>.*

37 AHUR, caja 35, folios 136-138.

38 AHUR, caja 35, folios 137-138.

39 AHUR, caja 35, folio 145.

El 30 de septiembre el rector del Rosario recibió otra comunicación en la que se le permitía vivir fuera del Colegio, puesto que era muy incómodo vivir en tal recinto por las refacciones que se estaban adelantando.

*“República de la Nueva Granada. Universidad del Primer Distrito.*

*Bogotá, 30 de setiembre de 1848.*

*Señor inspector del Colegio del Rosario.*

*En nota de fecha 22 del corriente n° 31, me dice el señor director general de instrucción pública lo que inserto.*

*A una comunicación dirigida a esta dirección general, por el señor inspector de la Escuela de Literatura y Filosofía, se ha resuelto en esta fecha lo siguiente:*

*El inspector de la escuela de literatura y filosofía puede habitar fuera del edificio del colegio en que actualmente se hacen refacciones. Se le encarga muy especialmente la mayor vigilancia para que no se altere la disciplina del establecimiento.*

*Y lo transcribo a U. Para su conocimiento y demás fines. Dios guarde a U. José Ignacio de Márquez”<sup>40</sup>.*

El 9 de octubre de 1848 don José Ignacio de Márquez le informó al inspector de la Universidad y rector del Colegio Mayor del Rosario que en virtud del decreto ejecutivo de 6 de junio de 1848 la biblioteca del Rosario “debe unirse a la de San Bartolomé, y así se verificará. Lo que digo en respuesta a su oficio de fecha 27 de septiembre próximo pasado”<sup>41</sup>, puesto que los alumnos rosaristas se hallaban estudiando en San Bartolomé y el Rosario se encontraba en obra bajo la dirección del profesor Lewy.

El 1° de abril de 1849 Colombia tenía un nuevo presidente, don José Hilario López, quien decretó el 30 de abril de tal año:

*“Artículo 1° la Escuela de Ciencias Naturales Físicas y Matemáticas; las clases de elementos de matemáticas y físicas de la escuela de filosofía, y las de química, botánica y zoología de la escuela de medicina formarán la sección del Instituto nacional establecido en Bogotá.*

*Artículo 2° el presidente del instituto es el director de esta sección. Su nombramiento lo hace el Poder Ejecutivo de entre los catedráticos de la sección y dura cuatro años en su destino.*

*Artículo 8° corresponde a la sección del instituto darse los reglamentos para el régimen interior y dirección de sus trabajos, los cuales se someterán a la aprobación de la dirección general de Instrucción Pública.*

*Artículo 10° los deberes atribuidos al director de la sección del instituto por los artículos 4, 5, y 6, del decreto ejecutivo del 1 de marzo último. Es por tanto de su cargo la superintendencia del Colegio del Rosario [...]*

*Artículo 11° El inspector del colegio del Rosario estará bajo la dependencia del rector de la universidad”<sup>42</sup>.*

### **Libertad de enseñanza y dependencia del Colegio Mayor del Rosario al Gobernador de la provincia**

Mediante ley de 15 de mayo de 1850, se decretó la libertad de enseñanza: “artículo 1° es libre en la república la enseñanza de todos los ramos de las ciencias, las letras y de las artes. [...] artículo 16° suprimense las universidades, los edificios bienes y rentas de que hoy disfrutan, se aplicará para el establecimiento de los colegios nacionales, exceptuando el Colegio del Rosario, cuyo edificio, bienes y rentas serán administrados como establecimiento provincial, según las reglas de la cámara de la provincia”<sup>43</sup>. Esto quería decir que el patrono del colegio sería el gobernador de la provincia de Bogotá.

El contrato del profesor Lewy fue rescindido por el gobierno nacional<sup>44</sup> y el gobernador de la provincia nombró como rector al doctor Rafael Rivas Mejía.

40 *Ibíd.*, caja 35, folio 143.

41 *Ibíd.*, caja 35, folio 130.

42 Decreto 30 de abril de de 1849, *por el cual se hacen algunas reformas en la sección del instituto nacional establecido en Bogotá*, en: ICFES, *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina.* volumen II, parte II, pp. 551-552.

43 Decreto 30 de abril de de 1849, *por el cual se hacen algunas reformas en la sección del instituto nacional establecido en Bogotá*, en: ICFES, *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina.* volumen II, parte II, pp. 551-552.

44 Decreto 30 de junio de 1853, *reformatorio del de 25 de agosto de 1850, que organizó los colegios nacionales*, en: ICFES, *Compilación de normas sobre la educación superior. La República Neogranadina*, volumen II, parte II, p. 593.

El 3 de noviembre de 1850 el catedrático de la Facultad de Medicina doctor Antonio Vargas Reyes le comunicó al nuevo rector que había recibido la orden del gobernador para entregar los enseres del Colegio del Rosario pues el profesor Lewy se hallaba ausente.

*“Señor Rafael Rivas.*

*Bogotá, 3 de noviembre de 1850.*

*Muy señor mío:*

*En nota fecha 31 del mes próximo pasado bajo en número 58 me dice el señor gobernador de la provincia entregue a usted inmediatamente el edificio y enseres del Colegio del Rosario por haber sido nombrado rector de dicho Colegio. En esta virtud, si usted tiene a bien concurrir el día de mañana a las once y media al expresado local lo pondré en posesión de las llaves y demás útiles del establecimiento”<sup>45</sup>.*

*El rector elegido anotó: “procédase al recibo del Colegio el día señalado citando al efecto al fiscal del Colegio y al señor vicerrector”<sup>46</sup>.*

El 7 de noviembre el señor Vicente Lombana le informó *“que según informes verbales del doctor Antonio Vargas Reyes antiguo inspector del Colegio del Rosario la entrega de aquel establecimiento al rector nombrado por la cámara de provincia se efectuó desde el día 5 de los corrientes”<sup>47</sup>. El doctor Rivas recibió el colegio en total “estado de ruina que se encuentra el edificio”<sup>48</sup>. Sin embargo, “respecto de la casa rectoral y piezas accesorias, la entrega no podrá verificarse sino cuando el Sr. Lewy, que según se indica se halla ausente devuelva las llaves y sea trasladado a otro local el laboratorio químico”<sup>49</sup>.*

Una vez posesionado del cargo el doctor Rivas solicitó de inmediato la restitución de los bienes que se encontraban en el Colegio de San Bartolomé, denominado Colegio Nacional, y el 30 de noviembre de 1850 el gobernador de la provincia, José María Mantilla, le informó que el señor secretario de estado del despacho de gobierno, en comunicación oficial de 28 del corriente, le decía lo siguiente:

*“Prevéngase al rector del Colegio Nacional de Bogotá que expida las órdenes más terminantes á fin de que, á la mayor brevedad posible, se haga completa y formal entrega de todos los bienes y rentas pertenecientes al Colegio del Rosario; advirtiéndole que el tesorero debe cortar la cuenta por lo que respecta a dichos bienes y rentas desde el día en que se haya puesto en ejecución la ordenanza de la cámara provincial dando reglas para su administración, conforme al artículo 15 de la ley de 15 de mayo último”<sup>50</sup>.*

Igualmente, el 9 de diciembre de 1850 se le ordenó al doctor Rivas Mejía que debía entregar el equipo de física para trasladarlo a San Bartolomé<sup>51</sup>.

El Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario reanudó su vida académica con los cursos habituales de literatura y filosofía, jurisprudencia, teología y ciencias eclesiásticas.

La suerte del profesor Lewy fue descrita en 1857 por Isaac F. Holton, profesor de química y de historia natural de Middlebury Collage, en sus crónicas de viaje por la Nueva Granada: *“el señor Lewy vino de París como profesor pero se volvió decepcionado; entre los granadinos hay muy poca afición para la investigación de hechos materiales y concretos”<sup>52</sup>.*

45 AHUR, caja 36, folio 36.

46 *Ibíd.*

47 *Ibíd.*, volumen 154, folio 113.

48 *Ibíd.*, volumen 131, folio 1.

49 *Ibíd.*, caja 36, folio 32.

50 *Ibíd.*, caja 36, folio 32.

51 *Ibíd.*, folio 35.

52 Isaac Holton, *La Nueva Granada, veinte meses en los Andes*. Bogotá, Banco de la República, 1981. p. 283.

# ANÁLISIS PRÓXIMO DE ARCILLAS PARA CERÁMICA

por

I. Bernal, H. Cabezas, C. Espitia, J. Mojica & J. Quintero\*

## Resumen

**Bernal, I., H. Cabezas, C. Espitia, J. Mojica & J. Quintero:** Análisis próximo de arcillas para cerámica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **27** (105): 569-578, 2003. ISSN 0370-3908.

Se desarrolló una metodología de trabajo para establecer el denominado “Análisis próximo” para calcular la composición mineralógica cuantitativa de minerales arcillosos simples e interstratificados y de los demás minerales presentes en las arcillas con base en los datos obtenidos en el análisis químico y en el de difracción de rayos X. Se relaciona el tipo de mineral arcilloso con su comportamiento en el proceso cerámico.

**Palabras clave:** arcillas, análisis próximo, minerales arcillosos, cerámica.

## Abstract

A methodology to establish the nominal next analysis was developed to calculate the quantitative composition of simple loamy minerals and interstratificates and of the other minerals present in the clays, based on the data obtained in the chemical analysis and in the analysis for diffraction of X rays.

**Key words:** Clay, next analysis, clay minerals, ceramic.

## 1. Introducción

El término análisis próximo o “aproximado” es un sistema de expresión de los resultados analíticos usado comúnmente en carbones y en alimentos, que permite relacionarlos con sus propiedades. Aquí se propone un sistema de cálculo que permite obtener una composición mineralógica aproximada cuantitativa.

Considerando las arcillas como un mineral natural complejo, constituido principalmente por una mezcla de sílico aluminatos cristalinos a los que denominamos minerales arcillosos y de otros silicatos y minerales de hierro, calcio, titanio, etc., acompañados frecuentemente por materia orgánica, su composición mineralógica es determinante en el comportamiento de los procesos a los que se destine.

\* Área Recursos del Subsuelo, INGEOMINAS, *Diagonal 53 # 34-53, Bogotá-Colombia*, [jquinter@ingemin.gov.co](mailto:jquinter@ingemin.gov.co)

Puesto que la mayor aplicación de las arcillas ha sido tradicionalmente para la producción de objetos cerámicos, es preocupación de los investigadores en este campo el poder relacionar los datos del análisis químico y mineralógico de la materia prima con su comportamiento cerámico.

Este sistema permite determinar la composición mineralógica cuantitativa aproximada de una materia prima, basado en el método clásico de cálculo que relaciona la composición química expresada en óxidos con los datos obtenidos por difracción de rayos X, cuando este equipo no permite cuantificarlos o no se cuenta con patrones apropiados para su validación.

## 2. Minerales arcillosos

Actualmente se conoce que los minerales arcillosos son numerosos y difieren entre sí por su forma, estructura, apilamiento de las capas y por la simetría de la red que forman entre sí. Estas redes estructurales no son perfectas, generalmente presentan huecos por falta de iones o por sustitución de unos iones por otros que distorsionan la estructura y generan diferencias entre familias.

Es bueno tener presente que en los depósitos naturales siempre coexisten varias clases de minerales arcillosos simples e interstratificados acompañados de óxidos de hierro o de titanio, piritas, yeso, calcita, feldspatos y otros minerales; por lo tanto, cuando se afronta el estudio de un depósito arcilloso éste no se debe limitar a los minerales que están en mayor proporción, porque, aunque en general las propiedades de los materiales se ven influidas notablemente por los constituyentes mayoritarios, los menores pueden representar un papel importante.

De acuerdo con su distribución estructural los minerales arcillosos se pueden dividir en las siguientes familias o grupos:

### 2.1 Filosilicatos bilaminares

Los filosilicatos bilaminares están formados por dos capas: una tetraédrica y otra octaédrica, por eso reciben los nombres de bilaminares, 1:1 ó T:O (Figura 1). Generalmente los tetraedros son de silicio, rodeados por oxígeno, aun cuando en ocasiones el silicio puede estar sustituido por iones de aluminio o de hierro. Los octaedros pueden tener como ión predominante el aluminio o el magnesio y están rodeados de oxígeno o de hidróxilos (OH). Cuando el ión dominante es el aluminio, la lámina que se forma se denomina dioctaédrica, y cuando el ión dominante es el magnesio, se dice que la capa es trioctaédrica. Los dife-

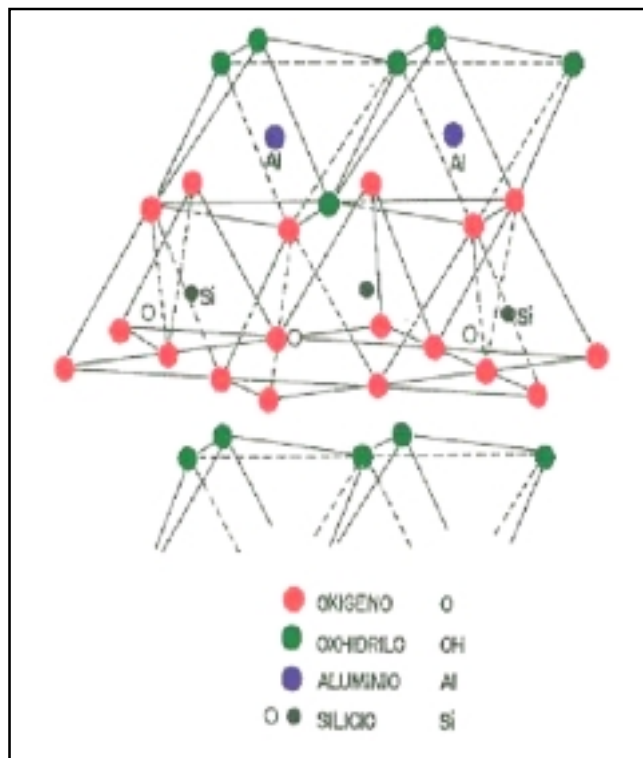


Figura 1. Estructura elemental de la Caolinita.

rentes iones están apilados en tal forma que se mantiene la electronegatividad entre ellos.

Las capas tetraédrica y octaédrica constituyen una lámina. La separación entre láminas es del orden de 7 unidades Amstrong (Å). En esta clasificación se distinguen dos familias de minerales: la de la Kandita o Caolinita (dioctaédricos) y la de las serpentinatas (trioctaédrico).

### Familia de la Kandita

Según Besoain (1985), son posiblemente los minerales arcillosos más extendidos y frecuentes en el mundo y comprenden la Caolinita, la Haloisita, la Nacrita y la Dickita.

La composición química de la Caolinita puede expresarse como  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Los distintos minerales se distinguen por los diferentes apilamientos de las capas octaédricas y tetraédricas, la simetría de la red cristalina y la mayor o menor inclusión de moléculas de agua; al microscopio electrónico presentan formas laminares planas, ligeramente curvas o tubulares enrolladas: son dioctaédricas.



Una arcilla que presente abundancia de caolinita mayor al 20% tiende a aumentar su resistencia a la cocción, es decir, es refractaria, ofrece baja plasticidad, se seca fácilmente y no tiene buena resistencia mecánica.

**Familia de las serpentinas**

Incluye los minerales trioctaédricos denominados Crisotilo, Lizardita, Antigorita y Berthierita. La composición química de una Serpentina puede expresarse como  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

**2.2 Filosilicatos trilaminares**

Cada lámina está formada por dos capas de tetraedros de sílice que encierran una capa de octaedros de alúmina o de magnesia, por ésta razón se les denomina “trilaminares”, 2:1 ó T:0:T. Las láminas no son eléctricamente neutras debido a que se presentan sustituciones de unos iones por otros de diferente carga. La separación entre láminas es del orden de 10Å.

Comprenden tres familias: Esmectitas, Micas y minerales fibrosos o Atapulgita.

**Familia de las Esmectitas o minerales expandibles**

Esta familia incluye especies dioctaédricas como la Montmorillonita (Figura 2), la Nontronita y la Beidelita

y trioctaédricas como la Saponita, la Sauconita y la Hectorita. También se les da el nombre de Bentonitas. Su composición química varía por la capacidad de sustitución elemental y de absorción de agua; una fórmula general para una Esmectita es:  $Al_{2-x}Mg_xSi_4O_{10}(OH)_2$ .

En general, las arcillas expandibles, presentan estructuras que permiten que el agua penetre entre las láminas tetraédricas y octaédricas a través de enlaces de hidrógeno, lo cual determina una expansión de la celda cristalográfica y explica su alto índice de plasticidad.

En el proceso cerámico la presencia de minerales de este tipo aún cuando aumentan la plasticidad de la pasta, es inconveniente porque en el secado los objetos moldeados pierden volumen y se deforman, por eso su uso debe ser cuidadosamente controlado.

**Familia de las micas**

Esta familia sigue el mismo esquema de cristalización de la anterior pero sus minerales no son expandibles; a este grupo pertenecen las Vermiculitas, el Talco, la Pirofilita, la Illita, la Moscovita (Figura 3).

En la celda cristalográfica de las micas algunos silicios pueden estar reemplazados por aluminio y la diferencia de carga está balanceada por iones Potasio. La

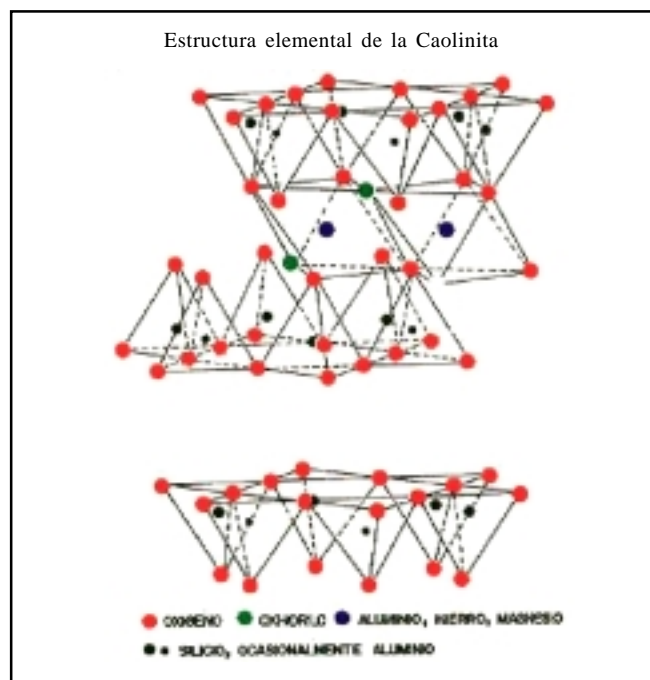


Figura 2. Estructura elemental de la Montmorillonita.

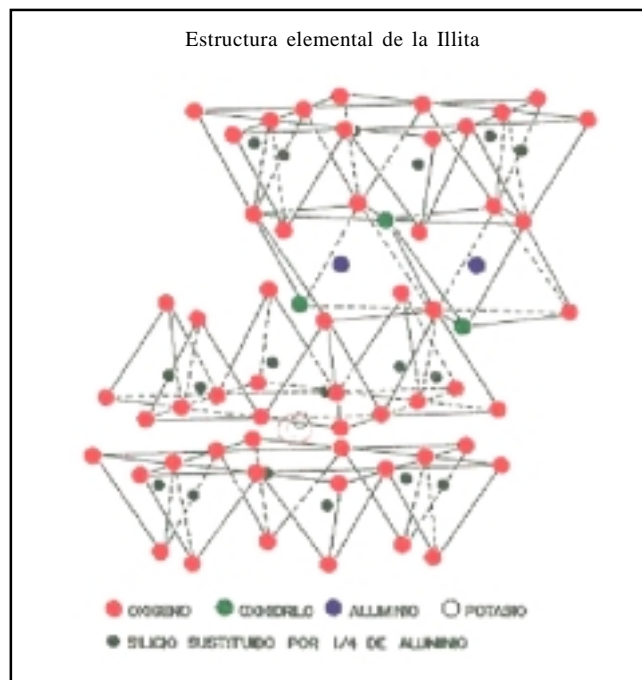


Figura 3. Estructura elemental de la Illita.

composición química de la Illita puede expresarse como  $KAl_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ .

El índice de plasticidad de los minerales de esta familia es menor que el de las Esmectitas, pero su plasticidad aumenta a medida que disminuye el tamaño del grano; la presencia de potasio en la estructura de la Illita le comunica cierto poder fundente en el proceso cerámico.

#### *Familia de las Atapulgitas, minerales fibrosos*

Pertenecen a esta familia la Sepiolita y la Paligorskita que están formadas por láminas discontinuas tipo mica. A diferencia de las ya nombradas que se presentan en láminas, estas se presentan como fibras. En su estructura se encuentra una capa basal continua de tetraedros y capas discontinuas periódicamente de octaedros. Su aplicación en el proceso cerámico es aún desconocido.

### 2.3 Cloritas

Son un grupo de minerales cuyas láminas están compuestas por dos capas tetraédricas y dos octaédricas por lo que se les denomina 2:1:1 ó T:O:T:O. Las láminas no son eléctricamente neutras debido a sustituciones de unos cationes por

otros de distinta carga pero de tamaño semejante. La neutralidad se logra por grupos hidróxidos y por cationes interlaminares como sodio, potasio, calcio o magnesio. La separación entre láminas es del orden de  $14\text{Å}$  o más.

La fórmula general de las cloritas es  $R_5^{++} R^{+++} Si_3 R^{+++} O_{10} (OH)_8$  en la cual  $R^{++}$  puede ser Fe ó Mg y  $R^{+++}$  puede ser Al ó Fe.

En la Tabla 1 se presenta una clasificación de los minerales arcillosos más comunes.

En la literatura se encuentran otras clasificaciones que incluyen numerosos minerales basados en otras propiedades.

### 3. Otros minerales

Otros minerales presentes en las arcillas son:

#### 3.1 Feldespatos

Son aluminosilicatos constituidos por redes tridimensionales de tetraedros de Sílice en los cuales parte del Silicio se encuentra sustituido por Aluminio, lo que origina una deficiencia de carga que se ve compensada con

**Tabla 1.** Clasificación de los minerales arcillosos más comunes.

TIPO	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS		
T:O (Bilaminares)	1:1	KANDITAS  MICAS	Caolinita Nacrita Dickita Haloisita Illita Moscovita Paragonita Pirofilita	SERPENTINAS  MICAS	Antigorita Crisolito Lizardita Berthierita Flogopita Biotita Lepidolita Talco
T:O:T (Trilaminares)	2:1	ESMECTITAS (Expandibles)  ATAPULGITAS (Fibroso)	Montmorillonita Beidelita Nontronita Vermiculita  Paligorskita	ESMECTITAS  ATAPULGITAS	Saponita Hectorita Sauconita  Sepiolita
T:O:T:O 2:1:1		CLORITAS	Sudoitas	CLORITAS	Clinocloros Procloritas

Fuente: Tomada y modificada de García R. E. & Suárez B. M. (2002).

iones Potasio, Sodio y Calcio y ocasionalmente con Bario o Estroncio.

Químicamente los Feldespatos se dividen en tres grupos así:

Potásicos como la Ortoclasa y la Microclina; la composición de la Ortoclasa es:  $K_2OAl_2O_36SiO_2$ .

Calcosódicos como la Albita y la Anortita; la composición de la Albita es:  $NaAlSi_3O_8$

Bóricos como la Hialofana y Celsiana la composición de la Celsiana es  $BaOAl_2O_32SiO_2$

Estos minerales presentan alguna plasticidad pero muy baja, por eso se pueden considerar antiplásticos o desgrasantes, además que funden o sinterizan a las temperaturas comunes en el proceso cerámico se usan principalmente como fundentes.

### 3.2 Sílice (SiO<sub>2</sub>)

La Sílice en forma de Cuarzo constituye el mineral más abundante en la naturaleza, de cristalización perfecta y de gran pureza. Es el principal constituyente de las arenas. Los cristales de Cuarzo cambian su estructura cristalina a 573°C produciendo cambios de volumen lo cual afecta el producto cerámico (Figura 4). Por eso debe programarse una menor velocidad de calentamiento entre 500 y 600°C cuando se efectúa el proceso cerámico para que la pasta que los contiene no sufra rupturas por esa situación.

Las partículas de sílice no presentan plasticidad y por eso son usadas comúnmente como antiplástico.

Inosilicatos. La sílice también se presenta en forma de cadenas simples o dobles formadas por tetraedros que se unen lateralmente y se conocen como inosilicatos. Estos se encuentran predominantemente en rocas ígneas; los principales son los Piroxenos y los Anfíboles.

Los Piroxenos se presentan en cadenas simples, de extensión infinita con composición química general  $R^{+2}(SiO_3)_n$ , siendo  $R^{+2}$  un catión alcalino, o alcalino térreo y en ocasiones  $Fe^{+3}$  o  $Al^{+3}$ . Pueden cristalizar en sistemas monoclinicos o rómbicos.

Ejemplos:

Monoclinico {  $Mg(SiO_3)_2$  Clinoenstatita  
 $CaMg(SiO_3)_2$  Diopsido  
 $LiAl(SiO_3)_2$  Espodumeno

Rómbico  $Mg_2(SiO_3)_2$  Enstatita

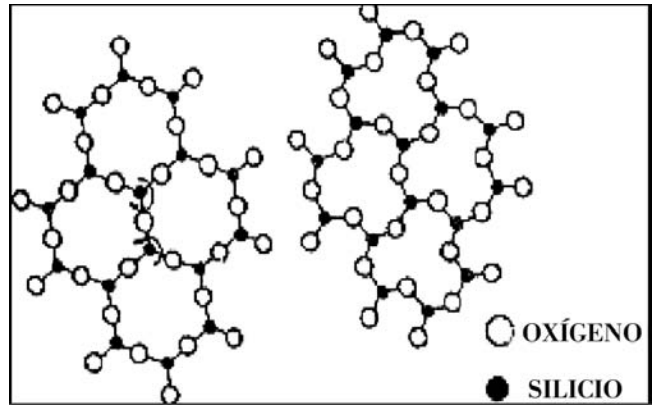


Figura 4. Arreglos cristalinos del cuarzo.

Los anfíboles presentan estructura con cadenas dobles que pueden unirse para formar anillos. Pueden cristalizar en sistemas monoclinicos y rómbicos.

Ejemplos:

Monoclinicos { Actinolita  $(SiO_3)_2Ca_2(Mg,Fe)Si_8O_{22}$   
 Hornblenda  $(OH)_2Ca_2$   
 $Na(mg,Fe,Al)Al_2Si_6O_{22}$

Rómbico Antofilita  $(OH)_2(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}$

### 3.3 Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>)

Este mineral ejerce una acción fundente muy enérgica en las pastas cerámicas rebajando la temperatura de cocción. Por acción del calor, se descompone en óxido de calcio y desprende gas carbónico, por eso se usa también cuando se desea obtener cerámica porosa. Si aparece en la arcilla como granos grandes, la cal formada durante la cocción tiende a carbonatarse e hidratarse al salir del horno por acción del medio ambiente, produciendo grietas en el interior y erosión en la superficie de los productos como resultado del aumento de volumen.

En las pastas crudas actúa como antiplástico, aunque no reduce el encogimiento en el secado tanto como la sílice.

### 3.4 Minerales de hierro

Los minerales de hierro que se encuentran comúnmente en las arcillas son: Hematita, Magnetita, Goethita y

Pirita. Las tres primeras son las principales responsables del color de las arcillas y de sus productos.

#### **Hematita $\alpha$ ( $Fe_2O_3$ )**

Se presenta en cristales laminares, romboédricos, su color varía entre el negro, rojo intenso y gris acero con brillo semimetálico. No es magnético y es químicamente estable en ambiente oxidante.

#### **Magnetita ( $Fe_3O_4$ )**

Es una piedra magnética natural que se encuentra relativamente pura en forma de cristales cúbicos de color negro-amarillo. Sus propiedades magnéticas desaparecen por calentamiento y si no hay transformación, reaparecen por enfriamiento. En ambiente oxidante se convierte en hematita y pierde sus características magnéticas.

#### **Goethita $HFeO_2$**

Se presenta en masas continuas compactas o en masas pulverulentas de color pardo oscuro a negro acompañado de la limonita que es su forma hidratada.

#### **Pirita $FeS_2$**

Se presenta en forma de pequeños cristales o en granos redondeados de color amarillo latón y brillo metálico intenso. También existe otra forma de sulfuro de hierro llamado marcasita.

La pirita y la marcasita cuando se calientan a bajas temperaturas y se remueve parte de su azufre adquieren propiedades magnéticas. La marcasita se descompone más rápidamente que la pirita y por intemperismo se convierte en sulfatos.

En presencia de una atmósfera oxidante estos sulfuros se descomponen aún a bajas temperaturas, y si no se remueven los gases de combustión, pueden aparecer posteriormente como sulfatos alcalinos que difícilmente se descomponen.

Los sulfatos pueden presentarse en la superficie de los objetos cocidos en forma de eflorescencia. En presencia de una atmósfera reductora se puede formar sulfuro de hidrógeno y aún condensarse como azufre libre en las partes frías del horno.

### **3.5 Ilmenita $FeOTiO_2$**

Este mineral se presenta como cristales tabulares romboédricos de color negro a gris con brillo semimetálico. En ambiente reductor y en caliente se vuelve magnético. Se encuentra generalmente asociado con la magnetita.

### **3.6 Yeso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$**

Este mineral se presenta en cristales monoclinicos frecuentemente transparentes e incoloros aun cuando si tiene impurezas puede presentar coloraciones. Tiene brillo vitreo con reflejo nacarado. Es muy poco soluble en agua. Su forma anhidra es la anhidrita  $CaSO_4$  que se presenta en cristales rómbicos.

Esta impureza de la arcilla es la que con mayor frecuencia forma depósitos salinos en los ladrillos crudos, indeseables por la facilidad con que se transforman en manchas superficiales o permanecen dentro de este hasta que por acción de la humedad salen a la superficie formando las eflorescencias.

### **3.7 Minerales en estado coloidal**

Prácticamente todos los minerales nombrados hasta ahora se presentan en estado cristalino. Sin embargo, en las arcillas y en los suelos, existe un grupo abundante de minerales en estado coloidal a amorfo. Los principales son el Alofano y los óxidos hidratados de hierro y de aluminio.

#### **Alofano**

Es un producto de alteración de cenizas volcánicas con liberación de cationes como  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  que proporciona al silicio y aluminio presentes propiedades coloidales. Cuando las cenizas se alteran dan origen a los materiales alofánicos.

#### **Óxidos hidratados de hierro y aluminio**

Son abundantes en suelos tropicales. Los más importantes son la Limonita  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$  y la Gipsita  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ .

Las concentraciones naturales de hidróxidos de hierro son por lo común mezclas de Goethita con Limonita y sustancias arcillosas que presentan color pardo.

### **3.8 Minerales estratificados**

En los suelos y en las arcillas pueden presentarse frecuentemente minerales de capas mixtas con partículas sin orientación geométrica preferida o con presencia de varios silicatos laminares semejantes. No se debe confundir lo que es un interestratificado con una mezcla de minerales (**Besoain**, 1985).

Las estructuras de estos minerales pueden ser de dos clases: regulares y al azar; son regulares cuando hay una repetición de láminas a lo largo de un eje cristalográfico y al azar cuando no la hay. Estas estructuras se presentan principalmente entre minerales trilaminares, como consecuencia de la similitud que presentan los filosilicatos entre sí.

## 4. Metodología de cálculo

### 4.1 Composición química

De los resultados obtenidos, expresados como óxidos, se calculan en cada caso los porcentajes de las especies minerales atribuibles a cada elemento, empezando por los limitantes, aplicando el método tradicional de cálculo a partir del peso molecular gramo de cada mineral y de sus componentes.

### 4.2 Composición mineralógica

Se asumen las siguientes fórmulas teóricas como representativas de cada mineral:

Caolinita:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . P.M. = 258 g.

Illita:  $\text{KAl}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . P.M. = 399 g.

Clorita:  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 33,52\%$  ;  $\text{SiO}_2 = 39,85\%$ ;

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,46\%$ ;  $\text{MgO} = 4,58\%$ ;  $\text{CaO} = 0,15\%$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 1,61\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 1,61\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} = 13,8\%$

Esmectita (Montmorillonita)  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  P.M. = 360 g.

Feldespatos de sodio (Albita)  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  P.M. = 524 g.

Feldespatos de potasio (Ortoclasa)

$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  P.M. = 556.

Anatasa ( $\text{TiO}_2$ ) P.M. = 79,9 g.

Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) P.M. = 159,7 g.

Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) P.M. = 60 g.

Óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) P.M. = 56 g.

Cuando se presentan dos minerales estratificados se asume que la proporción es 1:1; esta se adiciona a cada mineral arcilloso que le corresponda. Si por ejemplo la muestra contiene 2,7% de interestratificado de muestra Illita/esmectita, entonces le corresponde 1,35 a Illita, la cual se le suma a la Illita de la fase principal, y el 1,35% restante es para la Esmectita.

Asumiendo que todo el sodio (experimental) esta como feldespato, se calcula el contenido de este expresándolo

como Albita. El contenido de potasio se expresa como Illita y clorita, y el excedente de potasio como ortoclasa.

El aluminio restante (aluminio experimental – aluminio feldespático) se distribuye proporcionalmente de acuerdo con el porcentaje de los minerales arcillosos.

El cuarzo libre se calcula por la diferencia de la sílice experimental y la sílice que le corresponde a cada mineral (Albita, Esmectita, Caolinita, Clorita y Illita).

Las pérdidas por calcinación (PXC) se calculan por la diferencia de las pérdidas por calcinación experimental y el agua de constitución de los minerales arcillosos (Albita, Esmectita, Caolin, Clorita, Illita, Haloisita y Dickita); éstas pérdidas pueden ser debidas a materia orgánica y sulfuros.

El  $\text{TiO}_2$  expresado como rutilo se calcula por la diferencia del titanio experimental y el titanio clorítico.

El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  expresado como Hematita se calcula por la diferencia del hierro experimental y el hierro clorítico.

Ejemplo:

Se tomó para el cálculo una muestra de la Sabana de Bogotá, de la cual se presenta el análisis químico (Tabla 2), la composición mineralógica de la muestra (Tabla 3) y la composición mineralógica de las arcillas (análisis orientado, Tabla 4).

Los pasos a seguir son:

A) Cálculos para el feldespato de sodio (Albita).  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ .

En la Tabla 2, se observa que el porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O}$  es 0,55, el cual se toma como limitante. Por consiguiente el porcentaje de aluminio presente en el feldespato de acuerdo con la relación estequiométrica es:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ Feldespático} = \frac{0,55\% \text{ Na}_2\text{O} \times 102 \text{ g Al}_2\text{O}_3}{62 \text{ g Na}_2\text{O}} =$$

$$= 0,90\% \text{ de Al}_2\text{O}_3 \text{ esta presente en la Albita}$$

- El silicio presente en el feldespato es:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{0,55\% \text{ Na}_2\text{O} \times 360 \text{ g SiO}_2}{62 \text{ g Na}_2\text{O}} =$$

Tabla 2. Análisis químico.

Muestra	% SiO <sub>2</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% CaO	% MgO	% Na <sub>2</sub> O	% K <sub>2</sub> O	% TiO <sub>2</sub>	% Humedad	% Pérdidas x Calc.
Sabana	72,19	5,01	12,23	0,09	0,48	0,55	0,85	0,83	1,33	3,76

**Tabla 3.** Composición mineralógica.

Referencia	Minerales de arcilla					Silicatos			Sulfatos	Óxidos		Otros
	Esmectita	Caolinita	Halloysita	Illita	Clorita	Cuarzo	Feldespatos	Piroxenos	Yeso	Hematita	Anatasa	Materia orgánica
Sabana	3-10	20-30	0	3-10	< 3	40-50	1	0	< 1	< 5	< 3	0

**Tabla 4.** Composición mineralógica de las arcillas (análisis orientado).

Referencia	Arcillas simples				Interestratificados		
	Esmectita	Caolinita	Illita	Clorita	Illita/Esmectita	Clorita/Esmectita	Illita/Clorita
%	16,40	59,10	11,80	6,40	2,70	0,00	3,60

3,19% de ocurrencia de silicio en la Albita

Por tanto los óxidos perteneciente a la Albita en la muestra son:

$$\text{Albita} = 0,55\% \text{ de } \text{Na}_2\text{O} + 0,90\% \text{ Al}_2\text{O}_3 + 3,19\% \text{ SiO}_2 = 4,64\%$$

B) En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de minerales arcillosos e interestratificados de la muestra. La composición total es:

$$\text{Esmectita: } 16,40\% + 2,7/2 \text{ (interestratificado)} = 17,75\%$$

$$\text{Caolinita: } 59,10\%$$

$$\text{Illita: } 11,80\% + 2,7/2 \text{ (interestratificado)} + 3,60/2 \text{ (interestratificado)} = 14,95\%$$

$$\text{Clorita: } 6,40\% + 3,60/2 \text{ (interestratificado)} = 8,2\%$$

C) Porcentaje de aluminio presente en minerales arcillosos

Tomando como limitante el aluminio obtenido experimentalmente (Tabla 2) menos el aluminio combinado en la albita se obtiene el aluminio que le corresponde a los minerales arcillosos.

$$\% \text{ de aluminio (arcilloso)} = 12,33\% \text{ aluminio (experimental)} - 0,90\% \text{ aluminio feldespático.}$$

$$\text{Aluminio arcilloso} = 11,33\%$$

D) Distribución del aluminio en los minerales arcillosos.

Con base en la composición de minerales arcillosos y el porcentaje de aluminio arcilloso, se calcula el aluminio que le corresponde a cada mineral: 11,33% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (está distribuido en las fracciones arcillosas de la muestra). Por consiguiente la distribución de aluminio en los minerales arcillosos es la siguiente:

$$\text{Esmectita: } 2,01\%$$

$$\text{Caolinita: } 6,70\%$$

$$\text{Illita: } 1,70\%$$

$$\text{Clorita: } 0,92\%$$

E) porcentaje de minerales arcilloso.

Para esto se toma como base la ocurrencia de aluminio para cada mineral arcilloso.

$$\text{E-1) Esmectita. } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$$

El silicio presente en la Esmectita de acuerdo con la relación estequiométrica es:

$$\text{SiO}_2 = \frac{2,01\% \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot X \cdot 240\text{g SiO}_2}{102 \text{ g Al}_2\text{O}_3} =$$

$$4,73\% \text{ de SiO}_2 \text{ se encuentra en la Esmectita}$$

- El agua presente en la Esmectita es:

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{2,01\% \text{ de Al}_2\text{O}_3 \cdot X \cdot 18 \text{ g de H}_2\text{O}}{102 \text{ g de Al}_2\text{O}_3} = 0,35 \text{ g de agua.}$$

El porcentaje de Esmectita presente en la muestra es el siguiente:

$$\text{Esmectita} = 2,01\% \text{ de Al}_2\text{O}_3 + 4,73\% \text{ de SiO}_2 + 0,35\% \text{ de agua} = 7,09\%$$

F) Realizando el mismo procedimiento que el paso (e), el porcentaje obtenido para los otros minerales arcillosos es:

$$\text{- Caolinita: } \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} .$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 6,70\%$$

$$\text{SiO}_2 = 15,75\%$$

$$H_2O = 2,35\%$$

El porcentaje de caolinita es = 24,81%

- Illita:  $KAl_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$

$$Al_2O_3 = 1,70\%$$

$$K = 0,78\%$$

$$SiO_2 = 4,00\%$$

$$H_2O = 0,31\%$$

El porcentaje de Illita es = 6,66%

Clorita:  $Al_2O_3 = 33,52\%$ ;  $SiO_2 = 39,85\%$ ;  $Fe_2O_3 = 4,46\%$ ;  
 $MgO = 4,58\%$ ;  $CaO = 0,15\%$ ;

$$K_2O = 1,61\%; TiO_2 = 1,61\%; H_2O = 13,8\%.$$

El porcentaje de Clorita presente es:

$$Al_2O_3 = 0,92\%$$

$$SiO_2 = 1,09\%$$

$$Fe_2O_3 = 0,12\%$$

$$MgO = 0,13\%$$

$$CaO = 0,004\%$$

$$K_2O = 0,04\%$$

$$TiO_2 = 0,03\%$$

$$H_2O = 0,38\%$$

Clorita presente es de 2,71

G) Cuarzo libre: =

$\% SiO_2$  (experimental) - [ $SiO_2$  feldespático  $SiO_2$  Esmectítico +  $SiO_2$  Caolínítico +  $SiO_2$  Illítico +  $SiO_2$  Clorítico]

$$\text{Cuarzo libre:} = 72,19 - (4,73 + 15,75 + 4,00 + 1,09)$$

$$= 46,62\%.$$

La muestra contiene 46,62% de cuarzo libre

H) Pérdida por calcinación ( PXC)

$PXC = \% \text{ pérdidas } 0^\circ C \text{ a } 1000^\circ C \text{ (experimental)} - [H_2O \text{ esmectítica} + \% H_2O \text{ caolínítica} + H_2O \text{ Illítica} + H_2O \text{ clorítica}]$

$PXC = 5,09 - (0,35 + 2,53 + 0,31 + 0,38) = 1,7\%$ ; pueden ser debido a azufre y materia orgánica

I) Hematita ( $Fe_2O_3$ ). La hematita presente en la muestra es:

Hematita =  $\% \text{ Hierro (Experimental)} - \% \text{ Hierro Clorítico}$

$$\text{Hematita} = 5,01 - 0,12 = 4,89$$

La muestra contiene 4,89% de Hematita

J) Rutilo. El Rutilo presente en la muestra es:

$TiO_2 = \% \text{ Titanio (experimental)} - \% \text{ Titanio clorítico.}$   
 $= 0,83 - 0,03 = 0,80$

La muestra contiene = 0,80% de Rutilo

K) En resumen la concentración de minerales que contiene la muestra es como sigue:

Albita =	4,65%
Esmectita =	7,09%
Caolinita =	24,81%
Illita =	6,66%
Clorita =	2,71%
Cuarzo libre =	46,62%
Hematita =	4,89%
Rutilo =	0,80%
PXC =	1,7%
Óxido de calcio =	0,004%
Óxido de magnesio =	0,35%

## 5. Conclusiones

El sistema de cálculo propuesto basado en los datos del análisis químico y en el análisis por difracción de rayos X de las arcillas, nos permite determinar la composición cuantitativa de los minerales arcillosos y de los demás minerales presentes.

Los resultados mineralógicos calculados se encuentran dentro de los rangos de la composición mineralógica de la muestra, determinada por difracción de rayos X.

Utilizando el cálculo propuesto se puede llegar a visualizar con mayor precisión la distribución de todos los componentes de las arcillas.

## 6. Recomendación

Este cálculo se puede sistematizar de tal forma que se convierta en una herramienta valiosa en los laboratorios de

arcillas. Consideramos que el poder conocer el contenido mineralógico de una arcilla con una mayor precisión, nos permitirá estudiar la incidencia de la composición en su comportamiento tecnológico.

## 7. Bibliografía

**Besoain, E.** 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. San José. Costa Rica.

**INGEOMINAS**, 2000. Subdirección de Ensayos y Servicios Tecnológicos. Manual de laboratorio de ingeniería de minerales, LIM, 026. Bogotá.

**Thorez, J.** 1995. Determination of clay minerals by X-Ray Diffraction and applications in Clay Geology. Université de Liege. Belgica.

**García, E.** 2003. [www.uclm.es/user/higueras/yym/arcillas/htm](http://www.uclm.es/user/higueras/yym/arcillas/htm)



# COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE *IN VITRO* DE LOS METABOLITOS SECUNDARIOS VOLÁTILES DE PLANTAS DE LA FAMILIA VERBENACEAE

por

Elena E. Stashenko, Beatriz E. Jaramillo & Jairo R. Martínez\*

## Resumen

**Stashenko, E.E., Jaramillo, B.E. & J. R. Martínez:** Comparación de la composición química y de la actividad antioxidante *in vitro* de los metabolitos secundarios volátiles de plantas de la familia Verbenaceae. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 579-597, 2003. ISSN 0370-3908.

En el trabajo se estudiaron metabolitos secundarios volátiles, obtenidos por diferentes técnicas de extracción, de tres plantas de la familia Verbenaceae, cultivadas en la región Nororiental de Colombia. *Lippia alba* fue un quimiotipo nuevo, no descrito previamente en la literatura; contiene la carvona (40-57%) como el componente mayoritario en los aceites, obtenidos por hidrodestilación (HD) e hidrodestilación asistida por microondas (MWHD) y en los extractos, aislados por destilación – extracción simultánea (SDE) y por extracción con fluido supercrítico (SFE), seguido del limoneno (24-37%), el biciclosquifelandreno (2-22%), la piperitenona (1-2%), la piperitona (0.8-1.2%) y el  $\beta$ -burboneno (0.6-1.5%). El compuesto principal en las fracciones volátiles, obtenidas por métodos *headspace* estático (S-HS), dinámico de purga y trampa (P & T) o por microextracción en fase sólida en modo *headspace* (HS-SPME) fue el limoneno (27-77%), seguido de la carvona (14-30%), el biciclosquifelandreno (1-33%) y el  $\beta$ -burboneno (0.5-6.5%). Los componentes mayoritarios en los aceites esenciales (HD, MWHD) y en los extractos (SDE, SFE) de la *Aloysia triphylla*, fueron el neral (19-22%) y el geranial (33-38%), seguidos del nerol (2-5%) y el geraniol (2-6%), los sesquiterpenoides *ar*-curcumeno (3-4%), biciclosquifelandreno (2-3%), espatulenol (2-4%), nerolidol (*ca.* 2%),  $\beta$ -burboneno (1-2%),  $\beta$ -cariofileno (3-5%) y su óxido (1-1.5%). El aceite esencial de *Lantana camara* fue de tipo *sesquiterpenoide*; más del 60% de la mezcla lo representan hidrocarburos sesquiterpénicos,  $C_{15}H_{24}$ , y *ca.* 30% sus análogos oxigenados. El *trans*- $\beta$ -cariofileno (14-15%) y su óxido (4-9%), el biciclosquifelandreno (16-18%), el  $\alpha$ -zingibereno (5-6%), el *E,E*- $\alpha$ -farneseno (3-4%) y el  $\gamma$ -bisaboleno (3-4%) fueron los sesquiterpenos mayoritarios aislados de *L. camara*. La fracción de monoterpenos,  $C_{10}H_{16}$ , en *L. camara* no alcanzó un 10%; entre éstos, el  $\beta$ -pineno (0.2-3%) y el  $\beta$ -mirceno (2-4%) fueron hidrocarburos mayoritarios. En la *L. alba* predominaron monoterpenos (>30%)

\* Laboratorio de Cromatografía, Centro de Investigación en Biomoléculas, CIBIMOL, Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga, Colombia, Tel.: +57-7-6456737, Fax: +57-7-6358210. elena@tucan.uis.edu.co

y monoterpenos oxigenados (ca. 55%); para la *A. triphylla*, la familia de compuestos mayoritarios fue la de monoterpenos oxigenados (>70%), de los cuales, ca. 60% correspondieron al citral; mientras que la *L. camara* fue pobre en monoterpenos y sus análogos oxigenados; la mayoría de sus metabolitos secundarios fueron hidrocarburos sesquiterpénicos (ca. 60%) y sus derivados oxigenados (ca. 30%). Los aceites esenciales de las tres plantas de la familia Verbenaceae mostraron un efecto protector antioxidante *in vitro*, medido en un sistema lipídico modelo (emulsión del ácido linoleico), a la misma concentración, e.g. 10 g/L, igual o mayor que la vitamina E y el BHA, siendo el aceite de *L. camara* el más activo de todos, seguido del aceite de *L. alba*.

**Palabras clave:** Aceite esencial, extracción, Verbenaceae, *Lippia alba*, *Aloysia triphylla*, *Lantana camara*, actividad antioxidante.

### Abstract

This work reports on the study of secondary metabolites obtained by means of different extraction techniques from three Verbenaceae plants, grown in Colombia's northeast. *Lippia alba* was a new chemotype not previously described in the literature. It contains carvone (40-57%) as the main component of the oils, obtained by hydrodistillation (HD) and microwave-assisted hydrodistillation (MWHD), and of the extracts isolated by simultaneous distillation-extraction (SDE), and supercritical fluid extraction (SFE). Other main components were limonene (24-37%), bicyclosesquiphellandrene (2-22%), piperitenone (1-2%), piperitone (0.8-1.2%) and  $\beta$ -bourbonene (0.6-1.5%). Volatile fractions obtained by static (S-HS), dynamic (purge and trap, P & T) headspace methods, or headspace-solid phase microextraction (HS-SPME), contained limonene (27-77%) as the most abundant component, followed by carvone (14-30%), bicyclosesquiphellandrene (1-33%), and  $\beta$ -bourbonene (0.5-6.5%). The main components found in the essential oils (HD, MWHD) and extracts (SDE, SFE) of *Aloysia triphylla*, were neral (19-22%) and geranial (33-38%), followed by nerol (2-5%) and geraniol (2-6%), the sesquiterpenoids *ar*-curcumene (3-4%), bicyclosesquiphellandrene (2-3%), spathulenol (2-4%), nerolidol (ca. 2%),  $\beta$ -bourbonene (1-2%), *trans*- $\beta$ -caryophyllene (3-5%) and its oxide (1-1.5%). The *Lantana camara* essential oil was of the *sesquiterpenoid* type; over 60% of its composition was represented by sesquiterpene hydrocarbons, C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>, and ca. 30% by their oxygenated derivatives. *trans*- $\beta$ -Caryophyllene (14-15%) and its oxide (4-9%), bicyclosesquiphellandrene (16-18%),  $\alpha$ -zingiberene (5-6%), *E,E*- $\alpha$ -farnesene (3-4%) and  $\gamma$ -bisabolene (3-4%) were the main sesquiterpenes isolated from *L. camara*. The monoterpene fraction, C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>, in *L. camara* did not reach 10%;  $\beta$ -pinene (0.2-3%) and  $\beta$ -myrcene (2-4%) were the main monoterpene hydrocarbons. While in *L. alba* monoterpenes (>30%) and oxygenated monoterpenes (ca. 55%) were dominant, in *A. triphylla*, oxygenated monoterpenes (>70%) prevailed, ca. 60% was represented by citral. On the other hand, *L. camara* was poor in monoterpenes and their oxygenated derivatives; most of its secondary metabolites were sesquiterpene hydrocarbons (ca. 60%) and their oxygenated derivatives (ca. 30%). The essential oils of the three Verbenaceae plants studied exhibited an *in vitro* antioxidant effect, which was similar or higher than those of vitamin E or BHA, when measured in a model lipid system (linoleic acid emulsion) at the same concentration, e.g. 10 g/L. *L. camara* oil was the most active, followed by *L. alba* oil.

**Key words:** Essential oil, extraction, Verbenaceae; *Lippia alba*, *Aloysia triphylla*, *Lantana camara*, antioxidant activity.

**Abreviaturas:** BHA – *butyatedl hydroxyanisol* [2-(ter-butyl)-4-metoxifenol]; BHT – *butylated hydroxytoluene* [2,6-di(ter-butyl)-p-cresol]; DVB – divinylbenzene (divinilbenceno); ECD – *electron capture detector* (detector de captura de electrones); EI – *electron impact* (impacto de electrones); FID – *flame ionization detector* (detector de ionización en llama); GC – gas chromatograph (cromatógrafo de gases); HD – *hydrodistillation* (hidrodestilación); HP – Hewlett-Packard; HS – *headspace* (espacio de cabeza o fase vapor); MWHD – *microwave-assisted hydrodistillation* (hidrodestilación asistida por radiación de microondas); P & T – *purge and trap* (purga y trampa); PFPH – *pentafluorophenylhydrazine* (pentafluorfenilhidracina); PDMS – poly(dimethylsiloxane) [poli(dimetilsiloxano)]; SDE – *simultaneous distillation-extraction* (destilación – extracción con solvente simultánea); SFE – *supercritical fluid extraction* (extracción con fluido supercrítico); S-HS – *static headspace* (headspace estático); SPME – *solid-phase microextraction* (microextracción en fase sólida);

## 1. Introducción

Las plantas de la familia Verbenaceae llaman la atención de los investigadores no sólo por su alta diversidad botánica, su abundante y amplia distribución en todo el mundo, sino también por su variable uso. La permanente búsqueda de nuevos productos y combinaciones de sustancias químicas de origen natural, con potencial aplicación en diferentes industrias, tales como la farmacéutica, de alimentos, textil, química orgánica fina y, sobre todo, cosmética y de perfumes, impulsó nuestra investigación hacia un detallado estudio de los metabolitos secundarios volátiles de algunas plantas de la familia Verbenaceae, abundantes en América tropical, y la evaluación de su actividad biológica, particularmente, la capacidad antioxidante *in vitro*.

Tres plantas de la familia Verbenaceae, a saber: *Lippia alba* Mill, *Aloysia triphylla* (L'Her.) Britton y *Lantana armata* Schauer, fueron sometidas a diferentes procedimientos de extracción, con el propósito de obtener la información más completa posible sobre sus metabolitos secundarios volátiles, y sobre el efecto protector de sus aceites esenciales contra la degradación de la emulsión de ácido linoleico (sistema lipídico modelo), sometido a un proceso de oxidación "acelerada" por iones metálicos ( $Fe^{+2}$ ).

Los conocimientos adquiridos en el presente estudio son de importancia para la nascente industria colombiana de aceites esenciales, que necesita una base científica sólida y la justificación para la selección correcta de especies vegetales promisorias, su cultivo industrial, el procesamiento y la obtención de esencias, con miras a satisfacer los mercados nacional e internacional con productos de calidad garantizada y valor agregado alto. Por ser de origen natural, la composición química de las esencias es inconstante y depende, entre otras, de las siguientes variables: el método de extracción, su duración y la temperatura, el estado y la procedencia de la planta, y las condiciones geobotánicas y agrícolas de su cultivo (Combariza *et al.*, 1994; Stashenko *et al.*, 1995; Blanco *et al.*, 1995, Vogel *et al.*, 1999). El valor económico y la aplicabilidad industrial de las esencias están directamente relacionados con su composición química, que determina todas las otras propiedades macroscópicas (físicoquímicas, olor, etc.) y las de la actividad biológica. Es por ello, que el establecimiento de la composición de aceites esenciales es una tarea importante y requiere de la combinación de diferentes métodos de extracción de los metabolitos secundarios volátiles de la planta (Stashenko *et al.*, 1996a, 1999) y de su análisis exhaustivo, usando técnicas de separación, detección e identificación, sensi-

bles y específicas (Stashenko *et al.*, 1995), tales como la cromatografía de gases capilar acoplada a espectrometría de masas (GC-MS).

La introducción de plantas aromáticas tropicales de la familia Verbenaceae, oriundas de América del Sur, a otros continentes y su exploración allá, la gran variedad de quimiotipos observados, que poseen esencias exóticas y únicas, hacen importante el estudio de Verbenáceas colombianas, a fin de encontrar su aplicación práctica como aromatizantes, agentes de *flavour*, y/o principios activos en preparados farmacológicos, cosméticos, perfumes y aditivos en alimentos, entre otros. En el presente trabajo, se evaluó también la actividad antioxidante *in vitro* de aceites esenciales de *L. alba*, *A. triphylla* y *L. camara*, usando la emulsión del ácido linoleico como el sistema lipídico modelo. Las esencias mostraron, a las mismas concentraciones, una actividad antioxidante *in vitro* similar o mayor que la de la vitamina E o BHA, antioxidantes natural y sintético ampliamente usados en la industria.

## 2. Plantas bajo estudio

La planta *Lippia alba* Mill N.E. Brown ex Britton & Wills, un subarbusto muy aromático, es ampliamente distribuida y crece espontáneamente en la América Central y del Sur (Gupta, 1995). La planta es conocida también como *Lippia geniculata* HBK o *Lantana alba* Mill y, en Colombia, por sus nombres populares "Pronto alivio" (Antioquia), "Curatodo" y Orégano de cerro" (Magdalena). Esta especie se ha empleado como estomacal y antiespasmódica en infusión teiforme; también se ha usado como sedante, desinfectante, diaforética y emenagoga (García Barriga, 1992). La planta se caracteriza por su intenso y penetrante olor y contiene de 0.1 a 1.2% del aceite volátil. La composición química del aceite esencial de *L. alba* depende sensiblemente del origen geográfico de la planta, las condiciones de su cultivo, la edad y la parte de la planta empleada para la extracción, y de algunos otros factores geobotánicos; lo que evidencian los trabajos sobre la composición química de *L. alba* realizados en Guatemala (Senatore *et al.*, 2001), India (Bahl *et al.*, 2000, 2002), Uruguay (Lorenzo *et al.*, 2001), Cuba (Pino, *et al.*, 1997) y Brasil (Zoghbi *et al.*, 1998).

Zoghbi y colaboradores (1998) identificaron 3 quimiotipos de *L. alba* en 3 municipios de Brasil (Estado de Pará), en términos de los principales terpenos encontrados en los aceites esenciales. El primero (Municipio Santa María) se caracterizó por un alto contenido del 1,8-cineol (35%), el limoneno (18%) y la carvona (8.6%); el segundo quimiotipo (Municipio Belterra) se destacó por una alta proporción del limoneno (32%), la carvona (32%)

y el mircenol (11%); y el tercero (Municipio Chaves) por el geranial (23%), el neral (14%) y el germacreno D (25%). La revisión de la literatura sorprende con una inmensa variabilidad de los metabolitos secundarios volátiles aislados de plantas de *L. alba*, cultivadas en diferentes regiones del mundo. Así, el limoneno (44%) y la piperitona (31%) fueron componentes mayoritarios en *L. alba* originaria de Guatemala (**Senatore et al.**, 2001); el linalol fue el principal compuesto en esencias destiladas en India (65%) (**Bahl et al.**, 2000, 2002), Uruguay (55%) (**Lorenzo et al.**, 2001) y en Valinhos, São Paulo (Brasil) (67-83%) (**Frighetto et al.**, 1998). El aceite esencial de *L. alba*, que crece en Santander (Colombia), fue rico en dos compuestos, el limoneno (24-37%) y la carvona (40-57%); el último es un ingrediente de alto valor y uso en muchos productos cosméticos y perfumes.

*Aloysia triphylla* (L'Héritier) Britton, conocida también como *Aloysia citriodora* Ortega ex Pers., *Verbena triphylla* L'Héritier y *Lippia citriodora* Kunth, popularmente se llama "Limón verbena", "Cidrón" o "Cedrón", "Verbena", "Yerba Luisa" o "Hierba de la princesa", según el país o la región (**Gupta**, 1995). Es una planta espontánea de América del Sur, originaria del Perú, cultivada, por ser medicinal y ornamental, en solares y jardines de los climas fríos y templados con bastante luz solar; se caracteriza por emanar una intensa y agradable fragancia de limón. La infusión o decocción de las hojas de esta especie se usa en medicina popular como antiespasmódico, tranquilizante, calmante nervioso, expectorante y estomacal (**García Barriga**, 1992; **Gupta**, 1995).

Las partes aéreas contienen 0.2-1% de aceite esencial. Varias investigaciones, realizadas en Chile (**Vogel et al.**, 1999; **Carnat et al.**, 1999), Argentina (**Zygodlo et al.**, 1994, 1995), Brasil (**Brasil e Silva**, 1979), Marruecos (**Bellakhdar et al.**, 1994) y Turquía (**Özek et al.**, 1996), sobre aceites esenciales de *A. triphylla* mostraron, tal como las esencias de *L. alba*, grandes variabilidades en su composición química. En el aceite esencial de flores y hojas de *A. triphylla*, cultivada en Argentina, se aislaron la mircenona (31-37%) y la  $\alpha$ -tujona (13-17%), como compuestos mayoritarios (**Zygodlo et al.**, 1994, 1995). **Vogel et al.** (1999) estudiaron el efecto del mes y hora del día de la cosecha sobre el contenido de aceite esencial y del citral en *A. triphylla*, cultivada en Chile (Talca). El rendimiento más alto del aceite fue observado en octubre (primavera en Chile); el contenido de esencia no variaba durante el día, mientras que el del citral sí, se incrementaba. **Carnat et al.** (1999) estudiaron el contenido de compuestos aromáticos y polifenoles en la infusión de "Lemon verbena" comercial, proveniente de Chile. *A. triphylla*

fue importada a Marruecos de la América del Sur, y su aceite esencial, destilado de la planta seca, es producto de exportación. El quimiotipo cultivado en Marruecos fue inusualmente rico en el 1,8-cineol (12%), posee una cantidad baja del citral, *i.e.* el geranial (10%) y el neral (7%); en la esencia se encontraron también 6-metil-5-hepten-2-ona (7%), el limoneno (4%), el *ar*-curcumeno (5%), el óxido de  $\beta$ -cariofileno (6%) y el espatulenol (5%), entre otros componentes (**Bellakhdar et al.**, 1994). En el aceite esencial de las hojas y tallos secos de *A. triphylla* de Turquía (**Özek et al.**, 1996) fueron identificados, como componentes más abundantes, el limoneno (15-19%), el geranial (12-19%) y el neral (6-8%), junto con los sesquiterpenoides *ar*-curcumeno (5-6%),  $\beta$ -cariofileno (3.5-4%) y su óxido (3-5%) y espatulenol (4-4.5%). En varios trabajos se reportan propiedades biológicas del aceite esencial de *A. triphylla* y/o algunos de sus componentes, a saber: antidiarréica (**Pérez**, 1998), antimicótica (**Guerrera**, 1995), psicotrópica (**Wannmacher**, 1990) y analgésica (**Nakamura**, 1997), entre otras.

La esencia de "Lemon verbena" (*A. triphylla*) es una de las más costosas y raras en el mercado internacional de aceites esenciales ([www.essential-oils.org](http://www.essential-oils.org)), su obtención, análisis y evaluación es de importancia científica y práctica para el país. En el aceite esencial de *A. triphylla*, cultivada en Colombia, el neral (>19%) y el geranial (38%) fueron los componentes mayoritarios, seguidos del espatulenol (*ca.* 4%) y el biciclogermacreno (>3%). El quimiotipo colombiano es rico en citral, lo que convierte a la *A. triphylla* en un producto comercialmente muy atractivo, como la fuente de este aldehído, usado ampliamente en química orgánica fina. Además, *A. triphylla* es una planta autóctona de América del Sur y su cultivo no presenta problemas de adaptación como en otras latitudes (*e.g.* Slovenia, Egipto, Marruecos), donde en la actualidad, debido a un gran interés económico, se lleva a cabo su siembra e industrialización (**Rode et al.**, 2000; **El-Hamidi et al.**, 1983; **Bellakhdar et al.**, 1994).

*Lantana armata* Schauer se conoce además como *Lantana camara* L., *Camara vulgaris* Benth, o *Lantana aculeata* L. Los nombres populares que se le dan en Colombia a esta planta son "Venturosa", "Gurupacha", "Sanguinaria" y "Carraquillo". Esta Verbenaceae se extiende a lo largo de América Central y del Sur (**García Barriga**, 1992; **Gupta**, 1995). La decocción de las hojas es empleada en las afecciones del estómago y en los resfriados; la de la raíz, para purificar la sangre y en enfermedades hepáticas. Las flores y la raíz se emplean como expectorante en la bronquitis, la tos y el asma. Toda la planta en infusión se usa como emenagogo y antiséptico (**García**

**Barriga**, 1992), sus propiedades antimicrobianas también han sido reportadas (**Gupta**, 1995; **Barre et al.**, 1997; **Saxena et al.**, 1999).

Afín con otras verbenáceas (e.g. *L. alba* y *A. triphylla*), *L. camara* presenta una gran variedad de quimiotipos y diferencias en la composición química de sus aceites volátiles. **Weyerstahl et al.** (1999) establecieron, que el aceite comercial de *L. camara* proveniente de Brasil, en un 65% está formado por sesquiterpenoides, derivados de bisaboleno. **Silva** y colaboradores (1999) estudiaron las esencias de plantas de *L. camara* provenientes de la Región Amazónica del Norte de Brasil, y hallaron que el limoneno (17%), el  $\alpha$ -felandreno (16%) y el sabineno (9%), junto con el germacreno D (13-28%), el  $\beta$ -cariofileno (11%, los curcumenos (27-31%) y el zingibereno (15-19%) fueron componentes mayoritarios en estos aceites.

*L. camara*, oriunda de América Tropical, fue introducida como planta ornamental y medicinal, a diferentes países de Asia y África. **Ngassoum et al.** (1999) reportaron la composición química de aceites esenciales obtenidos de hojas y flores de *L. camara*, cultivada en Madagascar y Camerún. Los principales componentes encontrados en el aceite de *Lantana* originaria de Camerún fueron el *ar*-curcumeno (25%), el  $\beta$ -cariofileno (13%) y el epóxido de cariofileno (7%), junto con otros sesquiterpenos. El aceite de Madagascar fue rico en la davanona (15%) y el  $\beta$ -cariofileno (12%). **Fathy** (2000) comparó composiciones de aceites esenciales obtenidos de dos especies, *L. delicatissima* y *L. camara*, y de cinco variedades de la última, cultivadas en Egipto. El  $\alpha$ -humuleno (>20%) fue el compuesto mayoritario en el aceite de *L. delicatissima*; el  $\beta$ -cariofileno (10-30%), el sabineno (30%), los bisabolenos (ca. 15%), el  $\beta$ -sesquifelandreno (>10%) y otros sesquiterpenos y sesquiterpenoles fueron predominantes, aunque en distintas proporciones, en las 5 diferentes variedades de *L. camara* egipcia. **Khan et al.** (2001) reportaron la presencia en el aceite de India del germacreno D (>20%), el  $\gamma$ -elemeno (10%) y el  $\beta$ -cariofileno (ca. 10%), entre otros sesquiterpenos, observando notorias diferencias en la composición de aceites destilados de flores y de hojas, como también con los aceites de distinto origen geográfico. **Sefidkon** (2002) identificó más de 40 componentes en el aceite esencial de *L. camara* cultivada en Irán. El sabineno (7-17%), el  $\beta$ -cariofileno (14-23%), el 1,8-cineol (6-10%), el biclogermacreno (8-18%) y el  $\alpha$ -humuleno (6-11%) fueron metabolitos secundarios volátiles mayoritarios, aislados por hidrodestilación o por arrastre con vapor, de hojas y flores de la *L. camara* iraní. En el aceite esencial de *L. camara* colombiana predominan sesquiterpenos, entre los

cuales se destacan el  $\beta$ -cariofileno (>10%) y su óxido (>5%), el biclosesquifelandreno (>14%), el  $\alpha$ -zingibereno (>7%) y el *ar*-curcumeno (>4%), entre otros.

### 3. Parte experimental

#### 3.1 Material vegetal

Las hojas y tallos de *L. alba*, *A. triphylla* y *L. armata*, se recolectaron en diferentes jardines de la ciudad de Bucaramanga (Santander, Colombia). Solamente tallos y hojas frescos, sin daños, fueron utilizados en las extracciones. La identificación taxonómica de muestras botánicas se llevó a cabo en el Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). Los pliegos testigo de cada planta quedaron depositados como muestra permanente en el Herbario Nacional Colombiano (COL, Bogotá), así: *Lippia alba* (Mill) N.E. Br. (N° COL 480747), *Lantana armata* Schauer s.l. (N° COL 480749) y *Aloysia triphylla* (L. Her.) Britton. (N° COL 480750). Las plantas fueron clasificadas por el doctor **J. L. Fernández**, a quien los autores expresan su más sincero agradecimiento.

#### 3.2 Materiales y reactivos

*n*-Tetradecano (se usó como patrón interno, *istd*), 2-(*ter*-butil)-4-metoxifenol (BHA), sulfato de hierro, *Tris*, cloruro de potasio y diclorometano se compraron a *Merck* (Darmstadt, Alemania). La vitamina E, ácido linoleico, linoleato de metilo, 2,6-di(*ter*-butil)-*p*-cresol (BHT),  $\text{BF}_3$ /metanol, pentafluorfenilhidracina (PFPH) y patrones de terpenos se compraron a *Aldrich Chemical Co.* Inc. (Milwaukee, WI, EE.UU.). Las fibras de poli(dimetilsiloxano) (PDMS, 100  $\mu\text{m}$ ) y poli(dimetilsiloxano)/divinilbenceno (PDMS/DVB, 65  $\mu\text{m}$ ) se adquirieron de *Supelco* Inc. (Bellefonte, PA, EE.UU.). Gases especiales para cromatografía se obtuvieron de *AGA-Fano* S.A. (Bucaramanga, Colombia). Todos los solventes empleados en la investigación fueron grado HPLC.

#### 3.3 Extracciones

*Hidrodestilación* (HD) se llevó a cabo utilizando un equipo de destilación tipo Clevenger, según el procedimiento descrito por **Stashenko et al.** (1993) y **Combariza et al.** (1994). Se usaron 100 g del material vegetal picado de trozos de 2-3 cm, sumergido en agua; la duración de hidrodestilación fue de 2 horas. El aceite esencial se separó del agua, previamente saturada con NaCl, por decantación, y se secó con  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidro. Una alícuota del aceite (30  $\mu\text{L}$ ) se diluyó en 1 mL de diclorometano, para el análisis cromatográfico.

**Tabla 1.** Composición química de los metabolitos secundarios volátiles de *Lippia alba* Mill., aislados por métodos extractivos y de *headspace*.

N° Pico	Compuesto	I <sub>k</sub> <sup>a)</sup>		Área relativa, % <sup>b)</sup>						
		HP-5	Inno-wax	Métodos extractivos				Técnicas <i>headspace</i>		
				HD	MWHD	SDE	SFE	P&T	S-HS	HS-SPME
1	$\alpha$ -Pineno*	935	1039	0.05	0.05	0.1	0.07	0.16	0.62	tr
2	Canfeno*	949	1066	0.14	0.10	0.26	0.15	0.37	0.88	0.20
3	$\beta$ -Mirreno*	993	1157	0.40	0.35	0.53	0.33	0.85	1.06	0.3
4	<b>Limoneno*</b>	1033	1204	<b>32.60</b>	<b>29.58</b>	<b>36.90</b>	<b>23.90</b>	<b>62.7</b>	<b>77.34</b>	<b>26.70</b>
5	<i>trans</i> - $\beta$ -Ocimeno	1043	1250	0.1	0.16	0.11	0.12	0.18	0.63	0.28
6	Óxido de $\alpha$ -pineno*	1052	1256	0.37	0.37	0.4	0.3	0.58	tr	tr
7	Tujona	1106	1562	0.18	0.21	0.1	0.23	0.38	tr	tr
8	Óxido de limoneno*	1133	1211	0.16	0.19	0.11	0.19	0.20	tr	tr
9	<i>trans</i> -Dihidrocarvona	1197	1602	0.12	0.08	0.1	0.18	0.18	tr	0.24
10	Pulegona*	1235	1662	0.15	0.11	0.2	0.17	0.21	tr	0.8
11	<b>Carvona*</b>	1245	1715	<b>51.0</b>	<b>57.21</b>	<b>45.06</b>	<b>40.48</b>	<b>29.8</b>	<b>13.9</b>	<b>15.45</b>
12	<b>Piperitona</b>	1255	1740	<b>0.93</b>	<b>1.23</b>	<b>0.8</b>	<b>1.00</b>	<b>0.55</b>	<b>0.39</b>	<b>0.3</b>
13	Geranial*	1270	1730	0.09	0.12	0.1	0.41	0.10	0.35	tr
14	Óxido de carvona	1279	1800	0.1	0.19	0.1	0.11	0.11	0.30	tr
15	Acetato de carveilo	1339	1777	0.09	0.10	0.1	0.07	0.08	0.59	0.21
16	<b>Piperitenona</b>	1347	1782	<b>1.47</b>	<b>1.81</b>	<b>1.1</b>	<b>1.6</b>	<b>0.43</b>	<b>0.31</b>	<b>0.40</b>
17	$\beta$ -Burboneno	1384	1526	0.7	0.60	1.0	1.52	0.5	0.49	6.5
18	$\alpha$ -Copaeno	1388	1520	0.40	0.22	0.5	0.56	0.05	tr	0.66
19	$\beta$ -Cubebeno	1390	1544	0.59	0.35	0.6	0.51	0.20	tr	2.0
20	$\delta$ -Elemeno	1418	1470	0.26	0.22	0.4	0.30	0.18	tr	0.23
21	$\alpha$ -Cedreno	1420	1600	0.2	0.20	0.3	0.37	0.18	tr	1.99
22	<i>trans</i> - $\beta$ -Cariofileno*	1424	1618	0.2	0.13	0.2	0.27	0.11	tr	1.8
23	$\alpha$ -Humuleno	1452	1670	0.4	0.19	0.5	1.00	0.14	tr	0.72
24	$\beta$ -Farneseno*	1460	1695	0.3	0.24	0.4	0.78	0.13	tr	4.9
25	<i>allo</i> -Aromadendreno	1465	1662	0.1	0.12	0.2	0.29	0.07	tr	1.38
26	Germacreno D	1480	1720	0.1	0.12	0.2	0.15	0.11	tr	0.6
27	<b>Biciclosesquifelandreno</b>	1489	1760	<b>7.3</b>	<b>4.79</b>	<b>8.9</b>	<b>21.75</b>	<b>1.14</b>	<b>2.15</b>	<b>32.8</b>
28	Germacreno A	1505	1769	0.4	0.28	0.5	0.95	0.12	tr	0.6
29	$\beta$ -Bisaboleno	1509	1745	tr	tr	tr	0.11	tr	tr	0.38
30	Cubebol	1514	2010	0.2	0.11	0.1	0.35	0.05	tr	tr
31	$\delta$ -Cadineno	1524	1785	tr	tr	tr	0.12	tr	tr	0.3
32	$\gamma$ -Bisaboleno	1530	1790	tr	tr	tr	0.14	-	-	-
33	Óxido de cariofileno	1580	1965	tr	tr	tr	0.22	-	-	-
34	Germacreno B	1596	1776	0.3	0.17	0.1	0.20	-	-	-
35	Óxido de humuleno	1605	1970	0.3	0.19	0.2	0.22	-	-	-
36	Cedranona	1617	2030	0.1	0.19	0.1	0.19	-	-	-
37	Muurolol	1641	2136	-	-	-	0.11	-	-	-
38	Hidrocarburo C <sub>26</sub>	2453	2490	-	-	-	0.10	-	-	-
39	Hidrocarburo C <sub>26</sub>	2576	2580	-	-	-	0.12	-	-	-

a) Índices de Kovats determinados experimentalmente;

b) Promedio de tres extracciones independientes;

tr - *trazas*;

\* - Se usaron sustancias patrón.

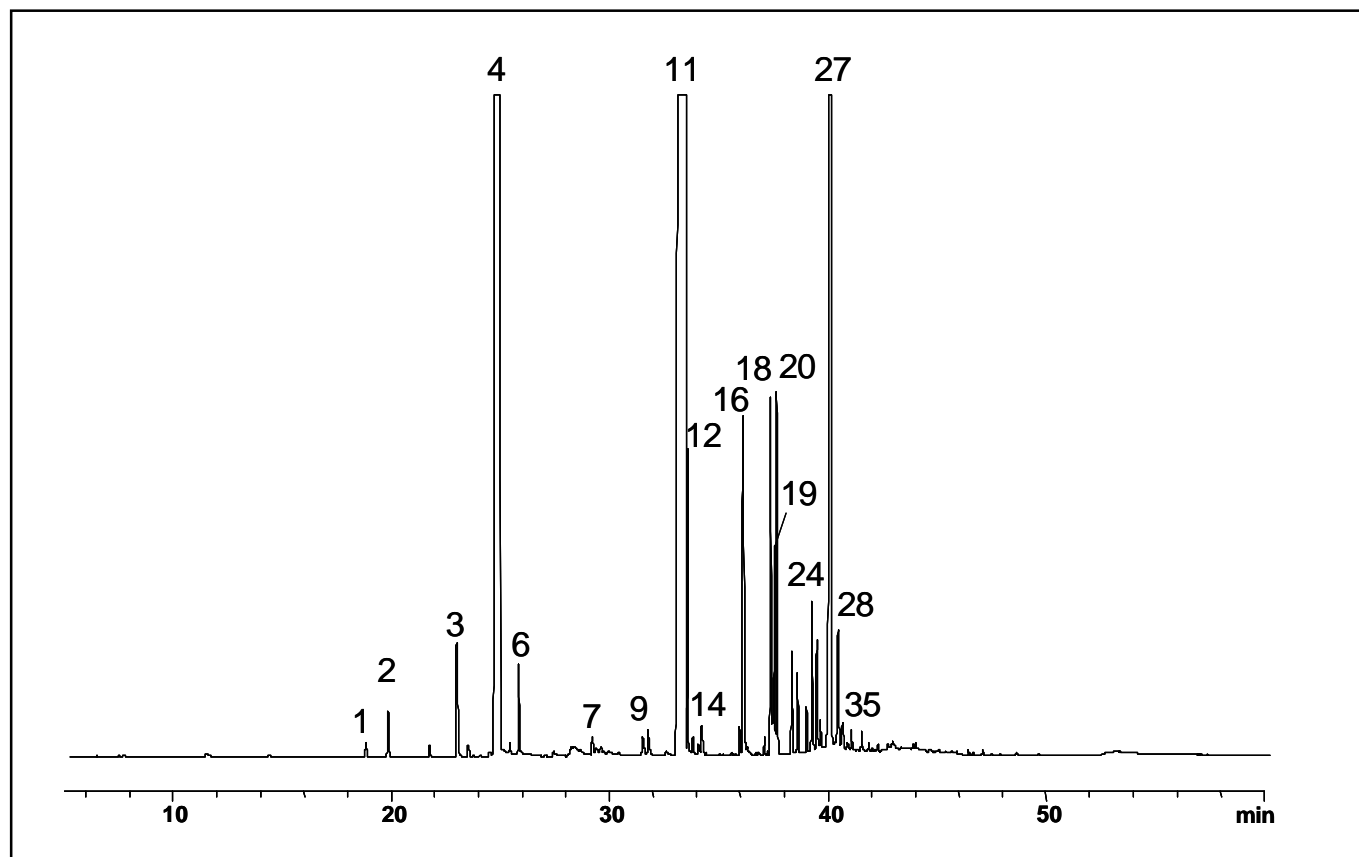
*Hidrodestilación asistida por la radiación de microondas* (MWHD) se realizó usando el mismo montaje descrito para HD, pero, en vez de la manta de calentamiento, se empleó un horno microondas (*Kendo*, 2450 MHz, 800 W), dentro del cual se colocó el balón (1 L) con agua y material vegetal (100 g). El tiempo de extracción, a máxima potencia del horno, fue 30 minutos. Los demás parámetros y el modo de preparación de la muestra para el análisis cromatográfico, fueron los mismos, como está descrito anteriormente para HD, y en el trabajo de *Stashenko et al.* (1999).

*Destilación con vapor-extracción con solvente simultánea* (SDE) se llevó a cabo en un equipo a micro-escala para solventes de alta densidad, diseñado por *Godefroot et al.* (1981). Se usaron 10 g del material vegetal, finamente picado; la duración de la extracción fue de 2 horas, así como lo describen *Stashenko et al.* (1996a, 1996b, 1999). El solvente de extracción fue diclorometano (grado HPLC). El extracto obtenido (1  $\mu$ L) se inyectó directamente al cromatógrafo de gases (GC).

*Extracción con fluido supercrítico* (SFE) se llevó a cabo en un extractor Soxhlet de alta presión (*J&W Scientific*, Folsom, CA, EE.UU.). Se empleó la metodología descrita por *Stashenko et al.* (1996b, 2000). Se usaron 10 g del material vegetal, 320 g de hielo seco (CO<sub>2</sub>) comercial, como fuente de fluido supercrítico; la extracción durante 2 horas, se llevó a cabo a la temperatura de 40-45° C y a la presión de 1050-1100 psi. El extracto obtenido fue secado con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidro y disuelto en diclorometano (30  $\mu$ L en 1 mL del solvente). 1  $\mu$ L de la solución se inyectó al GC.

### 3.4 Obtención de volátiles

*Purga de espacio de cabeza con N<sub>2</sub> y trampa en solvente simultánea* (P & T) se realizó en un equipo de extracción *headspace* dinámico, construido en el laboratorio y similar al diseñado por *Umano & Shibamoto* (1987). El procedimiento de extracción fue de acuerdo con la metodología descrita por *Stashenko et al.* (1992). Se usaron 100 g del material vegetal, nitrógeno (*Aga-Fano S.A.*,



**Figura 1.** Perfil cromatográfico típico del aceite esencial de *Lippia alba* Mill., obtenido por hidrodestilación. Columna HP-5MS (50 m). Detector selectivo de masas (EI, 70 eV). La identificación de los picos se reporta en la **Tabla 1**.

99.995%), como gas de purga y diclorometano, como solvente para atrapar volátiles. La duración de la P & T fue de 2 horas. El extracto obtenido se concentró hasta 10 mL en un equipo Kuderna-Danish, luego se llevó hasta 2 mL con una corriente de nitrógeno seco; 1  $\mu$ L del extracto final se inyectó al GC.

*Headspace estático* (S-HS) se llevó a cabo en un equipo *headspace sampler* HP 7694 (Hewlett-Packard, Palo Alto, CA, EE.UU.). Se emplearon los siguientes parámetros operacionales: temperatura del termostato 40° C, tiempo de equilibrio de 15 min, temperaturas del *loop* y de la línea de transferencia a 100 y 110° C, respectivamente. Se usaron 5 g de planta en un frasco de 20 mL, y se inyectó 1 mL de la fase vapor a la columna cromatográfica.

*Microextracción en fase sólida de la fase vapor* (*headspace*) (HS-SPME) se realizó usando una fibra de poli(dimetilsiloxano) (PDMS, 100  $\mu$ m de espesor), obtenida de Supelco Inc. (Bellefonte, PA, EE.UU.). Se muestreó la fase vapor a  $22 \pm 1^\circ$  C, de 10 g de planta, colocados en un frasco de 50 mL. El tiempo de exposición de la fibra fue de 60 min (la selección de este parámetro se basó en experimentos preliminares). Las sustancias extraídas fueron térmicamente desorbidas a 250° C, durante 5 min, en un puerto de inyección del GC, usando un *liner* especial para SPME, de volumen reducido.

### 3.5 Evaluación de la actividad antioxidante *in vitro*

La oxidación de la emulsión del ácido linoleico fue inducida por iones  $\text{Fe}^{+2}$ , según la metodología descrita por Tamura *et al.* (1991, 1994). La emulsión fue preparada mezclando 2 mL de la solución acuosa del ácido linoleico (2.5 g/L) con 3 mL del buffer *Tris* (pH 7.4), que contenía 0.75 mM de KCl, 2 g/L de dodecil sulfato de sodio y 2.01 mM de sulfato de hierro. Aceites esenciales de *L. alba*, *A. triphylla* o *L. armata*, obtenidos por HD, la vitamina E o BHA se añadieron a la emulsión del ácido linoleico, en concentraciones de 1.0, 2.5, 5.0, 10.0 y 20.0 g/L (la última concentración no se usó para el BHA). La solución resultante se incubó a 37° C durante 12 horas. Al final de la incubación, la mezcla fue enfriada por 10 min en un baño de agua/hielo, y a la emulsión simultáneamente fueron agregados 100  $\mu$ L de la solución de BHT (antioxidante) en metanol, para interrumpir la reacción de oxidación en cadena, porque una vez iniciada, ésta continúa.

El hexanal, producto principal de la degradación oxidativa del ácido linoleico (Frankel, 1985), y marcador del avance del proceso de peroxidación, fue medido por dos métodos independientes, así: (1) en solución, des-

pués de su derivación con PFPH y extracción líquido-líquido de la hidrazona,  $\text{C}_6$ -PFPH, con hexano, según la metodología descrita por Stashenko *et al.* (1997, 1999); y (2) en fase vapor, usando la fibra SPME (PDMS/DVB, 65  $\mu$ m), previamente saturada a temperatura ambiente durante 40 min con PFPH; y la extracción-derivación directa del hexanal sobre la fibra, así como se describe en los trabajos de Stashenko *et al.* (2000, 2002). El efecto protector se calculó según la fórmula:

$$\text{Grado de protección, \%} = 100 \times (\text{Ao} - \text{A}) / \text{A}$$

En esta fórmula, **Ao** es el área del pico de hexanal en el sistema lipídico sin sustancia de prueba y **A** es el área del pico de hexanal en el sistema con sustancia de prueba (antioxidante). El progreso de la peroxidación se determinó también cuantificando el ácido linoleico, en forma de su metil éster (agente derivatizante,  $\text{BF}_3/\text{MeOH}$ ), según Stashenko *et al.* (1999), antes y después de la oxidación inducida. La cuantificación del hexanal y del ácido linoleico se realizaron en ausencia (blanco) y en la presencia de antioxidante (aceite esencial, vitamina E o BHA), adicionado a la emulsión en diferentes concentraciones.

### 3.6 Análisis cromatográfico

El análisis cromatográfico de las muestras se realizó en un GC Hewlett-Packard (HP) 5890A Serie II, equipado con un inyector *split/splitless* (250° C, relación *split* 1:30) y un detector de ionización en llama (FID) (250° C). Los datos cromatográficos fueron adquiridos y procesados con un programa HP *Chem Station* HP Rev. A.06.03 [509]. Para la separación de mezclas se usaron una columna capilar apolar, HP-5 (Hewlett-Packard), de 60 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25  $\mu$ m,  $d_p$ , con fase estacionaria de 5%-fenil-poli (metilsiloxano); y una columna capilar de sílice fundida polar, INNOWAX (HP), con fase estacionaria entrecruzada e inmovilizada de poli(etilenglicol), de 50 m x 0.20 mm D.I. x 0.20  $\mu$ m,  $d_p$ . La temperatura del horno fue programada de 40° C (15 min) hasta 250° C @ 5° C  $\text{min}^{-1}$  para la columna apolar, HP-5; y de 50° C (5 min) hasta 220° C @ 4° C  $\text{min}^{-1}$  para la columna polar INNOWAX. El gas de arrastre empleado fue helio (99.9995%, *Aga-Fano* S.A), con una presión de entrada en la cabeza de la columna de 200 kPa y una velocidad lineal de 26  $\text{cm s}^{-1}$ . El gas auxiliar fue nitrógeno (99.995%; *Aga-Fano* S.A), con una velocidad de flujo de 30  $\text{mL min}^{-1}$ . Las velocidades de flujo para gases de combustión en el FID, el aire y el hidrógeno, fueron de 300 y 30  $\text{mL min}^{-1}$ , respectivamente. El volumen inyectado de los extractos fue de 1.0  $\mu$ L.

Los espectros de masas fueron obtenidos por impacto de electrones con energía de 70 eV, en un CG *Agilent*



*Technologies 6890 Plus* acoplado a un detector selectivo de masas *Agilent Technologies MSD 5973*, y equipado con un puerto de inyección *split/splitless* (1:30), un inyector automático *Agilent 7863*, un sistema de datos *HP MS ChemStation* (Versión 1.05), incluyendo las bases de datos *NBS 75K*, *WILEY 138K* y *NIST 98*. Se usó una columna capilar de sílice fundida, *HP-5MS* de 50 m x 0.25 mm, D.I., con la fase estacionaria de 5%-fenil-poli(metilsiloxano) de 0.25 mm de grosor. Gas de arrastre fue helio (99.9995%, *Aga Fano*, S.A.), con una velocidad lineal de 35 cm s<sup>-1</sup>. La temperatura del horno fue programada de 40° C (15 min) hasta 250° C (15 min) @ 5° C min<sup>-1</sup>. Las temperaturas de la cámara de ionización y de la línea de transferencia se mantuvieron a 230 y 285° C, respectivamente. Espectros de masas y corrientes iónicas reconstruidas (TIC) se obtuvieron en un cuadrupolo, por medio de barrido automático de frecuencia (*full scan*), @ 4.75 scan s<sup>-1</sup>, en el rango de masas de *m/z* 40-350. La homogeneidad de cada pico cromatográfico fue revisada, obteniendo fragmentogramas de masas, basados en iones característicos de cada compuesto. Para la identificación de los compuestos se usaron algunas sustancias estándar, analizadas bajo las mismas condiciones instrumentales, espectros de masas e índices de retención de Kovats (**Kovats**, 1965) de componentes, que se compararon con los reportados en la literatura (**Jennings & Shibamoto**, 1980; **Davies**, 1990; **Adams**, 1995; **Joulian & König**, 1998).

La determinación del hexanal, en forma de su derivado hidracínico, C<sub>6</sub>-PPFH, se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases *HP 5890A Series II*, equipado con un detector de captura de electrones (ECD), operado a 280° C, con una mezcla metano:argón (10%) como gas auxiliar, a la velocidad lineal de 60 mL min<sup>-1</sup>, una columna capilar *HP-5* de 30 m x 0.25 mm, D.I. x 0.25 µm, d<sub>p</sub>, y un puerto de inyección *split* (250° C, relación *split* 1:10). Se usó helio como gas de arrastre (26 cm s<sup>-1</sup>). Más detalles sobre la cuantificación del hexanal y del ácido linoleico se reportan en los trabajos de **Stashenko et al.** (1997, 1999, 2000, 2002).

## 4. Resultados y discusión

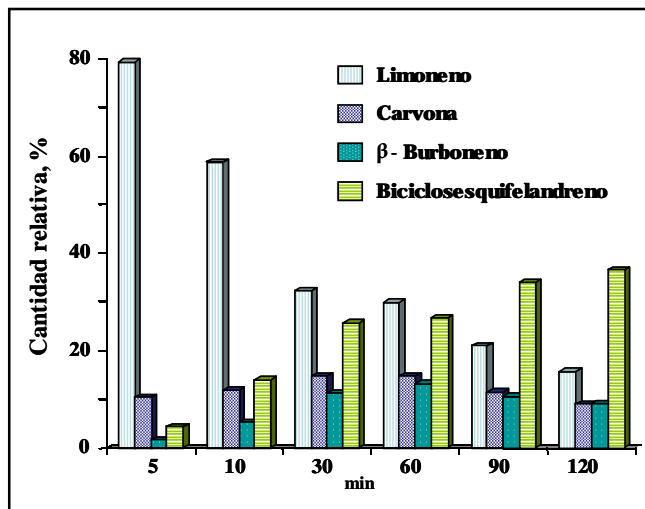
### 4.1 Metabolitos secundarios volátiles de *L. alba*

En la **Figura 1** aparece un perfil cromatográfico típico de metabolitos secundarios volátiles, aislados por HD, de hojas y tallos frescos de *L. alba*. Más de 30 sustancias, en concentraciones relativas >0.05% se encontraron en el aceite esencial, los extractos y en la fase vapor de la planta. En la **Tabla 1** se registran los compuestos identificados y sus cantidades relativas (%) en diferentes fracciones volátiles, obtenidas por métodos extractivos (HD, MWHD,

SDE, SFE) y de *headspace* (S-HS, P & T, HS-SPME). La composición de aceites esenciales de *L. alba* y del extracto, obtenidos por HD, MWHD y SDE, respectivamente, es muy similar, mientras que el extracto, aislado por SFE, fue enriquecido en mayor grado con sesquiterpenos. La fracción altamente volátil, *i.e.* monoterpenos, se recuperó mejor por el método SDE (*ca.* 38% Vs 33 y 30% para HD y MWHD) y, a su vez, la técnica SFE permitió aislar más eficientemente (*ca.* 30% Vs 11 y 19% para HD y MWHD) los compuestos menos volátiles, *i.e.* sesquiterpenoides. MWHD fue el método ventajoso en cuanto al tiempo de extracción mucho más corto (30 min; rendimiento del aceite 0.70%), en comparación con el HD convencional (2 horas; rendimiento del aceite 0.69%), mientras que la composición de ambos aceites obtenidos fue prácticamente la misma (**Tabla 1**).

La carvona (40-57%) fue el componente mayoritario en todos los aceites (HD, MWHD) y extractos (SDE, SFE) de *L. alba*, seguido del limoneno (24-37%), el biciclosesquifelandreno (2-22%), la piperitenona (1-2%), la piperitona (0.8-1.2%) y el β-burboneno (0.6-1.5%). La *L. alba* colombiana es un quimiotipo nuevo, no descrito previamente en la literatura, que se destaca por el alto contenido de carvona; mientras que los otros quimiotipos de esta planta, cultivados en Uruguay, India y Brasil (São Paulo) poseen el linalol como compuesto mayoritario (55-85%), y en el aceite de Guatemala prevalecen el limoneno (44%) y la piperitona (31%).

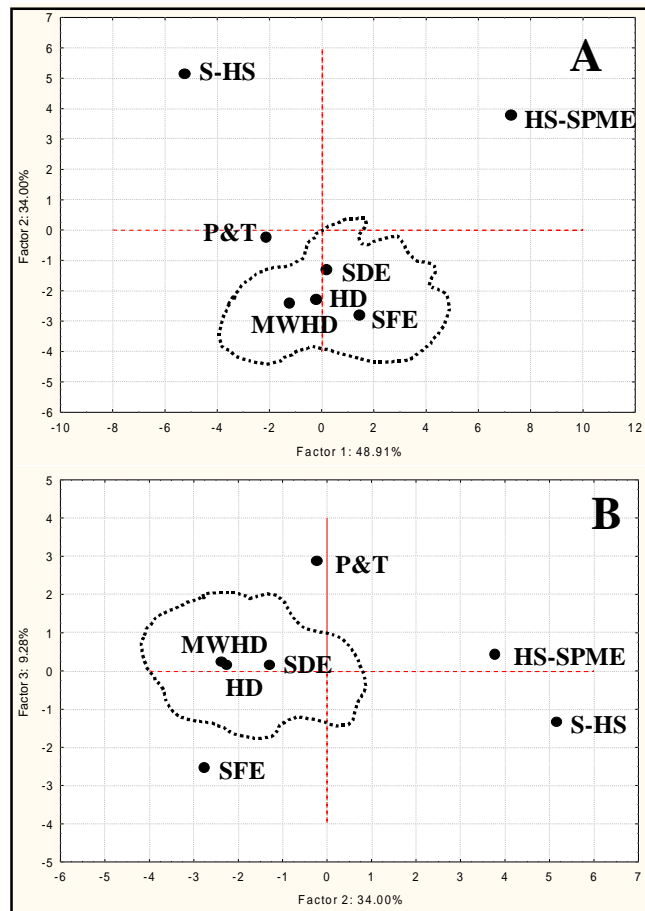
Para evaluar mejor la composición química de la fragancia natural de la planta, se usaron métodos de aislamiento menos “agresivos”, los llamados *headspace* (HS), donde el calor y el agua, que pueden inducir la formación de artefactos durante la extracción, son eliminados. Sin embargo, la composición de las fracciones volátiles de la planta *L. alba* depende del método *headspace* empleado. HS estático (S-HS), tal vez, refleja mejor el perfume propio de la planta, tal como lo percibe la nariz; los métodos de *headspace* dinámico y de HS-SPME incluyen la etapa de concentración, y, por ende, la composición de las fracciones volátiles obtenidas dependerá notoriamente de los tiempos de purga (P & T) y de la exposición de la fibra (HS-SPME), respectivamente. Como se puede observar, el número de componentes aislados por los métodos HS es menor que el obtenido por las técnicas extractivas (**Tabla 1**). El compuesto principal en las fracciones volátiles fue el limoneno (27-77%), seguido de la carvona (14-30%), el biciclosesquifelandreno (1-33%) y el β-burboneno (0.5-6.5%). El método S-HS extrajo predominantemente los compuestos más volátiles, *i.e.* monoterpenos y sus análogos oxigenados. La composición de la fracción volátil de



**Figura 2.** Cantidad relativa (%) de los componentes principales, aislados por SPME de la fase vapor, de la planta fresca de *Lippia alba* Mill., en función del tiempo de exposición de la fibra (PDMS, 100  $\mu$ m).

*L. alba*, aislada por HS-SPME, depende mucho del tiempo de la exposición de la fibra, tal como se puede observar en la **Figura 2**. A mayor tiempo de exposición, se extrae mayor cantidad de componentes, y, además, la fracción aislada se satura progresivamente con sustancias menos volátiles, *i.e.* sesquiterpenos, que poseen coeficientes de distribución,  $K_D$ , más altos que monoterpenos, pero sus volatilidades y velocidades de difusión son más bajas.

Para apreciar mejor el impacto del método de extracción sobre la composición final obtenida, las composiciones relativas de fracciones volátiles, obtenidas por diferentes técnicas extractivas (HD, MWHD, SDE y SFE) y de *headspace* (S-HS, P & T y HS-SPME), se compararon por medio del análisis estadístico de Componentes Principales (PCA, STATISTICA, Versión 6.0, StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, EE.UU.). El resultado de PCA, aplicado a la *L. alba*, indica, que más de 90% de la información de la **Tabla 1**, puede ser representada por un subespacio de tres coordenadas (Componentes Principales), construido con base en las combinaciones lineales de las concentraciones relativas de componentes en diferentes extractos (**Figura 3**). El *Factor 1* involucra el 48% de la información, y está representado básicamente por sesquiterpenos (biciclosquifelandreno,  $\beta$ -cubebeno, germacreno D, *allo*-aromadendreno, etc.). El *Factor 2* corresponde al 34% de la información y está caracterizado por cetonas (carvona, piperitona, piperitenona) y otros compuestos oxigenados (acetato de carveilo, óxidos de pineno y limoneno). La principal contribución al *Factor 3*, que constituye el 9% de la información, la hacen el geranial y el cubebol, junto



**Figura 3.** Representación gráfica de las composiciones relativas de fracciones volátiles, aisladas de la planta fresca de *Lippia alba* Mill. por diferentes métodos de extracción, en el espacio formado por los primeros tres componentes principales.

con algunos otros componentes oxigenados. Como se puede observar en la **Figura 3**, la proximidad de los puntos correspondientes a los métodos HD, MWHD y SDE, confirma la similitud de las composiciones obtenidas por estas técnicas (**Tabla 1**), así como las notorias diferencias composicionales con los métodos *headspace* (*e.g.* HS estático Vs HS dinámico).

#### 4.2 Metabolitos secundarios volátiles de *A. triphylla*

En la **Figura 4** se observa un perfil cromatográfico típico del aceite esencial de *A. triphylla*, obtenido por hidrodestilación. En el cromatograma se destacan dos picos principales, correspondientes al neral y al geranial, isómeros geométricos del citral, y un poblado grupo de señales características de sesquiterpenos ( $t_R > 34$  min). En la **Tabla 2** se reportan las cantidades relativas (%) y la

**Tabla 2.** Composición química de los metabolitos secundarios volátiles de *Aloysia triphilla*, aislados por métodos extractivos y de *headspace*.

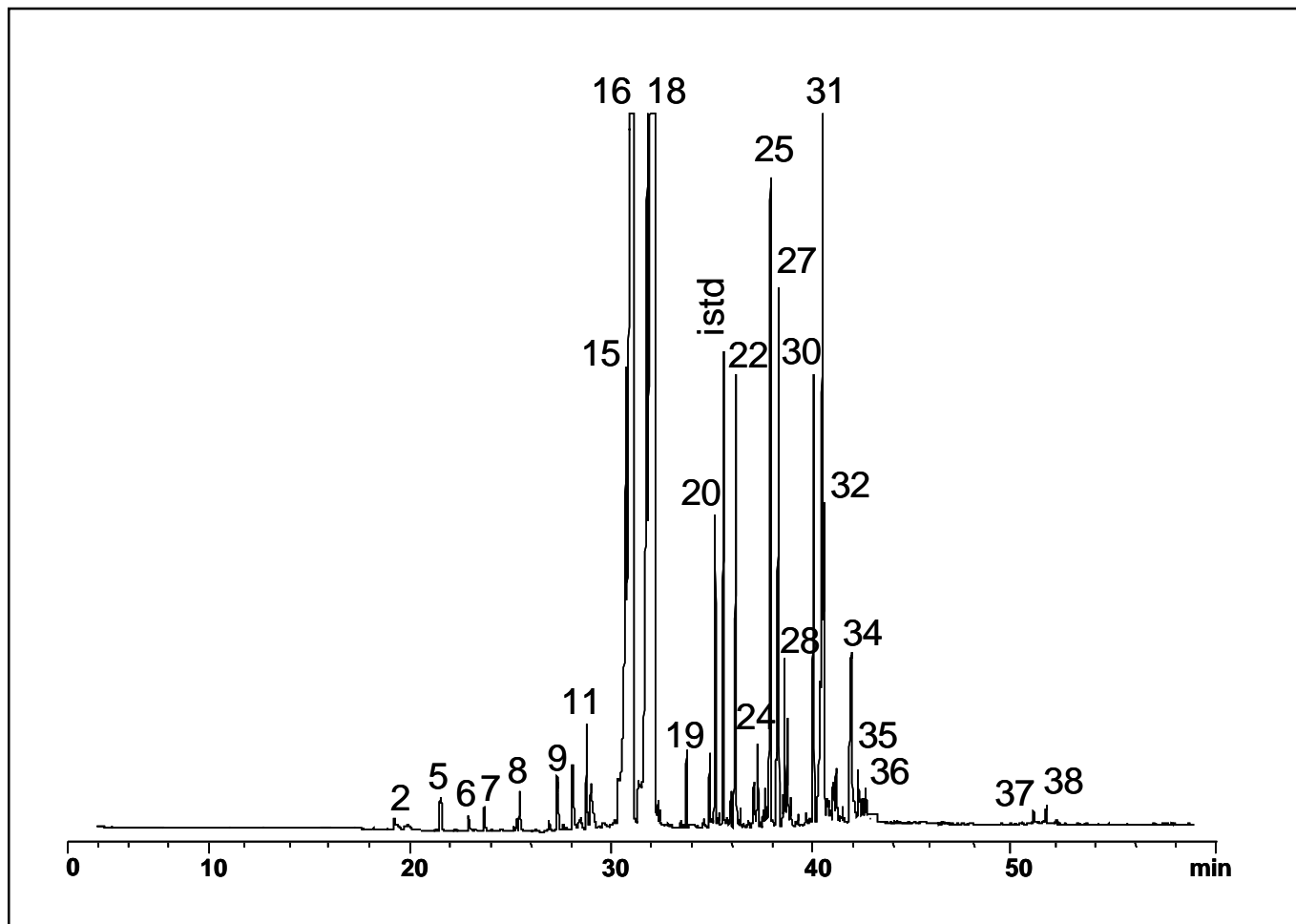
N° Pico	Compuesto	I <sub>k</sub> <sup>a)</sup>		Área relativa, % <sup>b)</sup>						
		HP-5	Inno- wax	Métodos extractivos				Técnicas <i>headspace</i>		
				HD	MWHD	SDE	SFE	P&T	S-HS	HS- SPME
1	α-Fencheno	951	1070	0.1	tr	0.2	0.1	0.1	2.60	tr
2	1-Octen-3-ol	978	1415	0.50	0.50	1.6	2.4	1.70	0.5	0.9
3	6-Metil-5-hepten-2-ona	985	-	0.40	tr	2.1	tr	3.20	0.6	0.5
4	Octan-3-ol	993	1519	0.10	tr	0.3	tr	1.20	3.1	1.9
5	Limoneno*	1033	1204	0.6	0.60	5.8	7.3	9.70	29.4	9.3
6	1,8-Cineol*	1034	1228	0.40	0.20	1.7	1.3	2.30	12.8	5.6
7	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1043	1250	0.20	0.30	0.20	0.20	0.1	1.7	tr
8	Linalol*	1098	1508	0.40	0.40	0.40	0.20	0.70	2.8	0.7
9	Verbenol	1140	1613	0.20	0.50	0.30	0.20	0.60	1.5	0.2
10	Isopulegol	1146	1572	0.9	0.60	1.0	0.60	0.30	0.1	0.1
11	Mentol*	1173	1614	0.5	0.70	0.1	0.20	0.30	0.5	0.8
12	Terpin-4-ol*	1177	1630	0.6	0.50	1.5	0.50	0.80	0.3	1.4
13	α-Terpineol*	1189	1730	0.70	0.60	0.70	0.30	0.30	0.2	1.1
<b>14</b>	<b>Dihidrocitronelol</b>	1196	1750	1.20	1.7	1.4	0.80	2.50	2.1	1.6
<b>15</b>	<b>Nerol*</b>	1228	1755	<b>4.70</b>	<b>4.1</b>	<b>5.0</b>	<b>1.70</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>
<b>16</b>	<b>Neral*</b>	1240	1682	<b>19.3</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>21.9</b>	<b>21.5</b>	<b>6.1</b>	<b>13.8</b>
<b>17</b>	<b>Geraniol*</b>	1255	1795	<b>5.4</b>	<b>5.6</b>	<b>5.9</b>	<b>1.90</b>	<b>3.2</b>	<b>3.2</b>	<b>1.3</b>
<b>18</b>	<b>Geranial*</b>	1270	1728	<b>38.1</b>	<b>38.30</b>	<b>33</b>	<b>34.0</b>	<b>26.7</b>	<b>9.21</b>	<b>17.6</b>
19	Acetato de verbenilo	1282	1690	0.70	0.70	0.70	0.90	0.30	1.0	3.3
20	β-Burboneno	1384	1526	1.20	1.4	0.5	1.40	0.70	0.3	4.4
21	α-Copaeno	1388	1520	0.30	0.20	0.30	0.30	0.90	0.82	1.9
22	<i>trans</i> -β-Cariofileno*	1424	1618	2.8	3.1	2.6	4.80	3.8	3.8	4.9
23	β-Copaeno	1430	1628	0.5	0.5	0.2	0.20	1.2	0.2	0.22
24	<i>allo</i> -Aromadendreno	1465	1662	0.70	0.8	0.5	0.60	0.20	0.3	0.29
<b>25</b>	<b><i>ar</i>-Curcumeno</b>	1483	1775	<b>3.10</b>	<b>4.0</b>	<b>2.7</b>	<b>3.8</b>	<b>4.5</b>	<b>2.30</b>	<b>5.5</b>
26	Biciclosesquifelandreno	1489	1760	1.30	1.5	1.8	1.8	2.30	1.9	4.6
<b>27</b>	<b>Biciclogermacreno</b>	1494	1768	<b>3.40</b>	<b>3.4</b>	<b>1.5</b>	<b>0.70</b>	<b>1.30</b>	<b>0.63</b>	<b>3.5</b>
28	γ-Cadineno	1513	1770	0.70	0.60	0.5	0.50	1.10	0.3	2.4
29	β-Sesquifelandreno	1524	1787	0.60	0.50	0.30	0.70	1.20	0.2	0.5
30	<i>trans</i> -Nerolidol*	1564	2040	2.30	2.4	1.40	2.30	3.0	0.1	0.6
<b>31</b>	<b>Espatulenol</b>	1576	2150	<b>3.6</b>	<b>3.3</b>	<b>2.7</b>	<b>2.60</b>	<b>4.0</b>	<b>0.2</b>	<b>0.7</b>
32	Óxido de cariofileno	1580	1965	1.40	0.9	1.2	0.50	0.30	0.1	0.2
33	Cedranona	1617	2030	0.50	0.30	0.40	0.10	0.30	tr	0.1
34	Eudesmol	1630	2240	1.50	1.20	0.6	0.50	0.50	tr	0.1
35	α-Muurolol	1645	2147	0.30	0.20	0.1	0.20	-	-	tr
36	α-Cadinol	1653	2224	0.50	0.40	0.1	0.30	-	-	tr
37	Cariofilenol	1664	2036	0.20	0.20	0.1	0.50	-	-	tr
38	N.I., C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	-	0.40	0.30	0.2	0.10	-	-	-
39	N.I., C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	-	tr	tr	tr	0.60	-	-	-
40	N.I., C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	-	-	tr	tr	tr	1.80	-	-	-

a) Índices de Kovats determinados experimentalmente;

b) Promedio de tres extracciones independientes; tr - *trazas*

\* - Se usaron sustancias patrón

N.I. - No identificado

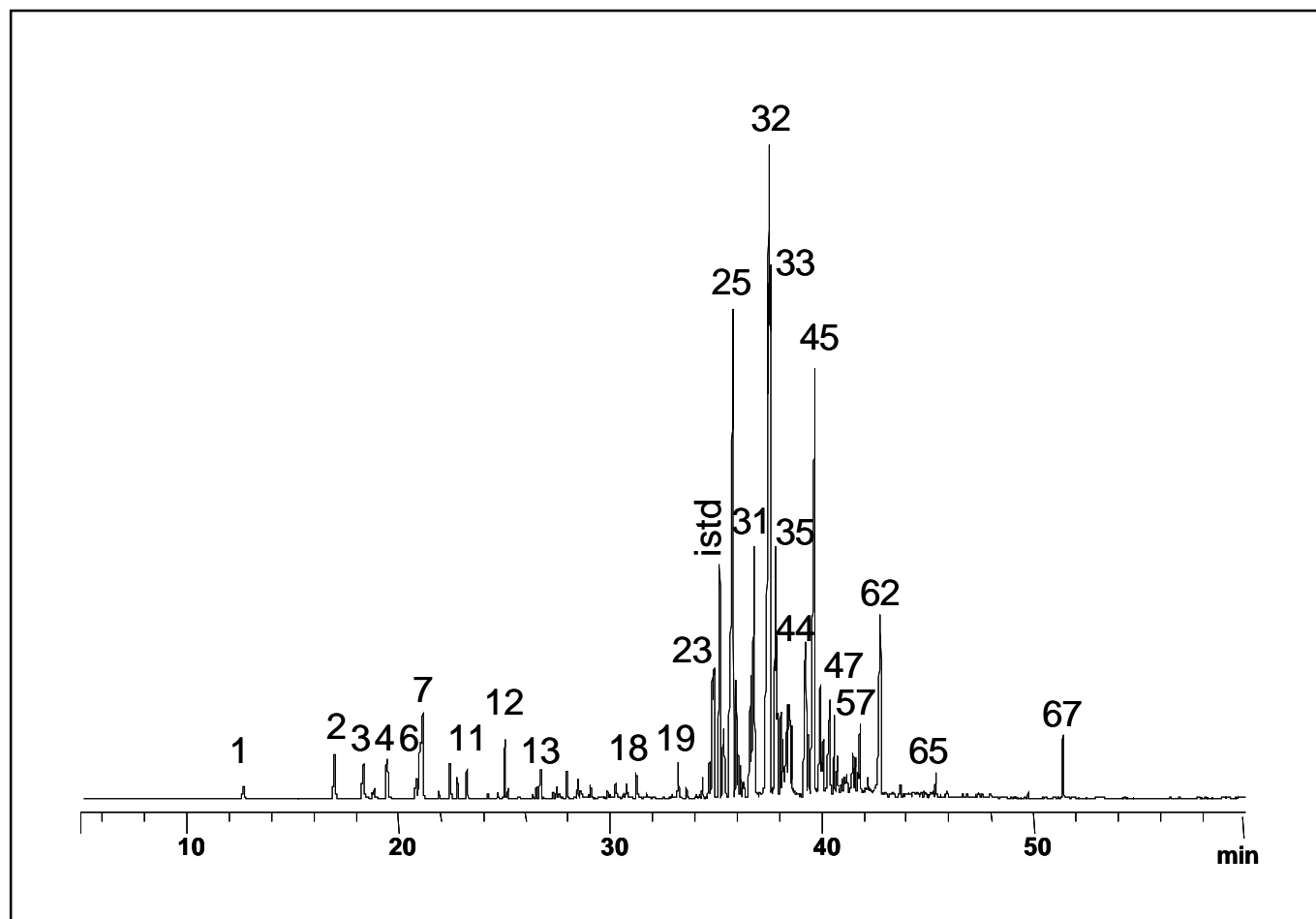


**Figura 4.** Perfil cromatográfico típico del aceite esencial de *Aloysia triphylla*, obtenido por hidrodestilación. Columna HP-5MS (50 m). Detector selectivo de masas (EI, 70 eV). La identificación de los picos se reporta en la **Tabla 2**.

identificación de los componentes aislados por métodos extractivos (HD, MWHD, SDE y SFE) y de *headspace* (S-HS, P & T, HS-SPME). Más de 35 metabolitos secundarios volátiles se aislaron de la planta. Las composiciones relativas de las fracciones volátiles, obtenidas por las técnicas HD, MWHD, SDE y SFE, son similares, pero diferentes a las aisladas por los métodos *headspace*. Nuevamente, la mejor recuperación de monoterpenos y sus análogos oxigenados se logró con la SDE, y la de los sesquiterpenoides, por la SFE. Los componentes mayoritarios en los aceites esenciales (HD, MWHD) y en los extractos (SDE, SFE) de la *A. triphylla*, fueron el neral (19-22%) y el geranial (33-38%), seguidos del nerol (2-5%) y el geraniol (2-6%), los sesquiterpenoides *ar*-curcumeno (3-4%), biciclosesquifelandreno (2-3%), espatulenol (2-4%), nerolidol (*ca.* 2%),  $\beta$ -burboneno (1-2%),  $\beta$ -cariofileno (3-5%) y su óxido (1-1.5%) (**Tabla 2**). Como se mencionó anteriormente, el alto

contenido de citral (*ca.* 60%) en la *A. triphylla* colombiana convierte esta planta a una especie aromática promisoriosa para su cultivo industrial, la obtención del aceite esencial y/o la extracción del citral y su comercialización.

El método HS estático, que se basa en un equilibrio establecido entre la planta y su fase vapor, *i.e.*, perfume que emana, y permite reflejar de una manera más “genuina” la composición del olor propio de la planta, mostró el predominio en la fase vapor de la *A. triphylla* de los monoterpenoides limoneno (*ca.* 30%), 1,8-cineol (13%), geranial (9%) y neral (6%), junto con otros compuestos oxigenados volátiles, 1-octen-3-ol (6%) y 6-metil-5-hepten-2-ona (*ca.* 9%). El estudio de *headspace* de plantas aromáticas tropicales puede servir de base para la creación de aromas exóticos y perfumes descomunales, en un mercado de nuevas fragancias, sofisticado y muy



**Figura 5.** Perfil cromatográfico típico del aceite esencial de *Lantana camara*, obtenido por hidrodestilación. Columna HP-5MS (50 m). Detector selectivo de masas (EI, 70 eV). La identificación de los picos se reporta en la **Tabla 3**.

competitivo. Los métodos P & T y HS-SPME, que involucran una etapa de concentración, permitieron obtener fracciones volátiles, cuya composición se acercaba más a la del aceite esencial de la planta (**Tabla 2**). Así, el neral (14-20%) y el geranial (18-27%) fueron los compuestos mayoritarios en las mezclas de volátiles, obtenidas por P & T y HS-SPME. La técnica HS-SPME (60 min de exposición de la fibra) permitió concentrar los sesquiterpenos en alta proporción, lo que facilitó su identificación, usando índices de retención y espectros de masas, puesto que los últimos fueron “completos” y respondían a todos los criterios espectroscópicos de calidad (Oehme, 1998).

#### 4.3 Metabolitos secundarios volátiles de *L. camara*

En la **Figura 5** aparece un perfil cromatográfico de metabolitos secundarios volátiles, aislados por hidrodesti-

lación de las hojas y los tallos frescos de *L. camara*, planta ampliamente difundida en el Magdalena Medio santandereano. La identificación de los componentes y sus cantidades relativas (%) se reportan en la **Tabla 3**. Como se puede observar, el aceite esencial es de tipo *sesquiterpenoide*; más del 60% de la mezcla lo representan hidrocarburos sesquiterpénicos,  $C_{15}H_{24}$ , y ca. 30% sus análogos oxigenados. Los siguientes fueron sesquiterpenos mayoritarios, aislados de la *L. camara* por diferentes técnicas extractivas, a saber: el *trans*- $\beta$ -cariofileno (14-15%) y su óxido (4-9%), el biciclosesquifelandreno (16-18%), el  $\alpha$ -zingibereno (5-6%), el *E,E*- $\alpha$ -farneseno (3-4%) y el  $\gamma$ -bisaboleno (3-4%). La fracción de monoterpenos,  $C_{10}H_{16}$ , no alcanzó un 10%; entre éstos, el  $\beta$ -pineno (0.2-3%) y el  $\beta$ -mirceno (2-4%) fueron hidrocarburos mayoritarios.

Las composiciones relativas de las fracciones volátiles de *L. camara*, obtenidas por las técnicas *headspace*, fueron

**Tabla 3.** Composición química de los metabolitos secundarios de *Lantana armata* Schauer, aislados por métodos extractivos y de *headspace*.

N° Pico	Compuesto	I <sub>k</sub>		Área relativa, %						
		HP-5	Inno-wax	Métodos extractivos			Técnicas <i>headspace</i>			
				HD	MWHD	SDE	SFE	P&T	S-HS	HS-SPME
1	Hexen-3-ol	853	1320	0.3	1.2	1.5	0.2	13.7	19.9	1.7
2	α-Tujeno	928	1035	1.0	1.9	4.1	0.4	14.1	19.4	1.9
3	α-Pineno*	935	1039	1.0	0.8	0.7	0.9	6.8	7.3	0.4
4	Sabineno	976	1129	0.3	0.6	0.7	tr	9.2	15.5	0.8
5	1-Octen-3-ol	978	1415	2.2	2.6	2.2	0.7	7.1	6.1	1.0
6	β-Pineno*	982	1124	2.9	2.5	2.6	0.2	7.6	5.8	0.7
7	<b>β-Mirceno*</b>	<b>993</b>	<b>1157</b>	<b>3.0</b>	<b>3.1</b>	<b>3.9</b>	<b>1.7</b>	<b>0.6</b>	<b>1.9</b>	<b>1.1</b>
8	Octan-3-ol	994	1515	0.3	0.1	0.1	tr	0.6	1.3	0.3
9	α-Felandreno	1009	1180	0.8	0.6	1.0	0.2	0.1	0.1	0.1
10	p-Cimeno*	1027	1278	0.2	0.2	0.5	0.1	0.2	0.1	tr
11	Limoneno*	1033	1205	0.1	0.2	0.5	tr	0.1	0.2	0.2
12	1,8-Cineol*	1034	1230	1.6	1.6	2.0	0.7	0.1	0.3	0.1
13	<i>trans</i> -β-Ocimeno	1043	1249	0.8	0.5	1.4	0.1	0.2	0.1	0.2
14	γ-Terpineno*	1061	1253	0.8	0.5	0.7	0.2	0.2	tr	0.1
15	Terpinoleno*	1088	1290	0.3	0.7	1.2	0.6	0.3	tr	0.1
16	Linalol*	1098	1508	0.7	0.8	1.0	0.9	0.3	tr	0.2
17	Nerol*	1226	1755	0.5	0.3	0.4	0.1	0.1	tr	0.2
18	Neral*	1239	1680	0.6	0.3	0.5	0.6	0.1	tr	0.2
19	Geraniol*	1254	1795	1.0	0.3	0.6	0.5	tr	tr	0.9
20	Geranial*	1270	1728	0.5	0.4	0.9	0.8	0.6	tr	0.4
21	δ-Elemeno	1341	1480	0.6	0.5	0.4	0.3	0.9	tr	0.6
22	β-Burboneno	1384	1526	0.7	0.7	0.7	0.6	0.3	tr	0.6
23	β-Cubebeno	1390	1544	1.6	1.7	1.2	1.9	1.1	1.1	3.7
24	α-Cedreno	1420	1599	0.8	0.4	0.6	0.4	tr	tr	0.4
25	<b><i>trans</i>-β-Cariofileno*</b>	1425	1618	<b>13.6</b>	<b>13.7</b>	<b>14.2</b>	<b>14.6</b>	<b>11.3</b>	<b>12.4</b>	<b>28.4</b>
26	Aromadendreno	1435	1648	1.3	1.4	1.3	0.9	0.9	tr	5.2
27	α-Humuleno	1452	1670	0.6	0.5	0.6	0.6	tr	tr	2.0
28	<i>allo</i> -Aromadendreno	1465	1663	0.3	0.3	0.4	0.3	tr	tr	0.6
29	γ-Himachaleno	1475	1700	0.5	0.4	0.6	0.7	tr	tr	1.3
30	Germacreno D	1480	1720	0.3	0.3	0.4	0.6	tr	tr	3.9
31	<i>ar</i> -Curcumeno	1482	1775	1.4	1.3	1.5	3.2	2.9	tr	3.2
32	<b>Biciclosesquifelandreno</b>	1490	1760	<b>16.4</b>	<b>16.9</b>	<b>17.0</b>	<b>18.0</b>	<b>11.1</b>	<b>7.1</b>	<b>12.3</b>
33	<b>α-Zingibereno</b>	1494	1726	<b>5.9</b>	<b>5.7</b>	<b>5.7</b>	<b>5.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1.6</b>	<b>7.6</b>
34	<b><i>E,E</i>-α-Farneseno</b>	1509	1740	<b>3.7</b>	<b>3.6</b>	<b>3.4</b>	<b>3.2</b>	<b>0.6</b>	<b>tr</b>	<b>4.8</b>
35	<b>γ-Bisaboleno</b>	1515	1758	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>	<b>3.9</b>	<b>0.4</b>	<b>tr</b>	<b>2.7</b>
36	<i>cis</i> -Calameneno	1518	1842	2.1	1.9	1.6	1.7	0.5	tr	1.4
37	δ-Cadineno	1524	1785	1.9	1.4	1.2	1.3	0.9	tr	1.1
38	<i>trans</i> -Nerolidol	1537	2035	1.2	0.7	0.6	1.6	0.8	tr	2.9
39	α-Calacoreno**	1540	1915	0.9	1.0	1.0	1.4	0.5	tr	0.9
40	Elemol	1547	2075	0.7	0.5	0.3	1.2	0.6	tr	0.4
41	γ-Calacoreno**	1558	1920	1.4	1.2	1.1	1.4	0.4	-	0.2
42	Ledol	1567	2100	1.2	1.3	1.1	1.2	0.5	-	0.2
43	Óxido de himachaleno**	1571	2130	0.7	0.8	0.5	0.8	0.3	-	0.1
44	Germacrenol**	1575	2150	1.0	0.9	0.5	1.2	0.4	-	0.2
45	<b>Óxido de cariofileno</b>	1581	1966	<b>5.9</b>	<b>4.0</b>	<b>4.7</b>	<b>8.8</b>	<b>2.0</b>	<b>tr</b>	<b>2.5</b>
46	<i>trans</i> -β-Elemenona**	1596	2008	2.0	1.9	1.8	1.8	0.4	-	1.1
47	Óxido de humuleno**	1604	1970	0.5	0.6	1.1	1.1	0.5	-	0.3
48	Sesquilandulol**	1607	-	0.6	0.6	0.2	1.4	0.2	-	0.1
49	β-Óxido de himachaleno**	1610	-	0.9	0.6	0.3	1.0	0.1	-	0.2
50	Cedranona**	1617	2030	1.2	1.3	0.4	1.4	0.2	-	0.3
51	<i>epi</i> -γ-Eudesmol**	1622	2183	0.3	0.3	0.2	0.6	0.1	-	0.2
52	Cubenol**	1627	2034	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	-	0.2

**Tabla 3.** Composición química de los metabolitos secundarios de *Lantana armata* Schauer, aislados por métodos extractivos y de *headspace*.

N° Pico	Compuesto	I <sub>K</sub>		Área relativa, %						
		HP-5	Inno-wax	Métodos extractivos			Técnicas <i>headspace</i>			
				HD	MWHD	SDE	SFE	P&T	S-HS	HS-SPME
53	γ-Eudesmol	1630	2240	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-	0.1
54	β-Acorenol**	1635	-	0.2	0.5	0.5	0.6	tr	-	0.1
55	T-Cadinol	1639	2136	0.7	0.6	0.4	0.6	tr	-	tr
56	Himachalol**	1646	-	0.8	0.6	0.5	0.6	-	-	-
57	α-Cadinol	1654	2224	0.6	0.3	0.2	0.7	-	-	-
58	Dihidroeudesmol**	1659	-	0.3	0.4	0.1	0.6	-	-	-
59	Isocedranol**	1669	-	0.2	0.4	0.1	0.5	-	-	-
60	α-Óxido de bisaboleno	1679	-	0.2	0.3	0.1	0.5	-	-	-
61	Acarenona**	1685	-	tr	tr	tr	0.2	-	-	-
62	Germacrona**	1688	-	2.3	2.2	0.7	2.2	-	-	-
63	β-Sinensal	1695	2040	tr	tr	tr	0.8	-	-	-
64	Farnesol	1740	-	tr	tr	tr	0.7	-	-	-
65	Acetato de cariofilenilo	1700	2038	0.3	0.6	tr	0.9	-	-	-
66	N.I.	-	-	tr	tr	tr	0.5	-	-	-
67	N.I.	-	-	0.5	0.5	0.1	0.7	-	-	-

a) Índices de Kovats determinados experimentalmente;

b) Promedio de tres extracciones independientes; tr – trazas;

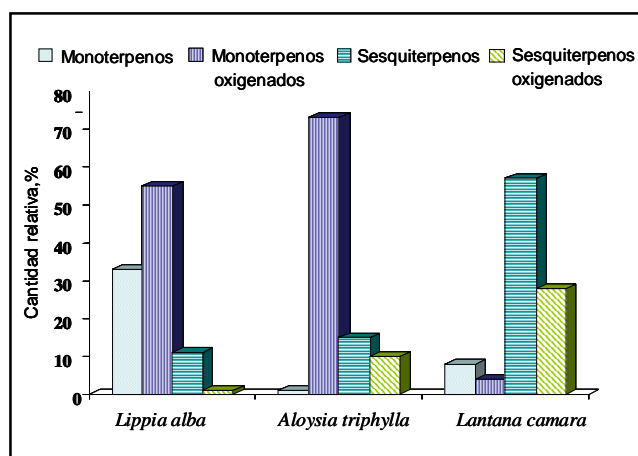
\* - Se usaron sustancias patrón;

N.I - No identificado;

\*\* - Identificado tentativamente;

notoriamente diferentes de las de los aceites esenciales (HD, MWHD) y de los extractos, obtenidos por SDE y SFE. Así, el perfume de la planta, analizado por *headspace* estático (S-HS), fue constituido predominantemente por el hexen-3-ol (ca. 20%), el α-tujeno (ca. 20%) y el sabineno (ca. 16%). La composición de la fracción volátil, obtenida por la técnica HS-SPME, en las condiciones experimentales empleadas (exposición de la fibra, 60 min), fue más cercana a la del aceite esencial, aunque permitió concentrar en mayor grado los hidrocarburos sesquiterpénicos. La composición de los volátiles, aislados por P & T, fue más cercana a la de la obtenida por S-HS.

Al hacer el análisis global de la composición de metabolitos secundarios volátiles de las tres plantas, según las principales familias de compuestos, *i.e.* hidrocarburos: monoterpenos, C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>, y sesquiterpenos, C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>, y sus análogos oxigenados, se destacan visibles diferencias (Figura 6). En la *L. alba* predominaron monoterpenos (>30%) y monoterpenos oxigenados (ca. 55%); para la *A. triphylla*, la familia de compuestos mayoritarios fue la de monoterpenos oxigenados (>70%), de los cuales, ca. 60% correspondieron al citral; mientras que la *L. camara* fue pobre en monoterpenos y sus análogos oxigenados; la mayoría de sus metabolitos secundarios fueron hidrocarburos sesquiterpénicos (ca. 60%) y sus derivados oxigenados (ca.



**Figura 6.** Distribución de las principales familias de compuestos en los aceites esenciales, obtenidos por hidrodestilación, de las tres plantas de la familia Verbenaceae.

30%). De la gran variedad de metabolitos secundarios volátiles (>60) encontrados en las tres plantas de la familia Verbenaceae, sólo el limoneno, el β-burboneno, el *trans*-β-cariofileno y su óxido, el *allo*-aromadendreno y el biciclosesquifelandreno fueron comunes a *L. alba*, *A. triphylla* y *L. camara*, siendo el último, posiblemente uno de los “marcadores” de Verbenaceae.

**Tabla 4.** Efecto protector de los aceites esenciales de *L. alba*, *A. triphylla*, *L. camara*, la vitamina E y el BHA contra la oxidación de la emulsión del ácido linoleico, inducida por O<sub>2</sub> y Fe<sup>+2</sup>.

Antioxidante, g/L	Efecto protector, % *				
	<i>L. alba</i>	<i>A. triphylla</i>	<i>L. camara</i>	Vitamina E	BHA
<i>% de la disminución del hexanal en fase vapor de la emulsión</i>					
1.0	18.7 ± 2.1	27 ± 2.3	16 ± 2.4	34.0 ± 0.51	39 ± 6.3
2.5	65 ± 1.0	39.3 ± 0.2	49.7 ± 0.7	46.0 ± 0.51	56 ± 1.7
5.0	71 ± 1.0	59 ± 4.1	72 ± 1.3	57.0 ± 0.63	51 ± 2.1
10.0	73.6 ± 0.5	71 ± 3.5	78.4 ± 0.5	62.4 ± 0.82	69 ± 2.3
20.0	72.6 ± 0.9	74.7 ± 0.2	76 ± 3.2	61 ± 3.2	-
<i>% de la disminución del hexanal en la emulsión</i>					
1.0	27 ± 1.9	10 ± 2.4	28 ± 2.4	36.1 ± 0.13	72 ± 1.5
2.5	44.9 ± 0.4	48 ± 3.6	69 ± 3.6	56.0 ± 0.51	73 ± 2.6
5.0	72 ± 1.3	65 ± 3.2	71 ± 2.3	64.4 ± 0.44	75.1 ± 0.8
10.0	78.0 ± 0.2	72 ± 2.0	85 ± 2.0	75.9 ± 0.9	76 ± 1.5
20.0	78.5 ± 0.6	68 ± 3.5	87 ± 4.3	75.5 ± 0.9	-
<i>% del ácido linoleico remanente (sin oxidar)</i>					
1.0	32 ± 1.7	50 ± 1.0	45.9 ± 0.1	23 ± 1.7	36.7 ± 0.9
2.5	69 ± 5.0	59 ± 4.2	66.7 ± 0.7	42.2 ± 0.8	38.6 ± 1.9
5.0	72 ± 4.5	63.7 ± 0.3	71 ± 1.3	55 ± 2.1	55.3 ± 0.7
10.0	84 ± 3.4	65 ± 4.7	86 ± 1.8	85 ± 2.5	63 ± 3.0
20.0	85 ± 5.0	73 ± 1.4	89 ± 3.5	72 ± 1.6	-

\* - Promedio de tres mediciones (± s)



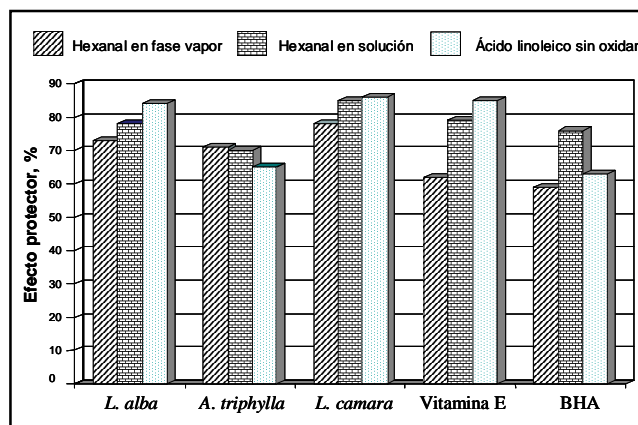
#### 4.4 Evaluación de la actividad antioxidante *in vitro* de los aceites esenciales de *L. alba*, *A. triphylla* y *L. camara*

Un área muy importante en el campo de productos naturales es la determinación de la actividad biológica de las plantas y sus extractos. Muchas plantas son una fuente valiosa de nuevos *flavours* y efectivos agentes antisépticos y antioxidantes. Los antioxidantes de origen natural se usan cada vez con mayor frecuencia no solamente en los alimentos, sino también en diferentes preparados farmacéuticos y cosméticos (Frei, 1994; Risch, 1997; Larson, 1997).

Varios ensayos han sido implementados para medir la actividad antioxidante de sustancias de origen natural. Éstos pueden ser divididos en dos grupos, así: (1) aquellos que miden la capacidad de sustancia(s) para atrapar radicales (*radical scavenging ability*); y (2) aquellos que miden la capacidad inhibitoria de la oxidación lipídica. La peroxidación puede ser inducida por diferentes métodos (Halliwell & Gutteridge, 1989), a saber: la radiólisis, la fotólisis y/o por la reacción tipo Fenton, la cual se usó en el presente estudio. También es importante tener en cuenta, que el valor medido de la actividad antioxidante depende tanto del tipo de ensayo utilizado, *i.e.* el sistema lipídico, como del modo de inducir la oxidación, y de la propiedad físico-química que se monitorea durante este proceso (Puertas *et al.*, 2002).

En este estudio, la evaluación de la actividad antioxidante (el efecto protector) de los aceites esenciales de las tres verbenaceas, se llevó a cabo en un sistema lipídico consistente en una emulsión de ácido linoleico, que fue sometida a la peroxidación “forzada”, en la presencia de O<sub>2</sub> y de los iones Fe<sup>+2</sup>. Las sustancias carbonílicas son productos secundarios finales de la peroxidación lipídica; en particular, el hexanal es el aldehído mayoritario, que se forma durante la peroxidación del ácido linoleico y su cantidad puede emplearse como indicador del avance de la oxidación. Siendo una sustancia volátil, el hexanal se midió tanto en la fase vapor de la emulsión, por HS-SPME con derivación directa sobre la fibra (Stashenko *et al.*, 2000), como en la solución, usando extracción líquido-líquido (Stashenko *et al.*, 1997, 2002). La cantidad del ácido linoleico remanente, que “sobrevive” el ataque del oxígeno, puede indicar también cuánto avanzó su oxidación en el sistema.

En la **Tabla 4** se reportan las mediciones del hexanal en la fase vapor y en la emulsión del ácido linoleico (disminución relativa de éste con respecto al blanco), junto



**Figura 7.** Efecto protector (%) de los aceites esenciales de las tres Verbenáceas, la vitamina E y el BHA, en la emulsión del ácido linoleico, medido por tres métodos diferentes (disminución del hexanal y el % del ácido linoleico sin oxidar)

con el porcentaje del ácido sin oxidar. El efecto protector de las esencias se incrementa con el aumento de su concentración en el sistema, alcanzando valores altos a las concentraciones de 10 ó 20 g/L. Los aceites esenciales de las tres plantas mostraron un efecto protector, a la misma concentración, *e.g.* 10 g/L, igual o mayor que la vitamina E y el BHA, siendo el aceite de *L. camara* el más activo de todos, seguido del aceite de *L. alba*, así como se puede apreciar en la **Figura 7**. Existen diferentes mecanismos de la actividad antioxidante, a saber: el atrapamiento (*scavenging*) de radicales, la interrupción de la reacción en cadena de la peroxidación, la formación de quelatos de iones metálicos, aceleradores de la oxidación, entre otros. En un reciente estudio Puertas *et al.* (2002) mostraron que la capacidad de los componentes del aceite esencial de *L. alba* para secuestrar radicales no fue muy alta, es decir, se activan otros mecanismos de protección contra la peroxidación. Entre éstos, *e.g.* el “sacrificio” de terpenos (hidrocarburos insaturados, compuestos mayoritarios en el aceite de *L. camara*), que se oxidan más rápido y, de esta manera, protegen o retardan la oxidación del sustrato, *i.e.* el ácido linoleico. Sin embargo, para la verificación de esta hipótesis se necesitarán experimentos adicionales.

#### Agradecimientos

A Colciencias, por su apoyo financiero (Proyectos CO 1102-05-267-97 y 1102-05-220-99). A *Khymós* Ltda., representantes de *Agilent Technologies* en Colombia, por el soporte técnico de equipos analíticos.

## Referencias bibliográficas

- Adams, R.P. 1995. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry, Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois.
- Bahl, J.R., Garg, S.N., Singh, S.C., Bansal, R.P., Naqvi, A.A. & Kumar, S. 2000. "Composition of linalool rich essential oil from *Lippia alba* grown in Indian plains" *Flavour Fragr. J.* **15**: 199-200.
- Bahl, J.R., Sinha, S., Naqvi, A.A., Bansal, R.P., Gupta, A.K. & Kumar, S. 2002. "Linalool-rich essential oil quality variants obtained from irradiated stem nodes in *Lippia alba*", *Flavour Fragr. J.* **17**: 127-132.
- Bellakhdar, J., IL Idrissi, A., Cañigueral, S., Iglesias, J. & Vila, R. 1994. "Composition of lemon verbena (*Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britton) oil of Moroccan origin", *J. Essent. Oil Res.* **6**: 523-526.
- Blanco, C., Stashenko, E.E., Combariza, M.Y. & Martínez, J.R. 1995. "Comparative study of Colombian citrus oils by high-resolution gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry", *J. Chromatogr. A.* **697**: 501-513.
- BrasiL E Silva, G.A. 1979. "O oleo essencial de *Lippia citriodora* Kunth. do Rio Grande do Sul", *Trib. Farm.* **47**(1): 3-5.
- Carnat, A., Carnat, A.P., Fraisse, D. & Lamaison, J.L. 1999. "The aromatic and polyphenolic composition of lemon verbena tea", *Fitoterapia* **70**(1): 44-49.
- Combariza, M.Y., Blanco, C., Stashenko, E.E. & Shibamoto, T. 1994. "Limonene concentration in lemon (*Citrus volcameriana*) peel oil as a function of ripeness", *J. High Resol. Chromatogr.* **17**: 643-646.
- Davies, N.W. 1990. "Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicone and Carbowax 20M phases", *J. Chromatogr.* **503**: 1-24.
- EL-Hamidi, A., Ahmed, S.S. & Shaarawy, F. 1983. "*Lippia citriodora* grown in Egypt. A new crop development", *Acta Horticulturae.* **132**: 31-33.
- Fathy, M.M. 2000. "Comparative study of essential oils from leaves and flowers of certain *Lantana* species growing in Egypt", *Bull. Fac. Pharm. Cairo Univ.* **38**(2): 105-118.
- Frankel, E.N. 1985. In: *Flavor chemistry of fats and oils*, D.B. Min, T.H. Smouse (Eds.), American Oil Chemists' Society.
- Frei, B. (Ed.) 1994. *Natural antioxidants in human health and disease*, Academic Press, New York.
- García Barriga, H. 1992. *Flora medicinal de Colombia. Botánica médica*, 2a Ed., Tercer Mundo, Bogotá.
- Godefroot, M., Sandra, P. & Verzele, M. 1981. "New method for quantitative essential oil analysis", *J. Chromatogr.* **203**: 325-335.
- Guerrera, P.M., Leporatti, M.L., Foddai, S., Moretto, D., Mercantini, R. 1995. "Antimycotic activity of the essential oil of *Lippia citriodora* Kunth. (*Aloysia triphylla* Britton)", *Rev. Italiana EPPOS.* **15**: 23-25.
- Gupta, M.P. (Ed.) 1995. *270 Plantas medicinales Iberoamericanas*, 1a Ed., CYTED-SECAB, Bogotá.
- Halliwell, B. & Gutteridge, J.M.C. 1989. *Free radicals I biology and medicine*, Clarendon Press, Oxford.
- Jennings, W. & Shibamoto, T. 1980. *Qualitative analysis of flavor and fragrance volatiles by glass capillary gas chromatography*, Academic Press, Inc., New York.
- Joulain, D. & König, W. 1998. *The Atlas of spectral data of sesquiterpene hydrocarbons*, E.B.-Verlag, Hamburg.
- Kovats, E. 1965. "Gas chromatographic characterization of organic substances in the retention index system", *Adv. Chromatogr.* **1**: 229-247.
- Larson, R.A. 1997. *Naturally occurring antioxidants*, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Lorenzo, D., Paz, D., Davies, P., Vila, R., Cañigueral, S. & Dellacassa, E. 2001. "Composition of a new essential oil type of *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown from Uruguay", *Flavour Fragr. J.* **16**: 356-359.
- Nakamura, I., Okuyama, E., Tsukada, A., Yamazaki, M., Satake, M., Nishibe, S., Deyama, T., Moriya, A., Maruno, M. & Nishimura, H. 1997. "Ateoside as the analgesic principle of Cedron (*Lippia triphylla*), a Peruvian medicinal plant", *Chem. Pharm. Bull.* **45**(3): 499-504.
- Ngassoum, M.B., Yonkeu, S., Jirovetz, L., Buchbauer, G., Schmaus, G. & Hammerschmidt, F.-J. 1999. "Chemical composition of essential oils of *Lantana camara* leaves and flowers from Cameroon and Madagascar", *Flavour Fragr. J.* **14**: 245-250.
- Oehme, M. 1998. *Practical introduction to GC-MS analysis with quadrupoles*, Hüthig, Heidelberg.
- Özek, T., Kirimer, N., Baser, K.H.C. & Tumen, G. 1996. "Composition of the essential oil of *Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britton grown in Turkey", *J. Essent. Oil Res.* **8**: 581-583.
- Pérez, S.G., Zavala, M.A., Vargas, R., Pérez, C. & Pérez, R.M. 1998. "Antidiarrheal activity of C-9 aldehyde isolated from *Aloysia triphylla*", *Phytotherapy Research* **12**(1): S45-S46.
- Pino, J.A., Ortega, A.G., Rosado, A., Rodríguez, M. & Balujar, R. 1997. "Composición y propiedades antibacterianas del aceite esencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown", *Rev. Cubana Farm.* **30**: 1-8.
- Puertas, M.P., Hillebrand, S., Stashenko, E.E. & Winterhalter, P. 2002. "In vitro radical scavenging activity of essential oils from Columbian plants and fractions from oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil", *Flavour Fragr. J.* **17**: 380-384.
- Risch, S.J. & Chi-Tang Ho (Eds.) 1997. *Spices. Flavor chemistry and antioxidant properties*, ACS, Washington.
- Rode, J. 2000. "Possibilities of *Lippia citriodora* Kunth. Cultivation in Slovenia", *Acta Horticulturae* **523**: 61-64.
- Sefidkon, F. 2002. "Essential oil of *Lantana camara* L. occurring in Iran", *Flavour Fragr. J.* **17**: 78-80.
- Senatore, F. & Rigano, D. 2001. "Essential oil of two *Lippia* spp. (Verbenaceae) growing wild in Guatemala", *Flavour Fragr. J.* **16**: 169-171.

- Silva, M.H.L., Andrade, E.H.A., Zoghbi, M.G.B., Luz, A.I.R., Silva, J.D. & Maia, J.G.S. 1999. "The essential oils of *Lantana camara* L. occurring in North Brazil", *Flavour Fragr. J.* **14**: 208-210.
- Stashenko, E.E., Acosta, R. & Martínez, J.R. 2000. "High-resolution gas-chromatographic analysis of the secondary metabolites obtained by subcritical-fluid extraction from Colombian rue (*Ruta graveolens* L.)", *J. Biochem. Biophys. Methods.* **43**: 379-390.
- Stashenko, E.E., Cervantes, M., Combariza, M.Y., Fuentes, H., Martínez, J.R. 1999. "HRGC/FID and HRGC/MSD analysis of the secondary metabolites obtained by different extraction methods from *Lepechinia schiedeana*, and *in vitro* evaluation of its antioxidant activity", *J. High Resol. Chromatogr.* **22**: 343-349.
- Stashenko, E.E., Ferreira, C., Sequeda, G., Mateus, A., Cervantes, M. & Martínez, J.R. 1997. "Desarrollo de un método para monitoreo de la degradación oxidativa en lípidos y evaluación de la actividad antioxidante de productos naturales", *Arte y Ciencia Cosmética* **12**: 20-27.
- Stashenko, E.E., Ferreira, M.C., Sequeda, L.G., Martínez, J.R. & Wong, J.W. 1997. "Comparison of extraction methods and detection systems in the gas chromatographic analysis of volatile carbonyl compounds", *J. Chromatogr. A* **779**: 360-369.
- Stashenko, E.E., Macku, C. & Shibamoto, T. 1992. "Monitoring volatile chemicals from must during yeast fermentation", *J. Agric. Food Chem.* **40**: 2257-2259.
- Stashenko, E.E., Martínez, J.R., Macku, C. & Shibamoto, T. 1993. "HRGC and GC-MS analysis of essential oil from Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. Et Thomson, *forma genuine*)", *J. High Resol. Chromatogr.* **16**: 441-444.
- Stashenko, E.E., Puertas, M.A. & Combariza, M.Y. 1996a. "Volatile secondary metabolites from *Spilanthes americana* obtained by simultaneous steam distillation-solvent extraction and supercritical fluid extraction", *J. Chromatogr. A* **752**: 223-232.
- Stashenko, E.E., Puertas, M.A. & Martínez, J.R. 2002. "SPME determination of volatile aldehydes for evaluation of *in-vitro* antioxidant activity", *Anal. Bioanal. Chem.* **373**: 70-74.
- Stashenko, E.E., Puertas, M.A., Salgar, W., Delgado, W. & Martínez, J.R. 2000. "Solid-phase microextraction with on-fibre derivatisation applied to the analysis of volatile carbonyl compounds", *J. Chromatogr. A* **886**: 175-181.
- Stashenko, E.E., Quiroz, N. & Martínez, J.R. 1996b. "HRGC/FID/NPD and HRGC/MSD study of Colombian ylang-ylang (*Cananga odorata*) oils obtained by different extraction techniques", *J. High Resol. Chromatogr.* **19**: 353-358.
- Stashenko, E.E., Torres, W. & Martínez, J.R. 1995. "A Study of the compositional variation of the essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. Et Thomson, *forma genuine*) during flower development", *J. High Resol. Chromatogr.* **18**: 101-104.
- Stashenko, E.E., Villa, H.S. & Combariza, M.Y. 1995. "Comparative study of Colombian rue oils by high resolution gas chromatography using different detection systems", *J. Microcolumn Sep.* **7**: 117-122.
- Stashenko, E.E., Wong, J.W., Martínez, J.R., Mateus, A. & Shibamoto, T. 1996c. "High-resolution gas chromatography with nitrogen-phosphorous detection of saturated volatile aldehydes derivatized with 2-hydrazinobenzothiazole", *J. Chromatogr. A* **752**: 209-216.
- Tamura, H. & Shibamoto, T. 1991. "Antioxidant activity measurement in lipid peroxidation system with malondialdehyde and 4-hydroxy nonenal", *J. Amer. Oil Chem. Soc.* **78**: 941-943.
- Tamura, H. & Yamagami, A. 1994. "Antioxidant activity of monoacylated anthocyanins isolated from Muscat Bailey A grape", *J. Agric. Food Chem.* **42**: 1612-1615.
- Umamo, K. & Shibamoto, T. 1987. "Analysis of headspace volatiles from overheated beef fat", *J. Agric. Food Chem.* **35**: 14-18.
- Vogel, H., Silva, M.L. & Razmilic, I. 1999. "Seasonal fluctuation of essential oil content in lemon verbena (*Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britton)", *Acta Horticulturae* **500**: 75-79.
- Wannmacher, L., Fuchs, F.D., Paoli, C.L., Fillman, H.S., Gianlupi, A., Lubianca Neto, J.F., Hasegawa, C.Y. & Guimarães, F.S. 1990. "Plants employed in the treatment of anxiety and insomnia: II. Effect of infusions of *Aloysia triphylla* on experimental anxiety in normal volunteers", *Fitoterapia* **61**(5): 449-453.
- Weyerstahl, P., Marschall, H., Eckhardt, A. & Christiansen, C. 1999. "Constituents of commercial Brazilian lantana oil", *Flavour Fragr. J.* **14**: 15-28.
- Zoghbi, M.G.B., Andrade, E.H.A., Santos, A.S., Silva, M.H.L. & Maia, J.G.S. 1998. "Essential oils of *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. grown wild in the Brazilian Amazon", *Flavour Fragr. J.* **13**: 47-48.
- Zygodlo, J.A., Lamarque, A.L., Maestri, D.M., Guzmán, C.A. & Grosso, N.R. 1995. "Composition of the flower oils of some *Lippia* and *Aloysia* species from Argentina", *J. Essent. Oil Res.* **7**: 593-595.
- Zygodlo, J.A., Lamarque, A.L., Maestri, D.M., Guzmán, C.A., Lucini, E.I., Grosso, N.R. & Ariza-Espinar, L. 1994. "Volatile constituents of *Aloysia triphylla* (L'Herit.) Britton", *J. Essent. Oil Res.* **6**: 407-409.



# VARIABILIDAD GENÉTICA DEL BAGRE RAYADO *PSEUDOPLATYSTOMA FASCIATUM* (PISCES: PIMELODIDAE) EN EL RÍO MAGDALENA (COLOMBIA)

por

Helena Gallo & Jaime Díaz-Sarmiento\*

## Resumen

**Gallo, H. & J. Díaz-Sarmiento:** Variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum*, (Pises: Pimelodidae) en el río Magdalena (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 599-605, 2003. ISSN 0370-3908.

La variabilidad genética del bagre rayado *Pseudoplatystoma fasciatum* fue estudiada a través del análisis de isoenzimas en 15 *loci* codificadores de proteínas en muestras de tejido hepático tomadas en tres localidades del río Magdalena. La distancia genética estándar  $D$  (0.00006-0.00041) y el índice de Fijación  $F_{ST}$  (0.006) sugieren que son muestras de un mismo linaje. Los valores promedio de heterocigocidad fueron muy bajos y no se encontró polimorfismo en ningún sistema enzimático. Los resultados soportan la idea de la existencia de una población panmictica favorecida por el aislamiento reproductivo generado por eventos geológicos durante la formación de la cuenca, por la ausencia de barreras geográficas infranqueables y el carácter migratorio de *P. fasciatum*. Sin embargo, debido a los sostenidos niveles de sobreexplotación que enfrenta el recurso y al evidente deterioro de la cuenca, surge el cuestionamiento en torno al impacto que puede estar ejerciendo la reducción en el tamaño poblacional sobre la pérdida de variabilidad genética. Se identificaron dos marcadores que pueden ser de gran utilidad para el monitoreo de la salud poblacional.

**Palabras clave:** Variabilidad genética, peces, río Magdalena, *Pseudoplatystoma*, bagre.

## Abstract

Genetic variation of *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado) was explored through allozyme analysis at 15 polymorphic protein coding *loci* in samples from three localities in the Magdalena river basin. Both the Standard genetic distance ( $0.00041 < D > 0.00006$ ) and the Fixation index ( $F_{ST}=0.006$ ) values suggest that individuals belong to the same gene pool. Mean heterozygosity

\* Centro de Investigaciones Científicas, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Calle 22 No. 3-30 Bogotá-Colombia. jaime.diaz@utadeo.edu.co

values were extremely low and no polymorphism was detected in any system. Results support the idea of a single panmictic population favored by the reproductive isolation produced by geological events during the formation history of the basin, the absence of geographic barriers and the migratory behavior of the species. However, a question rises on the impact that is being imposed by the sustained overfishing process and the evident deterioration of the basin. The two markers identified may result useful to monitor the health of the population.

**Key words:** Genetic variability, fish, Magdalena river, *Pseudoplatystoma*, bagre.

## Introducción

El estudio de la variabilidad genética constituye un factor fundamental para entender la forma como se estructuran las poblaciones de especies de peces de agua dulce y su interpretación se encuentra estrechamente relacionada con eventos geológicos en la evolución de la cuenca, con las características geomorfológicas, con aspectos biológicos de la especie, como su carácter migratorio, y con la influencia de actividades antrópicas sobre las poblaciones y su hábitat.

El nivel de conocimiento de la genética de poblaciones de la fauna íctica en los principales sistemas riberos de Suramérica, es aún incipiente y las deficiencias en la información disponible impiden el análisis histórico sobre la biogeografía de las especies (Sivasundar *et al.*, 2001) o la diferenciación de stocks o subpoblaciones con fines de manejo.

El río Magdalena es el principal sistema fluvial de Colombia y uno de los complejos acuáticos más extensos de Sudamérica, tiene una longitud de 1.540 km y una cuenca que abarca 273.350 km<sup>2</sup> (24% del territorio). En la actualidad cuenta con una ictiofauna estimada entre 190 (Mojica, 1999) y 245 especies (Álvarez-León *et al.* en prep), diversidad muy inferior a la de las cuencas del Orinoco (>1.000 especies) y Amazonas, entre 2.500-3.000 especies (Goulding *et al.*, 1996) con las cuales compartió un legado común antes del aislamiento ocasionado por el levantamiento de la cordillera de los Andes en el terciario tardío (Lundberg & Chernoff, 1992).

Aunque la evolución hacia el estado actual de los principales sistemas riberos de Suramérica comenzó con una serie de eventos tectónicos hace 89 millones de años (Ma), que culminaron con el levantamiento de la Cordillera de los Andes hace 10 Ma (Sivasundar *et al.*, 2001), no existen estudios que exploren una posible relación entre éstos y la magnitud o la distribución de la variabilidad genética en especies de la cuenca del Magdalena.

A pesar de que existen evidencias de múltiples extinciones locales en la cuenca (Lundberg & Chernoff,

1992), especies como el bagre rayado, *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), persisten como evidencia de una adaptación exitosa a las condiciones ambientales sufridas por la cuenca a lo largo de su historia geológica reciente. En el Magdalena, el bagre rayado es la especie de mayor tamaño y ocupa la posición trófica más alta entre los peces carnívoros. Presenta dos picos reproductivos bien definidos y sus migraciones estacionales aguas arriba en el canal principal del río, conocidas localmente como “subienda”, son evidentes en las capturas artesanales, las cuales se han constituido junto con las del bocachico *Prochilodus magdalena* en la base de la pesquería artesanal de la cuenca.

Las capturas de *P. fasciatum* que alcanzaron su volumen máximo de 15.960 toneladas en 1977 (Gutiérrez-Bonilla, 2000), se han visto seriamente disminuidas por motivo de la sobrepesca y del deterioro ambiental evidente que sufren hábitats en el canal principal del río y en el amplio sistema de ciénagas en su plano inundable. Durante la última década se han registrado niveles preocupantes en las capturas (Zárate *et al.*, 1988; Valderrama *et al.*, 1997) y en la actualidad se considera como especie amenazada (Mojica *et al.*, 2002). Con el fin de evitar el colapso total en las capturas, se han implementado medidas de control tradicionales (tallas mínimas, vedas, artes de pesca), pero su eficiencia es aún incierta. Sin embargo, independientemente del resultado que se obtenga a partir de las medidas de control establecidas, éstas no serán suficientes para garantizar la viabilidad del recurso sin una definición de unidades poblacionales.

En el manejo de recursos con importancia pesquera como es el caso el bagre rayado, el reconocimiento de la variabilidad genética con el objetivo de diferenciar stocks puede ser de gran utilidad, para maximizar de manera sostenible el rendimiento de las capturas e identificar el impacto de actividades antrópicas en procesos ecológicos y evolutivos (Moritz *et al.*, 1995), ya que es al nivel de stock donde se establecen las variaciones genéticas y la diversidad intraespecífica necesaria, para responder a condiciones ambientales particulares e incrementar la habilidad para soportar perturbaciones ocasionadas por pesca o degradación del hábitat (Stepien, 1995).

Si se considera que la variabilidad genética refleja de manera importante la historia evolutiva de la especie y representa su probabilidad de adaptación y persistencia, resulta fundamental su exploración como requisito indispensable para su conservación y uso, tal como lo propone la Política Nacional de Biodiversidad (MINAMBIENTE, 1997). Dilucidar la estructura poblacional e identificar las características de la variabilidad genética que permiten a especies con poblaciones amenazadas, como el bagre rayado (Mojica *et al.*, 2002) responder a condiciones ambientales particulares e incrementar la habilidad para soportar problemas de contaminación, como los que enfrenta la cuenca del Magdalena, resulta indispensable en la implementación de estrategias de conservación y manejo.

El estudio planteó la exploración de patrones particulares en la variabilidad genética de *P. fasciatum*, a través del análisis de isoenzimas en muestras de tejido hepático tomadas en tres puntos de la cuenca, y se constituyen en la primera aproximación al tema en la cuenca del Magdalena. Los resultados obtenidos brindan la oportunidad de introducir la reflexión sobre la forma como se establecen las poblaciones de peces migratorios en la cuenca, los factores que pueden afectar la variabilidad genética y su incidencia en la construcción de estrategias de conservación y manejo efectivas de los recursos pesqueros continentales en el país.

## Materiales y métodos

Las muestras de tejido hepático se recolectaron durante el segundo semestre de 1999 en tres localidades sobre el río Magdalena (Figura 1). En el momento de la extrac-

ción las muestras se refrigeraron en hielo seco para su transporte al laboratorio, donde fueron maceradas en solución  $K_2HPO_4$  0,1M y congeladas a  $-40^{\circ}C$ .

Durante el estudio se efectuó electroforesis horizontal en gel de almidón al 10% para 15 loci codificadores de proteínas (Tabla 1). Se emplearon los sistemas buffer Tris-bórico EDTA (pH 9.0), Tris-cítrico (pH 7.1) (Murphy *et al.*, 1996); TBE alcalino (pH 8.6), Tris-HCl (pH 8.6)

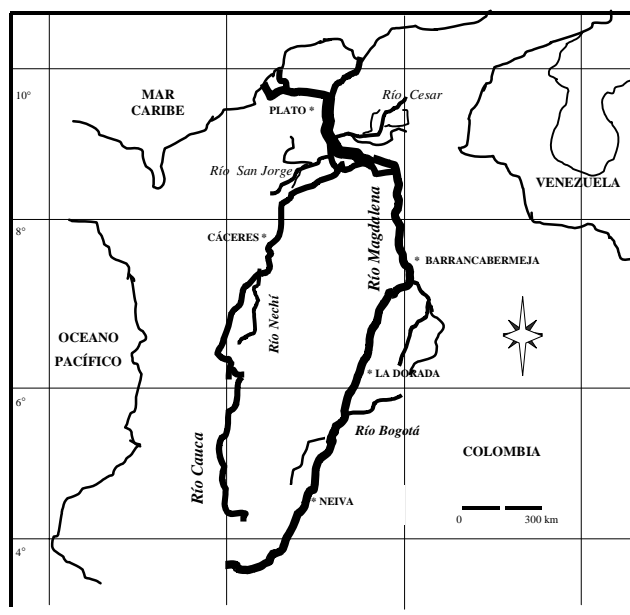


Figura 1. Localización geográfica de las áreas de muestreo sobre el río Magdalena (Plato, Dorada y Barrancabermeja) y localidades hasta donde se distribuye la especie (Cáceres y Neiva).

Tabla 1. Sistemas enzimáticos y loci analizados

Código	Locus	Sistema Enzimático
1.1.1.37	MDH*	Malato dehidrogenasa
1.1.1.204	XDH*	Xantina dehidrogenasa
1.1.1.27	LDH*	Lactato dehidrogenasa
1.1.1.42	IDH*	Isocitrato dehidrogenasa
1.1.1.14	IDDH*	Sorbitol dehidrogenasa
3.1.1.-	aEST*	Alfa Esterasa
1.1.1.8	aGPDH-1*	Alfa Glicerofosfato
	aGPDH-2*	
1.1.1.49	GCDH*	Glucosa fosfato dehidrogenasa
	AO*	Aldehído oxidasa
1.1.1.1	ADH-1*	Alcohol dehidrogenasa
	ADH-2*	
1.1.1.73	ODH-1*	Octanol dehidrogenasa
	ODH-2*	
1.15.1.1	SOD*	Superóxido dismutasa

(Ramírez, 1993). La tinción se realizó de acuerdo con el método de Murphy *et al.*, (1996) y la nomenclatura para los diferentes loci y proteínas siguió lo sugerido por Shaklee *et al.* (1990).

Las frecuencias alélicas se calcularon directamente a partir de los genotipos observados. La distribución de estas frecuencias se comparó con la esperada en el equilibrio de Hardy-Weinberg (Chakraborty & Leimar, 1987; Nei, 1987). Un locus fue asumido como polimórfico en cada población si la frecuencia del alelo más común no sobrepasaba el valor de 0.95 (Sato & Masuda, 1997). La prueba de homogeneidad de las frecuencias alélicas se efectuó mediante el estadístico  $G$  (Sokal & Rohlf, 1979). El índice de fijación ( $F_{ST}$ ) se calculó mediante  $F_{ST} = (H_T - H_S) / H_T$  (Nei, 1987; Hartl & Clark 1989) y la prueba de chi-cuadrado se realizó según Röhner *et al.* (1997)  $F_{ST} X^2 \approx 2NF_{ST}(K-1)$ . La distancia genética estándar ( $D$ ) fue establecida a partir de  $D = -\ln(I)$  (Nei, 1972; 1987) y la migración genética ( $N_m$ ) se estableció a través de  $F_{ST} = 1 / (4N_m + 1)$  (Allendorf & Utter, 1979; Chakraborty & Leimar, 1987).

## Resultados

En los 216 individuos analizados no se encontró polimorfismo para ningún sistema. En la localidad de Plato se expresó de manera exclusiva el alelo \*101 para  $IDH^*$  y  $MDH^*$  y en La Dorada y Barrancabermeja el alelo \*99 (Tabla 2).

Los valores de heterocigocidad para los 15 loci analizados fueron muy bajos en general con un promedio de 0.0039 (Tabla 3). Los genotipos observados fueron consistentes con lo esperado en el equilibrio de H&W para  $IDH^*$  y  $MDH^*$ . La prueba de homogeneidad de las frecuencias alélicas no reveló diferencias significativas para estos loci. Por otra parte, el índice de fijación se aproximó a  $F_{ST} = 0$ , lo cual indicó baja variabilidad genética (Tabla 3).

La distancia genética estándar  $D$  en las áreas estudiadas fue baja (0.00006 - 0.00041) (Tabla 4) y el flujo génico arrojó un valor de  $Nm = 40$

**Tabla 2.** Frecuencias alélicas en los 12 sistemas enzimáticos presentes en las tres localidades.

PLATO-MAGDALENA															
ALELOS	MDH	GCDH	aGPDH-1	aGPDH-2	IDH	LDH	a EST	XDH	IDDH	AO	ODH-1	ODH-2	ADH-1	ADH-2	SOD
*101	0.0161				0.008										
*100	0.9839	1	1	1	0.992	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	42	62	42	62
BARRANCABERMEJA-SANTANDER															
*100	1	1	1	1	0.985	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
*99					0.015										
N	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	57	65	58	65
LA DORADA-CALDAS															
*100	0.9944	1	1	1	0.972	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
*99	0.0056				0.028										
N	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89

**Tabla 3.** Índice de fijación ( $F_{ST}$ ) y prueba de homogeneidad ( $G$ )

LOCUS	$F_{ST}$	$G$
MDH*	0.0069	6.7830
IDH*	0.0059	7.8220
General	0.0062	-

$P < 0.05$

**Tabla 4.** Identidad genética ( $I$ ) (sobre la línea) y distancia genética estándar ( $D$ ) (abajo de la línea).

PLATO	BARRANCABERMEJA	DORADA
EL PLATO	0.99978	0.99959
BARRANCA BERMEJAMEJA	0.00022	0.99994
DORADA	0.00041	0.00006



## Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una variabilidad genética muy baja y sugieren la existencia de una población panmíctica, sin grupos locales genéticamente establecidos. Estos resultados que pueden estar asociados con una multiplicidad de factores (ej.: tamaño y estructura poblacional, patrones de migración, sistema de apareamiento y reproducción, estrategia reproductiva, heterogeneidad de hábitat, interacciones tróficas) que son difíciles de evaluar a la luz del conocimiento existente sobre la especie. Sin embargo, si se considera que la variabilidad genética es el resultado de la interacción histórica y actual de los individuos con el ambiente, resulta útil analizar los resultados obtenidos en función de algunos factores relacionados con la historia geológica de la cuenca, la biología de la especie y la influencia antrópica.

El levantamiento tectónico de la cordillera de los Andes, hace 10.5 Ma, ocasionó no sólo cambios en los factores generadores de heterogeneidad en el paisaje de la cuenca (pendiente, sustrato mineral, barreras geográficas, vegetación), sino que de manera fundamental aisló reproductivamente a la población de *P. fasciatum* en el Magdalena con otras poblaciones conespecíficas en las cuencas de la Amazonia y Orinoquia. Este aislamiento que erosionó la diversidad íctica del Magdalena (Lundberg, 1998; Lundberg *et al.*, 1998; Lundberg & Chernoff, 1992), sometió a las poblaciones de peces remanentes en la cuenca a la necesidad de asimilar nuevas condiciones (ej.: hábitat, aspectos demográficos, relaciones interespecíficas), lo cual fue logrado exitosamente por *P. fasciatum*, pero no por otras especies que compartían su rango de distribución original (*Arapaima* sp., *Colossoma* sp., *Brachyplatystoma* sp.), que se extinguieron localmente del Magdalena, pero que persisten actualmente en el Amazonas y el Orinoco (Lundberg & Chernoff, 1992).

Considerando que la fragmentación del hábitat es un factor determinante en el establecimiento de la variabilidad genética (Chakravorty & Leimar, 1987; Hartl & Clark, 1989), la interrupción del flujo génico con individuos que hacían parte de un paisaje mucho más amplio y diverso como las cuencas del Orinoco y Amazonas, puede haber propiciado un proceso de erosión genética, como el que se evidencia en los resultados obtenidos. Sin embargo, resulta importante considerar que la erosión genética no es el único proceso posible a partir de un aislamiento geográfico y reproductivo de una población, ya que a estos eventos puede seguirle una divergencia en el pool génico (Dobzhansky, 1972), que en el caso particular, podrían ser responsables de la variabilidad existente y de la presencia de alelos específicos diferentes a los que se

expresan en la cuenca del Orinoco para la misma especie (Escobar, 2001).

Otro factor que debe ser considerado para entender la variabilidad genética baja encontrada, es la carencia de barreras geográficas reconocibles en el paisaje actual de la cuenca, lo cual habría actuado a favor de un flujo génico alto como el encontrado y en la prevención del establecimiento de subpoblaciones. Así mismo, a pesar de la incertidumbre que aún existe sobre algunas particularidades de los movimientos estacionales de *P. fasciatum* (extensión, frecuencia de migración individual, fidelidad espacial), el carácter migratorio de la especie como factor facilitador del flujo génico, puede ser a su vez co-responsable de la alta homogeneidad encontrada.

Aun cuando la variabilidad genética baja puede ser el resultado de eventos naturales en la historia evolutiva y adaptativa de la especie, o de su carácter migrador, los resultados obtenidos pueden estar asociados con fenómenos recientes de origen antrópico como la sobrepesca y el deterioro de la cuenca, los cuales son ampliamente reconocidos como precursores en la pérdida de variabilidad genética (Reeves *et al.*, 1995).

La sobrepesca en el Magdalena es evidente y a pesar del establecimiento de épocas de veda, regulación de artes de pesca y establecimiento de tallas mínimas de captura, la población se ha reducido drásticamente. Las tallas medias de las capturas sugieren desde 1987 un alto riesgo para la renovación natural (Zárate *et al.*, 1987) que se acentúa con el tiempo (Zárate, 1991; Moreno *et al.*, 1993) y el volumen de capturas máximo alcanzado en 1977 de 15.960 ton. ha disminuido de una manera progresiva durante las décadas subsiguientes (1.509 ton. en 1986 y 398 ton. en 1995) hasta alcanzar un mínimo registrado de 173 ton (Gutiérrez-Bonilla, 2000), con lo cual se plantea la existencia de un fenómeno de “cuello de botella”. Ante esta situación, los resultados encontrados pueden estar reflejando una reducción en la variabilidad genética, ocasionada por endogamia y deriva genética, consideradas ambas como causas principales de esta situación en especies explotadas a nivel pesquero (Allendorf & Utter, 1979).

En este momento no se puede determinar con certeza si las reducciones en la abundancia de individuos ha influido en la pérdida de variabilidad genética, sin embargo, cuando la reducción de tamaños poblacionales genera “cuellos de botella” por periodos de tiempo prolongados, los riesgos de pérdida de variabilidad genética, potencial adaptativo y deterioro en la salud de la población son altos. En el caso de *Pseudoplatystoma fasciatum*, se

ha establecido que 10 años o 3 generaciones podrían ser suficientes para ocasionar problemas de vulnerabilidad para la población (Froese & Pauly, 2002). Dilucidar este aspecto resulta fundamental en la medición de la efectividad que tienen las acciones de manejo actuales, ya que si se demuestra un impacto real en la estructura genético-poblacional, esto implicaría un efecto negativo e importante en la adaptabilidad y en el legado evolutivo de la especie, además de la permanencia del recurso como tal y sería conveniente reconsiderar la manera como se plantea su manejo para garantizar la viabilidad del recurso.

Así mismo, aunque no existen estudios particulares que relacionen de manera directa la disminución del tamaño poblacional de *P. fasciatum* con el gran deterioro que está sufriendo la cuenca (Cala, 1987), es bien conocido que al igual que la sobrepesca, factores como la contaminación o la pérdida de hábitats fundamentales durante alguna parte del ciclo de vida de la especie, actúan sobre la disminución de tasas de reproducción y sobrevivencia, que inciden en la disminución de tamaños poblacionales (Stepien, 1995) y en la pérdida de variabilidad genética (Gaggiotti & Vetter, 1999). La alteración por contaminación o taponamiento de hábitat (Bisson, 1995), como las ciénagas, fundamentales para la permanencia en la cuenca de especies como *P. fasciatum* (Lundberg & Chernoff, 1992), afecta la amplitud de nicho, y esto puede contribuir a que se den niveles tan bajos de heterocigocidad y polimorfismo como los obtenidos.

Existen evidencias teóricas y empíricas de la gran importancia que tiene la variabilidad genética en la adaptación y persistencia de una especie, y los resultados obtenidos parecen sugerir que en *P. fasciatum* ésta condición está asociada con una variabilidad genética baja. Sin embargo, aunque la alta homeogeneidad poblacional en los individuos analizados no es extraña en un ambiente con pocas barreras geográficas identificables, como es la cuenca del Magdalena, y con una especie migratoria como el *P. fasciatum*, esta no debe ser interpretada como una respuesta definitiva en torno de la estructura poblacional. La alta homeogeneidad genética debe ser considerada como un factor que incrementa la vulnerabilidad de la especie y los resultados obtenidos deben dar lugar a una exploración más precisa del efecto que pueden estar ejerciendo sobre la variabilidad genética de la especie, factores de origen antrópico como los mencionados anteriormente.

La búsqueda de una interpretación para los resultados del estudio, conduce sin duda al cuestionamiento sobre la forma como se considera la estructura y dinámica de los recursos pesqueros dentro de los sistemas de manejo

actuales en Colombia y nos brinda una oportunidad para la reflexión sobre la necesidad de incorporar enfoques poblacionales más complejos y pertinentes.

### Agradecimientos

A Colciencias y a la Universidad Jorge Tadeo Lozano por la financiación del proyecto, a Alirio Montañón por guiar el trabajo de análisis de las muestras y aportar comentarios útiles durante el análisis de los datos, al Dr. Arturo Acero por sus comentarios a lo largo del trabajo y a Pedro Bonfante, William Escorcía y Flor Molla por su colaboración en la recolección de las muestras. Agradecemos también al Dr. Abdón Cortés, a Gloria Vargas y al personal del Centro de Investigaciones Científicas de la UJTL por su colaboración a lo largo de la investigación.

### Referencias bibliográficas

- Allendorf F. W & F. M. Utter. 1979. Population genetics. Pp. 407-454 in D. J. Randall, J. S. Hoar, and R. Brett, eds. Fish Physiology. Academic Press, New York.
- Bisson, P. 1995. Ecosystem and habitat conservation: More than just a problem of geography. En: evolution and the Aquatic Ecosystem, Defining Unique Units in Population Conservation, Nielsen J. & D. Powers (Ed). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 17:329-333.
- Cala, P. 1987. La ictiofauna dulceacuática de Colombia: Una visión histórica y su estado actual. Separata: Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 16(62): 69-84.
- Chakraborty R., & O. Leimar. 1987. Genetic variation within a subdivided population. Pp. 89-120. in N. Ryman, and F. Utter eds. Population genetics and fisheries management. University of Washington Press, Seattle.
- Dobzhansky T. 1972. Species of *Drosophila*. Science 177: 664-669
- Escobar, D. 2001. Variabilidad genética de los Bagres *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pseudoplatystoma tigrinum* en la Orinoquia Venezolana y sus implicaciones de manejo. Tesis de Maestría Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora" UNELLEZ, Guanare, Venezuela 90p.
- Froese, R. & Pauly, D. Editors. 2002. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org. 30 September 2002.
- Gaggiotti, O. E. & Vetter, R. D. 1999. Effect of life history strategy, environmental variability, and overexploitation on the genetic diversity of pelagic fish populations. Can. J. Aquat. Sci., 56:1376-1388.
- Goulding M., N. Smith & D. Mahar. 1996. Floods of Fortune. Columbia University Press, New York, 180p.
- Gutiérrez-Bonilla F. 2000. El Río Grande de la Magdalena. Ministerio del Medio Ambiente, Dirección de Ecosistemas, Informe Técnico, s.p.
- Hartl, D. L., & A. G. Clark. 1989. Principles of population genetics. 2 ed. Sinauer Associates.

- INPA, 1998. Boletín Estadístico Pesquero. Bogotá, 114p.
- Lamus E., & C. Beltrán. 1975. Contribución al conocimiento de la biología del bagre pintado *Pseudoploystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766) y su importancia pesquera. Medellín.
- Lundberg, J. G. 1998. The temporal context for the diversification of neotropical fishes. Pp. 49-68 in L. R. Malabarba, R. E. Reis, R. P. Vari et al. eds. Phylogeny and classification of neotropical fishes. Edipucrs. Porto Alegre.
- L. G. Marshall, J. Guerrero, B. Horton, M. C. Malabarba, & F. Wesselingh. 1998. The stage for neotropical fish diversification: An history of tropical South American rivers. Pp. 13-48 in L. R. Malabarba, R. E. Reis, R. P. Vari et al. eds. Phylogeny and classification of neotropical fishes. Edipucrs. Porto Alegre.
- & B. Chernoff. 1992. A Miocene Fossil of the Amazonian Fish *Arapaima* (Teleostei, Arapaimidae) from Magdalena river region of Colombia-Biogeographic and evolutionary implications. *Biotrópica* 24(1): 2-14.
- MINAMBIENTE, 1997. Reporte Nacional de la Biodiversidad. Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, 3 Tómos.
- Mojica, J.I, 1999. Lista preliminar de las especies de peces dulceacuícolas de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Volumen XXIII. Bogotá, Colombia.
- C. Castellanos, J.S.Usma & R. Álvarez-León. 2002. Libro Rojo de Peces Dulceacuícolas de Colombia. Serie de Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia/Ministerio del Medio Ambiente/Instituto Alexander Von Humboldt, Editorial Panamericana, Bogotá, 285p.
- Moreno C., M. Valderrama & C. Beltrán., 1993. Epocas de reproducción, tallas medias de madurez gonadal y análisis de la problemática con referencia a las tallas de captura del bagre rayado (*Pseudoploystoma fasciatum*) en el Medio Magdalena, sector de Barrancabermeja. INPA, Bogotá, Inform Técnico. 23 p.
- Moritz C., S.Lavery & R. Slade. 1995. Using Allele Frequency and Phylogeny to Define Units for Conservation and Management. En: Evolution and the Aquatic Ecosystem, Defining Unique Units in Population Conservation, Nielsen J & D. Powers (Ed). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 17: 249-262.
- Murphy R. W., J. W. Sites, D. G. Buth, & C. H. Haufler. 1996. Proteins: Isozyme electrophoresis. In Molecular systematic. 2ed. Sinauer Associates Inc. Massachusetts.
- Nei M. 1972. Genetic distance between populations. *American Naturalist* 106:283-293.
- . 1987. Molecular evolutionary genetics. Columbia University Press. New York.
- Ramírez H. 1993. Características genéticas, moleculares e Fisiológicas de *Callophysus macroperus* (Siluriformes, Pimelodidae) do Rio Solimoes e do Rio Negro (Amazônia Central). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia Universidade Federal do Amazonas.
- Reeves, G. H. L. E. Brenda, K. M. Burnett, P. A. Bisson & Sedell, J. R. 1995. A disturbance-based ecosystem approach to maintaining and restoring freshwater habitats of evolutionary significant units of Anadromous Salmonids in the Pacific Northwest. En: Evolution and the Aquatic Ecosystem, Defining Unique Units in Population Conservation, Nielsen J & D. Powers (Ed). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 17:334-349.
- Röhner M., R. Bastrop & K. Jürss. 1997. Genetic differentiation in *Hediste diversicolor* (Polychaeta: Nereididae) for the North Sea and the Baltic Sea. *Marine Biology* 130: 171-180.
- Sato M., & Y. Masuda. 1997. Genetic differentiation in two sibling species of the brackish-water polychaete *Hediste japonica* complex (Nereididae). *Marine Biology* 130: 163-170.
- Shaklee J. B., F. W. Allendorf, D. C. Morizot, & G. S. Whitt. 1990. Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Transactions of the American fisheries Society*. 119: 2-15.
- Sivasundar A., B. Eldredge & G. Orti. 2001. Population structure and biogeography of migratory freshwater fishes (*Prochilodus*: Characiformes) in major South American rivers. *Molecular Ecology* (2001) 10, 407-417.
- Sokal R. R., & F. J. Rohlf. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H. Blume. Madrid.
- Stepien C.1995. Population genetic divergence and geographic patterns from DNA sequences: examples from marine and freshwater fishes. En: Evolution and the aquatic ecosystem, defining unique units in population conservation, Nielsen J & D. Powers (Ed). American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 17: 263-287.
- Valderrama M., I., Beltrán, & C. Moreno. 1997. Épocas de reproducción, talla media de madurez gonadal y análisis de la problemática con referencia a las tallas de captura del bagre rayado *Pseudoploystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766), en el medio Magdalena, Sector Barrancabermeja. IV Simposio colombiano de Ictiología 75.
- Zárate M. 1991. Estimación del crecimiento y mortalidad del bagre pintado (*Pseudoploystoma fasciatum*) en la parte baja de la cuenca del río Magdalena y su relación con el grado madurez sexual. INDERENA, Cartagena, Informe Técnico. 59 p.
- . M. Valderrama, G.Vera & C. Moreno. 1987. Talla media de madurez y talla media de captura del bagre rayado (*Pseudoploystoma fasciatum*) en la cuenca del Magdalena, y análisis de su problemática. INDERENA, Cartagena, Informe Técnico. s.p.
- . J. Martínez, & P. Caraballo. 1988. Captura y esfuerzo pesquero en la Cuenca del Río Magdalena y su sistema de planos inundables durante la subienda 1987 y estado actual de sus pesquerías. INDERENA, Cartagena.



# TWO ADDITIONAL NEW SPECIES OF *ELEUTHERODACTYLUS* (LEPTODACTYLIDAE) FROM SOUTHWESTERN COLOMBIA

por

John D. Lynch & Ángela M. Suárez-Mayorga<sup>1</sup>

## Resumen

**Lynch, J. D. & A. M. Suárez-Mayorga:** Two additional species of *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) from southwestern Colombia. Rev. Colomb. Cienc. **27** (105): 607-612, 2003. ISSN 0370-3908.

Se describen dos especies del género *Eleutherodactylus* y del grupo *unistrigatus* de la zona andina en el sur de Colombia. Una se halla de 1500 a 2600 m en el occidente del Caquetá y en el Huila adyacente—esta especie está más relacionada con *E. chloronotus* y *E. vicarius*. La otra es conocida en dos localidades muy cercanas en el departamento del Cauca y parece ser la especie hermana de *E. spinosus* de los flancos orientales de los Andes en el sur del Ecuador.

**Palabras clave:** Andes, *Eleutherodactylus*, sistemática, taxonomía.

## Abstract

Two new species of the *unistrigatus* group of *Eleutherodactylus* are described from the Andes in southern Colombia. One is known from 1500 to 2600 m in western Caquetá and adjacent Huila—this species is related to *E. chloronotus* and *E. vicarius*. The other is known from two localities in northern Depto. de Cauca and appears to be the sister species of *E. spinosus*, known from the eastern flanks of the Andes in southern Ecuador.

**Key words:** Andes, *Eleutherodactylus*, systematics, taxonomy.

## Introduction

The two species described herein have few commonalities—each is a member of the subgenus *Eleutherodactylus* and each was first collected in the 1980s when

fieldwork was still safe in southwestern Colombia. One has been mentioned previously in the literature (Suárez, 2000) but the other has resided quietly in the Amphibian collection of the National University for over 20 years. Our interest in these two species derives from a desire to

<sup>1</sup> Laboratorio de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

complete the amphibian inventory but also because we think we can place each phylogenetically.

### Materials and methods

Terminology follows **Lynch & Duellman** (1997). In the species accounts, the following abbreviations are used: E-N, eye to nostril distance, HW, greatest head width, IOD, interorbital distance, SVL, snout-vent length. When samples merit, means are reported as  $\pm$  one standard error of the mean.

*Eleutherodactylus corniger* sp. nov.

*E. (leutherodactylus)* sp. 2: **Suárez**, 2000: 400.

**Holotype:** ICN 22867, an adult female, one of a series collected 1 July 1989 by J. D. Lynch, J. H. Restrepo, and P. M. Ruiz (field number JDL 17308).

**Paratopotypes:** ICN 22868, 22871-72, 22875, 22879-80.

**Paratypes:** COLOMBIA, Caquetá, Mpio. Florencia, 3.1 km E Alto de Gabinete, 2260-2270 m (ICN 22886-87, 22890, 22893-94, 22896-98, 22903, 22910-11, 22916, 22918, 24201), 5.0 km E Alto de Gabinete, 2100 m (ICN 24207), 5.8 km E Alto de Gabinete, 2070 m (ICN 24211-14, 24216, 24219-21, 24227), 8.6 km E Alto de Gabinete, 2040 m (ICN 22924-27, 22932, 22934, 22939), Mpio. San Vicente de Caguán, Insp. Policía Guayabal, entre vereda la Esperanza y San Jorge, 1500 m (ICN 42850). Huila, Mpio. Gigante, Reserva Forestal Ventana, 2500-2600 m (ICN 42858-59), Mpio. Palestina, Parque N. N. Los Guacheros (ICN 47900).

**Type-locality:** COLOMBIA, Departamento de Caquetá, Municipio de Florencia, vereda Gabinete, 0.7 km E límite Huila—Caquetá, 2340-2370 m.s.n.m.

**Referred Specimens** (juveniles): COLOMBIA, Caquetá, Mpio. Florencia, 0-7-1.1 km E Alto de Gabinete, 2300-2380 m (ICN 22869-70, 22873-74, 22876-78, 22881-85, 24200), 3.1 km E Alto de Gabinete, 2260-2270 m (ICN 22888-89, 22891-92, 22895, 22899-902, 22904-09, 22912-15, 22917, 22919, 24202-06), 5.0 km E Alto de Gabinete, 2100 m (ICN 24207-08), 5.8 km E Alto de Gabinete, 2070 m (ICN 24210, 24215, 24217-18, 24222-26), 8.6 km E Alto de Gabinete, 2040 m (ICN 22921-23, 22928-31, 22933, 22935-38, 22940-45).

**Etymology:** Latin, meaning bearing horns, in reference to the conical tubercles on the upper eyelids.

**Diagnosis:** (1) Skin of dorsum smooth with low tubercles on upper flanks and lower back, that of venter

areolate; low dorsolateral and postocular folds; (2) tympanum prominent, round, small, 1/3 eye length; (3) snout long, subacuminate in dorsal view, round in lateral profile; canthus rostralis evident, edge rounded, strongly concave; lips not flared; (4) IOD broader than upper eyelid, no cranial crests; conical tubercle on upper eyelid; (5) vomerine odontophores prominent, subtriangular in outline in females, oval in males, narrowly separated; males with vocal slits, nuptial pads; (7) first finger shorter than second, round, broad disks on fingers 2-4; (8) fingers lack lateral fringes; (9) 2-3 low ulnar tubercles; (10) conical tubercle on heel, series of subconical tubercles along outer edge of tarsus, one tubercle on inner edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner elongate, outer conical, 1/5 to 1/6 size of inner; few supernumerary plantar tubercles; toes bearing low lateral fringes, no webbing; toe disks smaller than those of fingers, Toe V long, nearly reaching distal subarticular tubercle of Toe IV; (13) dorsum lacking pattern (green or brown in life) or consisting of interorbital bar, occipital W and sacral chevron; flanks and thighs boldly barred with black; venter cream with brown spotting/reticulum; (14) adults moderate-sized, males 22.1-28.1 (mean  $25.2 \pm 0.4$ ,  $N = 16$ ) mm SVL, females 29.4-38.1 (mean  $34.4 \pm 0.4$ ,  $N = 25$ ) mm SVL.

*Eleutherodactylus corniger* is most similar to, and presumably related to, *E. chloronotus* and *E. vicarius* but differs from each in having conical tubercles on the upper eyelid and heel, subconical tubercles along the outer edge of the tarsus, and dorsolateral folds (Figures 1A-B). The prominent black bars on the thighs and flanks readily distinguish *E. corniger* from the other two species. It is like *E. vicarius* in having a strongly concave canthus rostralis.

**Description** (proportions are based on 16 males and 16 females): Head as broad as body, broader than long; HW 34.7-39.5 (mean  $37.3 \pm 0.3$ ) % SVL in males, 35.6-40.1 (mean  $38.0 \pm 0.3$ ) % in females; snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile, bearing feeble point at tip; E-N 76.3-91.9 (mean  $84.4 \pm 1.2$ ) % eye length in males, 68.8-93.3 (mean  $83.8 \pm 1.6$ ) % in females; nostrils directed dorsolaterally, weakly protuberant; canthus rostralis sharply concave, edge sharp to rounded; loreal region concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; conical tubercle on posterolateral surface of upper eyelid; interorbital region flat, no cranial crests; upper eyelid width 76.9-100.0 (mean  $88.2 \pm 1.7$ ) % IOD in males, 78.4-100.0 (mean  $89.9 \pm 1.7$ ) % in females; postocular folds prominent, bearing 1-2 subconical tubercles; tympanum round, its length 25.0-33.3 (mean  $28.8 \pm 0.8$ ) % eye length in males, 26.5-38.1 (mean  $30.4 \pm 0.9$ ) % in females, separated from eye by  $1 \frac{1}{2}$  tympanum diameters; supratympanic fold thick,



**Figure 1.** *Eleutherodactylus* from the Andes of southern Colombia. **A.** *E. corniger*, ICN 22867; **B.** *E. corniger*, ICN 22868; **C.** *E. epacrus*, ICN 24113; **D.** *E. taciturnus*, ICN 11688. Photos A-C by JDL, D by Pedro M. Ruiz-C.

bearing 1-2 subconical tubercles; 1-2 subconical postrictal tubercles; ventrolateral edge of lower lip bearing small tubercles, most evident posteriorly; choanae round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, separated medially by distance equal  $\frac{1}{2}$  width of an odontophore, each larger than a choanae, oval in males, subtriangular in outline in females, bearing up to 6 teeth in a slanted row; tongue oval, posterior  $\frac{1}{3}$  not adherent to floor of mouth, posterior edge not notched; long vocal slits lateral to tongue, vocal sac subgular.

Skin of dorsum smooth except for low tubercles on lower back and somewhat more prominent tubercles on flanks; discoidal folds low, well anterior to groin; no anal sheath; pair of small subanal tubercles; 2-3 ulnar tubercles, more prominent distally; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar tubercle; supernumerary palmar tubercles

low, flat, smaller than subarticular tubercles; subarticular tubercles round, nonconical; indistinct lateral keels on fingers; disks on fingers 2-4 round, nearly three times as wide as digit below disk, that on thumb twice as wide as digit; low tubercles borne on low fold on distal  $\frac{1}{3}$  of inner edge of tarsus; 2-3 more pungent tubercles along outer edge of tarsus; conical tubercle on heel; inner metatarsal tubercle three times as long as wide, 6-8 times size of conical outer metatarsal tubercle; supernumerary plantar tubercles barely evident at bases of toes; subarticular tubercles longer than wide, nonconical; thin lateral fringes on toes, also along outer edge of toe V with small tubercles along outer edge of sole; basal web only between toes IV and V; Toe V reaches or almost reaches distal subarticular tubercle of Toe IV; hindlegs long, heels overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane, shank 46.3-57.3 (mean  $53.1 \pm 0.8$ ) % SVL in males, 48.9-59.0 (mean  $53.1 \pm 0.7$ ) % in females.

**Coloration in alcohol:** Dorsal surfaces cream to brown, sometimes devoid of dark markings but usually with reddish brown to dark brown markings; maximally, pattern consists of interorbital bar, occipital W, and sacral and inguinal chevrons as well as slightly oblique limb bars; canthal stripe, supratympanic fold, and two labial bars reddish brown to brown; dark brown to black slanting bars on lower flanks, separating cream spots, similar pattern on anterior surfaces of thighs; posterior surfaces of thighs (and tops of thighs) bearing black bands, separated by cream areas; anal triangle prominent; ventral surfaces cream with faint brown mottling to heavily mottled and reticulated with brown; underside of shank dark brown with cream spots.

**Coloration in life:** Bright lime-green to brown, with or without dark brown dorsal markings; groin and concealed limbs white with black cross bars; dorsolateral folds often with pale orange cast; venter usually white with black markings, other ventral surfaces pale brown or with brown/black spots; in some, venter is cream to nearly yellow with few brown flecks; upper iris nearly white, reddish brown horizontal streak, lower iris gray-brown (JDL fieldnotes, 1 July 1989).

**Measurements of holotype in mm.:** SVL 34.0, shank 17.9, HW 12.8, head length 12.0, chord of head length 13.0, upper eyelid width 3.0, IOD 3.3, tympanum length 1.3, eye length 4.3, E-N 3.5.

**Natural history:** In the vicinity of the type-locality, *E. corniger* was the most abundant frog found. Individuals were found in the forest along streams as well as on vegetation alongside the road. A few individuals were found by day, beneath rocks—all others were active on vegetation. No reproductive activity was observed. Nevertheless, males are adult and reproductively active (enlarged testes, nuptial pads) and adult females were found at most localities. Females smaller than 28.3 mm SVL are juveniles (straight, non dilated oviducts, minute eggs).

**Distribution:** In the vicinity of the type-locality, *E. corniger* occurs only above 2000 m (2040-2380 m). The record from the Parque N. N. Los Guacheros (Huila) lacks altitudinal data but probably falls in this range as well. The record from Municipio Gigante (Huila) is from yet higher elevations (2500-2600 m) on the western flank of the Cordillera Oriental. ICN 42850 was collected in Caquetá (San Vicente de Caguán) at lower elevations (1500 m) on the eastern flank of the cordillera. The fieldwork along the Guadalupe (Huila)—Flores (Caquetá) transect was intensive between 700 and 2400 m on the eastern flank of the cordillera and *E. corniger* was not observed or collected at the several localities below 2000 m.

**Remarks:** Like many other species of *Eleutherodactylus*, *E. corniger* is pattern polymorphic. The most common pattern consists of dark dorsal markings (73 specimens). Six other specimens are peculiar in that they have no dark markings dorsally except the interorbital bar. This may not be a discrete polymorph but is here separated. Six specimens (one of which lacks dark markings, the others have these) exhibit a pale snout (back as far as the eyes) and lack canthal stripes (6%). The combinations evident here (dark markings, none) support the notion that each of these represents a discrete polymorphism. The fourth polymorph is what JDL has termed the *dorsoconcolor* morph for nearly forty years. This morph is seen in ten specimens (10%).

Although our hypothesis is not supported by synapomorphies, we are convinced that *E. chloronotus*, *E. corniger*, and *E. vicarius* form a clade. Each is distributed allopatrically and the combined distributions are very nearly contiguous. *Eleutherodactylus vicarius* is distributed between 2960 and 3300 m on the spine of the Cordillera Central along the border between Cauca and Huila. *Eleutherodactylus chloronotus* occurs between 2285 and 3350 m in southern Colombia (Nariño and Putumayo) and adjacent Ecuador (Napó and Sucumbios). Although **Lynch & Ruiz** (1983) suggested that specimens from southern Colombia were *E. vicarius*, here we reject that notion based upon study of fresh material. Lastly, *E. corniger* occurs between 1500 and 2600 m along the southern part of the spine of the Cordillera Oriental. If the sharply concave canthus rostralis is a synapomorphy, *E. corniger* and *E. vicarius* are sister species. Assuming that our supposition of relationships is correct, this small group of species provides additional evidence of ecological shifts congruent with speciation events (**Lynch**, 1999).

*Eleutherodactylus taciturnus* sp. nov.

**Holotype:** ICN 11688, an adult female obtained by Pablo Bernal 24 March 1982.

**Paratypes:** ICN 6523 (Municipio Paéz, Km 34 carretera Belalcazar—Tacueyó, 2400 m, collected by P. M. Ruiz in early 1980). ICN 11689-91, 11693 (topotypes collected 25 March 1982). ICN 11696 (Km 67, 2640 m, obtained 26-27 March 1982). ICN 11697 (Km 64 where road crosses Río Sucio, 2590-2610 m). ICN 11698-702 (Km 70, 2640 m, collected 28 March 1982).

**Type-locality:** COLOMBIA, Departamento de Cauca: Municipio de Inzá, vereda Río Sucio, Km 66-67 (near where the road crosses the Río Sucio) carretera Popayán—Inzá, 2660-70 m.s.n.m.



**Referred specimens:** ICN 11692, 11694-95 (topotypic juvenile females).

**Etymology:** Latin, meaning not talkative, in reference to our suspicion that the frog does not call.

**Diagnosis:** (1) Skin of dorsum and flanks covered with small round tubercles, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum, *cavum tympanicum*, and columella absent; (3) snout short, subacuminate in dorsal view, rounded in profile; canthus rostralis concave; (4) upper eyelid slightly narrower than IOD, bearing one conical tubercle; no cranial crests; (5) vomerine odontophores oval, median and posterior to choanae, narrowly separated, each smaller than a choanae; (6) males lacking vocal slits but with nuptial pads; (7) first finger shorter than second, large disks on outer fingers; (8) fingers bearing fleshy fringes; (9) ulnar tubercles present, small; (10) round tubercles on heel and outer edge of tarsus; short, low inner tarsal fold; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 3 times size of subconical outer; (12) fifth toe long, not reaching distal subarticular tubercle of Toe IV; toes with lateral fringes, no webbing; few supernumerary plantar tubercles; (13) dorsum brown with small black spots; chin with brown V-shaped markings; axilla and groin black, pale spots on posterior flanks; venter cream with brown spots; posterior surfaces of thighs cream with black spots; (14) adults relatively small, three males 17.6-20.9 (mean 19.4) mm SVL, ten females 24.2-31.7 (mean 27.6 ± 0.6) mm SVL.

*Eleutherodactylus taciturnus* most closely resembles, and is probably related to, *E. spinosus* from the eastern slopes of the Andes in southern Ecuador. The two share a peculiar feature (presence of small round tubercles over the skin of the dorsum—Figure 1D), which we postulate as a synapomorphy. The two species are readily distinguished in that *E. spinosus* has a visible tympanum and lacks the inverted chevrons on the throat.

**Description:** Head as wide as body, wider than long, HW 35.4-39.2 (mean 37.0) % SVL in males, 36.5-41.7 (mean 38.4 ± 0.5) % in females; snout subacuminate in dorsal view, angularly rounded in lateral profile; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis concave, prominent but edge not sharp; E-N 66.7-73.3 (mean 69.6) & eye length in males, 75.0-88.2 (mean 82.8 ± 1.6) % in females; loreal region concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; upper eyelid with conical tubercle in posterolateral part, bearing smaller tubercles scattered over surface; interorbital region flat (no cranial crests); upper eyelid width 80.0-81.8 (mean 80.9) % IOD in males, 72.4-100.0 (mean 84.8 ± 3.0) % IOD in females;

supratympanic fold thick, poorly defined, bearing subconical tubercles; tympanum absent, skin in area bearing rounded tubercles; one subconical postrictal tubercle; choanae small, round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, slanted or oval in outline, separated by distance about one-half width of an odontophore, each smaller than a choanae, bearing 4-7 teeth in a slanted row or clump; tongue longer than wide, posterior 2/5 not adherent to floor of mouth, posterior edge not notched; males lack vocal slits.

Skin of head smooth, of body bearing numerous small, round, elevated tubercles (a few larger tubercles on lower back), extending onto flanks; no dorsolateral folds present but postocular folds present; skin of upper surfaces of limbs nearly smooth but some rounded tubercles in limb bars; skin of venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; no anal sheath; a pair of subanal tubercles; three ulnar tubercles, antebrachial largest; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar tubercle; several supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round, nonconical; disks of fingers 2-4 large (twice width of digit below disk), round distally disks bearing broad ventral pads, that of thumb scarcely expanded; fingers bearing fleshy fringes; first finger shorter than second; nuptial pad present but difficult to see (due to cream color of inner digits).

Two round tubercles on knee, one on heel, 3-4 along outer edge of tarsus; inner edge of tarsus bearing low, short fold on distal 1/5; length of inner metatarsal tubercle 2 ½ times width, three times size of subconical outer metatarsal tubercle; supernumerary plantar tubercles immediately basal to toes; subarticular tubercles longer than wide, nonconical; toes bearing lateral fringes, no webbing, and large disks (smaller than those of outer fingers); tip of Toe V reaches about ½ way between penultimate and distal subarticular tubercles of Toe IV, that of III to middle of penultimate subarticular tubercle of Toe IV; hindlegs long, when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane, heels overlapping; shank 48.8-58.5 (mean 52.8) % SVL in males, 49.2-60.3 (mean 56.9 ± 1.0) % SVL in females.

**Coloration in alcohol:** Dorsum brown with scattered dark brown or black spots; postocular stripe edged medially with white; white patch on nape; side of head paler brown with dark brown blotch between nostril and eye (remnant of canthal stripe?), 2-3 labial bars, and supratympanic stripe; limbs brown with narrow, oblique darker brown (nearly black) bands; inner digits cream; axilla and groin black with black extensions along lowermost flank and slanted



Figure 2. Throat of *Eleutherodactylus taciturnus*, ICN 11690.

bars on posterior flanks defining cream or yellow spots; anterior surface of thigh black; posterior surfaces of thighs dirty cream with black spots or bars; underside of shank black with large cream spots; ventral surfaces pale brown to dirty cream, dark brown inverted chevrons on chin (Fig. 2), venter and undersides of thighs spotted with dark brown.

**Coloration in life:** Dorsal surfaces olive brown to dark olive green with dark brown to black markings; suprascapular line red; pale spots on lower flanks white to cream; flanks pale brown with black markings; limb bars black; ventral surfaces cream to rusty gray with dark brown to black markings; subarticular tubercles red; iris copper (reticulated or flecked with black) to red with a brown to black horizontal stripe (P. M. Ruiz fieldnotes, 24-28 March 1982).

**Measurements of holotype in mm.:** SVL 24.7, shank 14.3, HW 10.3, head length 9.0, chord of head length 9.8, upper eyelid width 1.9, IOD 2.7, eye length 3.0, E-N 2.6.

**Natural history:** Specimens were found at night perched on vegetation along streams. Juvenile females (22.2-22.7 mm SVL) were collected with the type-series.

This species occupies relative high Andean forest (2400-2670 m).

**Remarks:** We are much impressed by the similarities between *E. spinosus* and *E. taciturnus* in terms of size, proportions, sizes and distribution of tubercles, and coloration (compare this description with that of *E. spinosus* in Lynch, 1979). Except for the absence of a tympanum and the longer hindlegs in *E. taciturnus* we might have been persuaded that it is the same species as *E. spinosus*, in spite of the great distance (about 600 kms) separating localities of the two. The peculiar texture of the skin of the dorsum is here proposed as a synapomorphy linking the two.

### Discussion

Some additional species found on the Caquetá transect (Suárez, 2000) remain to be described but the amount of material is limited. Some of the species reported by Suárez (2000) were found subsequently in collections from the Parque Nacional Los Picachos but are not known to occur farther north in the Cordillera Oriental. For others (*E. cornutus*, *E. dolops*, *E. petersorum*, and *E. pugnax*), known as well from Ecuador (Lynch & Duellman, 1980), the Caquetá transect is the northernmost locality.

### Acknowledgments

Jorge H. Restrepo, Pedro M. Ruiz, and Ricardo Sánchez shared fieldwork experiences with JDL in 1989 and 1990.

### Bibliographic references

- Lynch, J. D. 1979. Leptodactylid frogs of the genus *Eleutherodactylus* from the Andes of southern Ecuador. University of Kansas Museum of Natural History, Miscellaneous Publication (66): 1-62.
- . 1999. Ranas pequeñas, la geometría de evolución, y la especiación en los Andes colombianos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fís. Nat. 23: 143-159.
- Lynch, J. D. & W. E. Duellman. 1980. The *Eleutherodactylus* of the Amazonian slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae). University of Kansas Museum of Natural History, Miscellaneous Publication (69): 1-86.
- . 1997. Frogs of the Genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in Western Ecuador: Systematics, Ecology, and Biogeography. University of Kansas Natural History Museum, Special Publication (23): 1-236.
- Lynch, J. D. & P. M. Ruiz Carranza. 1983. New frogs of the genus *Eleutherodactylus* from the Andes of southern Colombia. Transactions Kansas Academy of Science 86: 99-112.
- Suárez Mayorga, A. M. 2000. Lista preliminar de la fauna Amphibia presente en el transecto La Montañita—Alto de Gabinete, Caquetá, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fís. Nat. 23(supl.): 395-405.

# TWO NEW FROGS (*ELEUTHERODACTYLUS*) FROM THE SERRANÍA DE PERIJÁ, COLOMBIA

por

John D. Lynch<sup>1</sup>

## Resumen

**Lynch, J. D.:** Two new frogs (*Eleutherodactylus*) from the Serranía de Perijá, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 613-617, 2003. ISSN 0370-3908.

Se describen dos especies nuevas de *Eleutherodactylus* de la parte norte de la Serranía del Perijá. Una especie es parecida a una conocida en la Cordillera de Mérida y la otra se parece a una hallada en la Cordillera Oriental, en Norte de Santander y Santander.

**Palabras clave:** Colombia, *Eleutherodactylus*, especies nuevas, taxonomía.

## Abstract

Two new species of the genus *Eleutherodactylus* are described from the northern part of the Serranía del Perijá. One species is similar to a species known from the Cordillera de Mérida and the other resembles a species known from the Cordillera Oriental in Norte de Santander and Santander.

**Key words:** Colombia, *Eleutherodactylus*, new species, taxonomy.

## Introduction

The least-known upland region of Colombia for frogs of the genus *Eleutherodactylus* is the Serranía del Perijá. Its eastern face in Venezuela is likewise poorly-known. In 2001, Daniel Cuentas, then of Barranquilla, made two attempts to collect frogs on the western face in the municipality of Manaure, César, and, before being ordered out of the area by guerrilleros, Cuentas succeeded in collecting two species of *Eleutherodactylus*, each undescribed, from a small area at 2800m.

## Materials and methods

Terminology follows **Lynch & Duellman** (1997). The following abbreviations are used in the text: E-N, eye to nostril distance, HW, greatest head width, IOD, interorbital distance, SVL, snout-vent length. ICN is the acronym for the Instituto de Ciencias Naturales.

*Eleutherodactylus cuentasi* sp. nov.

**Holotype:** ICN 46187, an adult male obtained by Daniel Cuentas Montalvo, May 12, 2001 (field number DC 475).

<sup>1</sup> Laboratorio de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. jlynch@ciencias.unal.edu.co

**Paratypes:** ICN 46188-89, adult males taken with the holotype.

**Type-locality:** COLOMBIA; Departamento de César, municipio de Manaure, Casa de Cristal, Serranía del Perijá, 2800 msnm.

**Referred specimen:** ICN DC172, adult female topotype.

**Diagnosis:** (1) skin of dorsum shagreen with flat warts, that of venter areolate; short dorsolateral folds present; (2) tympanum round, its length 45-54 % that of eye; (3) snout short, subacuminate in dorsal view, rounded in profile; canthus rostralis sharp; (4) upper eyelid narrower than interorbital distance, no cranial crests; (5) vomerine odontophores oval; (6) vocal sac and nuptial pad present in males; (7) first finger shorter than second; fingers lack disks but with ventral pads; (8) fingers bear lateral keels; (9) ulnar tubercles present, fusing to form ridge; (10) round tubercle on heel; outer tarsal fold present; short inner tarsal fold; (11) inner metatarsal tubercle oval, 1.5 times size of outer; numerous supernumerary plantar tubercles; (12) toes with lateral fringes, no webbing and no disks; Toe V slightly longer than Toe III; (13) gray-brown above with brown spots; venter cream with brown reticulation; posterior surfaces of thighs brown with darker spots; (14) adults small, three males 22.0-24.9 mm SVL, one adult female 30.6 mm SVL.

The only other species of the Cordillera Oriental lacking disks is *E. nicefori*. However, in *E. nicefori*, the fifth toe reaches to the distal subarticular tubercle of Toe V whereas in *E. cuentasi* the fifth toe is only slightly longer than the third. The skin of the dorsum of *E. nicefori* is smooth and there are no dorsolateral folds nor does *E. nicefori* have ulnar and outer tarsal folds. *Eleutherodactylus nicefori* is smaller than *E. cuentasi* (Lynch, 1994). Among species reported for Venezuela, *E. cuentasi* is most similar to *E. boconoensis* but *E. cuentasi* has ulnar tubercles (no fold) and tubercles along the outer edge of the tarsus (no fold).

**Description:** Head as long as wide, narrower than body; HW 32.5-37.2 % SVL; snout subacuminate in dorsal view, rounded in profile; nostrils not protuberant, directed laterally; E-N 62.1-88.0 % eye length; canthus rostralis slightly concave, sharp; loreal region weakly concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; interorbital space flat, no cranial crests, broader than upper eyelid; upper eyelid width 59.3-71.4 % IOD; supratympanic fold little evident, obscuring upper edge of tympanum; tympanum round, visible, separated from eye by less than half its

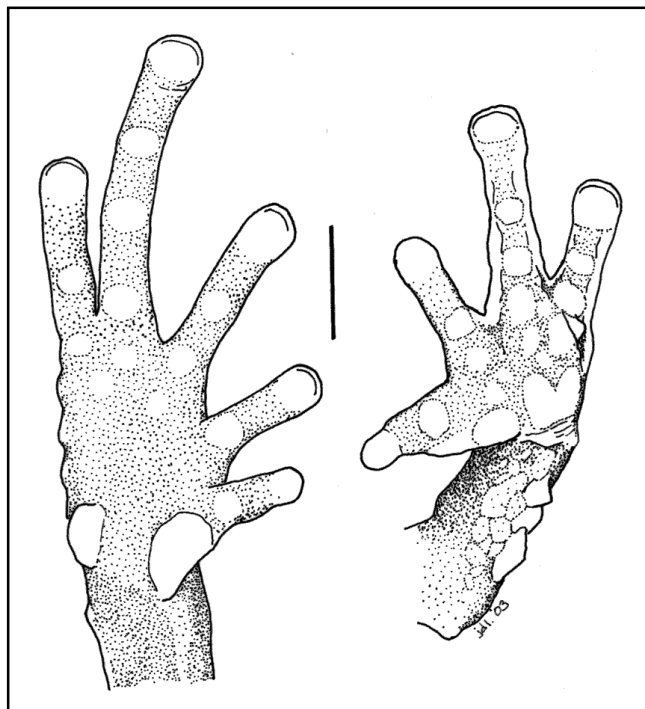
diameter, tympanum length 44.8-54.3 % eye length; a single postrictal tubercle; choanae small, round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, oval, bearing slightly elevated row of 2-5 teeth, separated medially by space nearly equal width of an odontophore; tongue longer than wide, posterior 1/5 not adherent to floor of mouth, posterior edge not notched; vocal slits long, well lateral on floor of mouth; vocal sac subgular.

Skin of dorsum shagreen and bearing relatively large, flat warts, especially posteriorly and laterally; short dorsolateral fold on anterior 1/3—1/2 of body which then breaks up into scattered tubercles; skin of venter areolate; discoidal folds not apparent; 2-4 ulnar tubercles, partially fused to form low fold along forearm; underside of forearm areolate; palmar tubercle bifid (or divided); thenar tubercle oval, smaller than palmar tubercle(s); supernumerary palmar tubercles numerous, nonconical; digits short with lateral fringes (Figure 1); subarticular tubercles nonconical, simple; finger tips not expanded into discs, Fingers III-IV bearing ventral pads with obvious distal circumferential grooves but proximal edge poorly defined; thumb of male swollen and nuptial pad diffuse; finger I slightly shorter than finger II.

Round tubercle on heel; fleshy fold along outer edge of tarsus (sometimes a series of low, isolated tubercles); short thickened fold on distal 1/3—1/2 of inner edge of tarsus; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, elevated, 1 1/5 times size of flat outer; plantar surface dense with low supernumerary tubercles; subarticular tubercles round, simple; toes bearing lateral fringes; toe V to just beyond (1/4) penultimate subarticular tubercle of toe IV, toe III to barely beyond distal edge of penultimate subarticular tubercle of toe IV (Figure 1); toes lack disks but bearing ventral pads with distal terminal grooves (except on Toe I); when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane, heels not touching; hindlegs short, shank 32.7-38.9 % SVL.

**Coloration in alcohol:** Dorsum gray-brown with brown spots; pale vertebral raphe in holotype and ICN ; brown canthal stripe continuing as brown postocular stripe halfway down flanks; lips not barred; ventral surfaces cream with brown reticulum or brown with cream spots; posterior surfaces of thighs pale brown with darker brown spots.

**Coloration in life:** Dorsum maroon with yellow vertebral raphe; flanks maroon; brown stripe from snout to groin; venter white with brown reticulation; throat yellow; tips of digits yellow.



**Figure 1.** Ventral views of foot (ICN 46187) and hand (ICN 46188) of *Eleutherodactylus cuentasi*. Scale equals 2 mm.

**Measurements of holotype in mm.:** SVL 24.9, shank 8.4, HW 8.1, head length 7.5, chord of head length 8.1, upper eyelid width 1.6, IOD 2.7, tympanum length 1.3, eye length 2.9, E-N 1.8.

**Etymology:** Named for my friend Daniel Cuentas.

**Natural history:** Only very limited data are available owing to problems of orden público. All four individuals were found beneath rocks and are adults.

**Remarks:** Phenetically, *E. cuentasi* resembles *E. nicefori*, distributed about 300 kms to the south. *Eleutherodactylus cuentasi* is probably more widely distributed but the only frog collections available from the Serranía del Perijá are from sites below 2000 m (Municipio Jagua de Iberico).

*Eleutherodactylus cuentasi* is probably not closely related to *E. nicefori* based on the differences in the lengths of Toe V (Lynch & Duellman, 1997). Lynch (1994) noted that *E. colostichos* of the Mérida Andes and *E. nicefori* shared the same state of pedal morphology (condition C of Lynch & Duellman, 1997), in contrast to other species from the higher parts of the Mérida Andes (condition B except for *E. ginesi* with condition A). *Eleutherodactylus boconoensis* is the described species

most similar to *E. cuentasi* but has a longer Toe V and lacks folds along the forearm and outer tarsus.

***Eleutherodactylus reclusus* sp. nov.**

**Holotype:** ICN 46181, adult male, one of a series collected by Daniel Cuentas 12 May 2001.

**Paratypes:** ICN 46179-80, 46182-84, males collected syntopically.

**Referred specimens:** ICN 46185-86, juvenile females collected with holotype.

**Type-locality:** COLOMBIA; Departamento de César, municipio de Manaure, Casa de Cristal, Serranía del Perijá, 2800 msnm.

**Diagnosis:** (1) Skin of anterior dorsum smooth, low warts evident on lower back; skin of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum slightly higher than long, its length 27-42 % eye length; (3) snout subacuminate in dorsal view, rounded in profile; canthus rostralis slightly concave, distinct; (4) upper eyelid without tubercles, about as wide as IOD; no cranial crests; (5) vomerine odontophores prominent, subtriangular in outline, well separated; (6) males with subgular vocal sac and nuptial pads; (7) first finger shorter than second; fingers expanded into disks only slightly wider than digit; (8) fingers bearing lateral keels; (9) a row of low ulnar tubercles present; (10) no tubercle on heel; tubercle on inner edge of tarsus, row of low tubercles along outer edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 3 times size of faint outer; (12) toes bearing indistinct lateral fringes; Toe V longer than Toe III, reaching base of distal subarticular tubercle of Toe IV; (13) Dorsum and flanks gray brown with little evidence of pattern; venter cream suffused with brown; posterior surfaces of thighs brown with some cream spots; (14) Adults moderate-sized, six adult males 25.2-32.4 mm SVL.

Most similar to *E. anolirex* and *E. bacchus* from the Cordillera Oriental of Colombia. *Eleutherodactylus anolirex* has short dorsolateral folds, lacks vocal slits and a pale stripe on the upper lip. *Eleutherodactylus bacchus* is easily distinguished in lacking nuptial pads, having larger digital disks, and in lacking tubercles along the outer edges of the forearm and tarsus.

**Description:** Head not as wide as body, wider than long; HW 37.1-40.4 % SVL; snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile; nostrils not protuberant, directed dorsolaterally; E-N 76.2-88.9 % eye length; canthus rostralis weakly concave; loreal region concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; upper eyelid

lacking tubercles; no cranial crests; upper eyelid width 89.7-103.0 % IOD; supratympanic fold thick, not prominent, obscuring upper edge of tympanum; tympanum slightly higher than long, its length 27.0-41.7 % eye length; one or two nonconical postrictal tubercles posteroventral to tympanic annulus; choanae round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, separated medially by distance 1 ½ times width of an odontophore, each about size of a choanae, each bearing 1-3 teeth (mode 3) arranged in transverse row; odontophores slanted in smaller specimens, subtriangular in adults; tongue longer than wide, not notched posteriorly, posterior ¼ not adherent to floor of mouth; vocal slits posterolateral to tongue, long; vocal sac subgular, median.

Skin of head and back mostly smooth but very low flattened warts visible on lower back, that of flanks bearing more pungent warts, of venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; no anal sheath; two to four low ulnar tubercles along outer edge of forearm; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar; low supernumerary palmar tubercles present; subarticular tubercles round, nonconical; some evidence of lateral fringes, best seen on lateral edge of IV and halfway down palm (in most specimens, fingers seem to lack lateral fringes or to present mere keels); fingers II-IV with disks about 1 ½ times width of digit; finger I with disk scarcely wider than digit; disks rounded distally, bearing ventral pads broader than long, defined by circumferential grooves; first finger shorter than second; nuptial pads in males.

Heel lacking tubercles (or, if present, very small in smallest individuals—juveniles); outer edge of tarsus with 4 low tubercles distributed along length of tarsus; inner edge of tarsus with elongate tubercle on distal 1/3; inner metatarsal tubercle slightly more than twice as long as wide, 3-4 times size of very low and indistinct outer metatarsal tubercle; supernumerary plantar tubercles numerous, all very low; subarticular tubercles round, simple, nonconical; toes bearing lateral keels, tip of Toe III to midpoint of penultimate subarticular tubercle of Toe IV, tip of Toe V to base of distal subarticular tubercle of Toe IV; all toes with disks, largest on toes III-V, but narrower than those of outer fingers; ventral pads defined by circumferential grooves, broader than long; when flexed hindlegs held perpendicular to sagittal plane, heels overlapping; shank 45.9-49.6 % SVL.

**Coloration in alcohol:** Upper surfaces slate with little indication of pattern (scattered darker markings on lower back, traces of a pale interorbital bar, fragments of limb bars); side of head darker without facial markings except

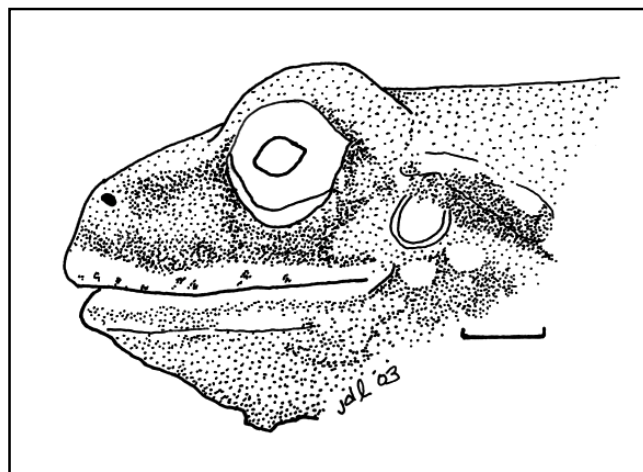


Figure 2. Lateral view of head of *Eleutherodactylus reclusus* (ICN 46181).

for cream line along upper lip (Figure 2); brown supratympanic stripe; brown blotch on posterior flank, extending into groin and along of thigh; comparable blotch over most of posterior surface of thigh, bearing cream flecks or not; venter cream, heavily mottled with brown; throat somewhat darker than venter; underside of shank brown with cream flecks or not.

**Coloration in life:** Dorsum gray with tiny white spots; side of head brown; posterior surfaces of thighs maroon; venter white with small brown spots; throat brown with white flecks.

**Measurements of holotype in mm.:** SVL 30.9, shank 14.9, HW 12.5, head length 10.8, chord of head length 11.5, upper eyelid width 3.1, IOD 3.2, tympanum length 1.5, eye length 3.6, E-N 3.2.

**Etymology:** Latin, meaning separated or removed, in allusion to its geographic isolation from similar frogs.

**Natural history:** Nothing is known of the species except that all adults found were adult males and juvenile females (19.3-25.1 mm SVL) were found beneath the same rocks. The smaller juvenile female (ICN 46186) has an obvious canthal stripe and supratympanic fold, slanting brown bars on the flanks, and her throat and venter are cream—suggesting ontogenetic changes in color pattern for the species.

**Remarks:** *Eleutherodactylus reclusus* may be a near relative of *E. anolirex* but until a cladistic analysis is carried out, the linking of these two species is merely phenetic.

## Discussion

Prior to these descriptions, only two species of *Eleutherodactylus* had been reported for the Serranía de Perijá (Lynch, 2003, Lynch & Rueda, 1997), both from somewhat lower elevations (ca 1800 m) and each known as well from Santander and Norte de Santander (and in one case from the Cordillera de Mérida). Further attention to the Perijá fauna is best deferred until additional species are described from Jagua de Iberico (Lynch & Rueda, in prep.).

## Acknowledgments

Daniel Cuentas kindly made his small collection from the Serranía de Perijá available for study and donated the specimens to ICN. Enrique LaMarca hosted me during two visits to Mérida and made the collections of the Universidad de Los Andes available for study.

## Bibliographic references

- Lynch, J. D. 1994. A new species of high-altitude frog (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from the Cordillera Oriental of Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **19**: 195-203.
- . 2003. New species of frogs (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from the Cordillera Oriental of Norte de Santander and Santander, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **27** (104): 449-460.
- Lynch, J. D. & W. E. Duellman. 1997. Frogs of the Genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in Western Ecuador: Systematics, Ecology, and Biogeography. University of Kansas Natural History Museum, Special Publication (23): 1-236.
- Lynch, J. D. & J. V. Rueda-A. 1997. Three new frogs (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from cloud forests in eastern Departamento Caldas, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **21**: 131-142.





# MÉTODO RÁPIDO DE DIAGNÓSTICO DE *MYCOSPHAERELLA MUSICOLA* LEACH Y *M. FIJIENSIS* MORELET, AGENTES CAUSANTES DE LAS SIGATOKAS AMARILLA Y NEGRA

por

Martha Cecilia Aguirre Gaviria<sup>1</sup>, Jairo Castaño-Zapata<sup>2</sup>  
& Luis Eduardo Zuluaga<sup>3</sup>

## Resumen

**Aguirre Gaviria M.C., J. Castaño-Zapata & L. E. Zuluaga:** Método rápido de diagnóstico de *Mycosphaerella musicola* Leach y *M. fijiensis* Morelet, agentes causantes de las sigatocas amarilla y negra. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27** (105): 619-623, 2003. ISSN 0370-3908.

Los peritecios de *Mycosphaerella musicola* y *M. fijiensis*, son similares. Ambos hongos se diferencian principalmente por la morfología de sus anamorfos. Esta investigación tuvo como objetivo establecer una metodología que permitiera el diagnóstico rápido de *M. musicola* y *M. fijiensis*. El método consiste en utilizar jeringas de plástico de 6 cm<sup>3</sup>, a las cuales se les remueve el extremo anterior. Los dispensadores se llenan con agar-cristal violeta más estreptomycin y benomyl. De cada jeringa se pueden obtener entre 20 y 24 discos. El cristal violeta permite diferenciar a las dos especies, por teñir los conidios, siendo la coloración más intensa en el hilio, presente en *Paracercospora fijiensis* y ausente en *Pseudocercospora musae*, anamorfos de *M. fijiensis* y *M. musicola*, respectivamente.

**Palabras clave:** Sigatocas, *Mycosphaerella fijiensis*, *M. musicola*, *Paracercospora fijiensis*, *Pseudocercospora musae*.

## Abstract

The sexual states of *Mycosphaerella musicola* and *M. fijiensis* are similar. Both species are mainly differentiated by morphological characteristics of their anamorphs. This research had as main objective to establish a simple methodology to allow the rapid diagnosis of *M. musicola* and *M.*

<sup>1</sup> Corpoica, Nataima, Ibagué. M.Sc.

<sup>2</sup> Ph.D. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. fedecast42@hotmail.com

<sup>3</sup> Corpoica, Regional 9 Manizales. Auxiliar de Investigación.

*fijiensis*. The method consists in using disposable syringes of 6 cm<sup>3</sup>, from which are removed the front extreme to obtain cylinders. These are filled with agar-crystal violet plus streptomycin and benomyl. The use of crystal violet allows to differentiate both species, dyeing the conidia, being the coloration more intensive at the scar (hilum) or point of attachment of the conidia to the conidiophores, present in *Paracercospora fijiensis* and absent in *Pseudocercospora musae*, anamorphs of *M. fijiensis* and *musicola*, respectively.

**Key words:** Sigatoka, *Mycosphaerella fijiensis* *M. musicola*, *Paracercospora fijiensis*, *Pseudocercospora musae*.

## Introducción

*Mycosphaerella musicola* Leach [ anamorfo *Pseudocercospora musae* (A. Zimmerm) Deighton, sin. *Cercospora musae* A. Zimmerm.] y *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (sin. *M. fijiensis* var. *difformis* Mulder & Stover) [anamorfo *Paracercospora fijiensis* (Morelet) Deighton, sin. *Cercospora fijiensis* Morelet y *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton], son los agentes causantes de las sigatocas amarilla y negra de las musáceas, respectivamente (Fullerton, 1994).

La sigatoka amarilla, conocida previamente como enfermedad sigatoka toma su nombre del valle Sigatoka, Isla de Viti Levu, Fiji, en donde la enfermedad se reconoció por primera vez en 1902. En 1912, ocasionó grandes pérdidas en Fiji, principalmente en el valle de Sigatoka, de donde derivó su nombre. Otros registros sobre daños causados a la industria bananera por esta enfermedad han sido en 1924 en Australia; en la década de 1930-1940 en Centro América, islas del Caribe y Sudamérica; como también en África (Mourichon & Fullerton, 1990). Posteriormente se registró su presencia en casi la totalidad de las regiones productoras de musáceas del mundo y ha sido considerada como una de las enfermedades más devastadoras del cultivo.

La sigatoka negra, se describió como una enfermedad nueva en 1963, también en Fiji (Rhodes, 1964; Leach, 1964), aunque hay evidencias de su presencia en Hawai y en algunas zonas del Pacífico desde mucho antes (Stover, 1972). En Centroamérica se describió por primera vez en Honduras en 1972 y desde allí se diseminó por el resto de la región. En Sudamérica se registró por primera vez en Colombia en 1981, posteriormente en Ecuador en 1989 y más recientemente en Cuba y Venezuela (Mourichon & Fullerton, 1990).

Aunque a nivel macroscópico los síntomas ocasionados por ambas enfermedades en el campo pueden indicar diferencias, éstas no son suficientemente nítidas para distinguir con precisión ambas sigatocas (Du Pont, 1980). A

nivel microscópico, los peritecios del estado sexual de *M. musicola* y *M. fijiensis* son muy parecidos y se localizan inmersos en el tejido necrosado de las lesiones, midiendo aproximadamente 51-86 x 35-77 μ. El estado asexual de *M. musicola* forma estromas (esporodoquios) tanto en la haz como en el envés de las hojas, siendo más abundantes sobre la haz y los conidios, y sin cicatriz (hilio) en el punto de unión con el esporodoquio; mientras que el estado asexual de *M. fijiensis* produce conidióforos simples con cicatriz, tanto en la base de los conidios como en los conidióforos (Castaño-Zapata & del Río, 1994). En ambas especies los conidios son alargados, septados, hialinos y aciculares. De acuerdo con lo anterior, los estados sexuales de *M. musicola* y *M. fijiensis* son indistinguibles. Ambos microorganismos se distinguen principalmente a través de diferencias morfológicas de sus anamorfos, en particular las características de los conidióforos y conidios, específicamente por la presencia de cicatrices en los conidióforos y conidios de *M. fijiensis*, ausentes en *M. musicola* (Fullerton, 1994). La abundancia de estromas y conidios de *P. fijiensis* en la parte inferior de las lesiones y de *P. musae* en la parte superior, también sirve como guía rápida para la identificación de estas especies (Fullerton, 1994). Por consiguiente, la identificación correcta de estos hongos depende de estudios de laboratorio.

Esta investigación tuvo como objetivo principal establecer una metodología simple que permitiera el diagnóstico rápido de *M. musicola* y *M. fijiensis* bajo condiciones de laboratorio.

## Materiales y métodos

El método es una modificación de la técnica empleada por Lalancett *et al.* (1984) y consiste en utilizar jeringas de plástico desechables de 6 cm<sup>3</sup>, marca Precision Glide 21G 1 1/2 o similares, a las cuales se les remueve el extremo anterior para utilizarlas como cilindros cuya área de la abertura es de 123.7 mm<sup>2</sup>. Los dispensadores se llenan con agar-cristal violeta más estreptomycin y benomyl (Agar bacteriológico Oxoid 1.5 g, estreptomycin en dis-

cos Oxoid 10 ug, benomyl 100 ppm, solución pura de cristal violeta al 1%, agua 100 mL). La estreptomycin, el benomyl y el cristal violeta se añaden al medio líquido previamente esterilizado a 121°C y 15 lb de presión durante 20 min, antes de dispensar el medio en las jeringas. Una vez llenas, se colocan en posición vertical en una gradilla, la cual se coloca a 4°C en un refrigerador para que el medio se solidifique rápidamente.

Para remover en el campo los conidios de *Pseudocercospora musae* o *Paracercospora fijiensis* se presiona el émbolo de la jeringa hasta que quede a libre exposición, aproximadamente 2 mm en espesor de medio (Figura 1A). La superficie húmeda del agar-cristal violeta se presiona suavemente sobre un área necrosada de la hoja

más joven (Figura 1B). Luego el disco de agar-cristal violeta se corta cuidadosamente con un bisturí de tal manera que forme una superficie lisa (Figura 1C). Se colocan dos discos por lámina portaobjetos, las cuales se van depositando dentro de una bandeja con tapa, la cual contiene papel toalla humedecido con el propósito de crear una cámara húmeda para inducir la difusión rápida del colorante a través de las células de los conidios del muestreo y evitar la deshidratación del medio (Figura 1D). De cada jeringa se pueden obtener 20-24 discos, suficientes para obtener 10-12 muestras replicadas dos veces.

Utilizando esta metodología el investigador establece una correspondencia entre el número de discos y el número de lesiones analizadas, así como entre el número de



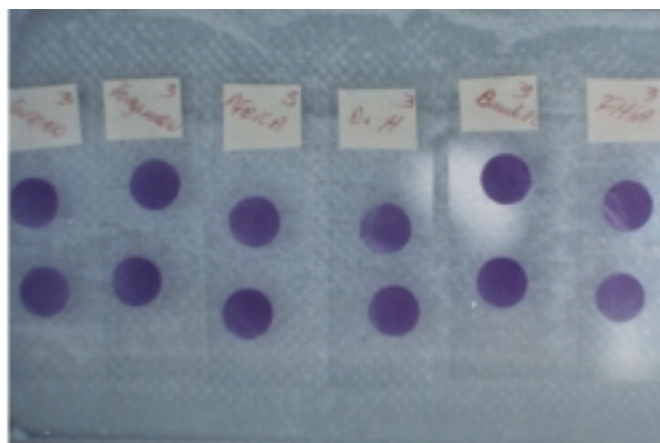
A



B



C



D

**Figura 1.** Preparación del dispensador y muestreo de conidios en el campo. **A.** Dispensador de discos de agar-cristal violeta, **B.** Toma de impronta, **C.** Corte de discos de agar-cristal violeta una vez afectada la impronta, **D.** Cámara húmeda para conservar los discos de agar-cristal violeta conteniendo los conidios de los hongos analizados.

láminas portaobjetos y el número de hojas analizadas. En este caso una lámina portaobjetos por material evaluado. Las láminas portaobjetos se montan inmediatamente sobre el microscopio compuesto para observar las características morfológicas de los conidios estudiados a través del objetivo 40X.

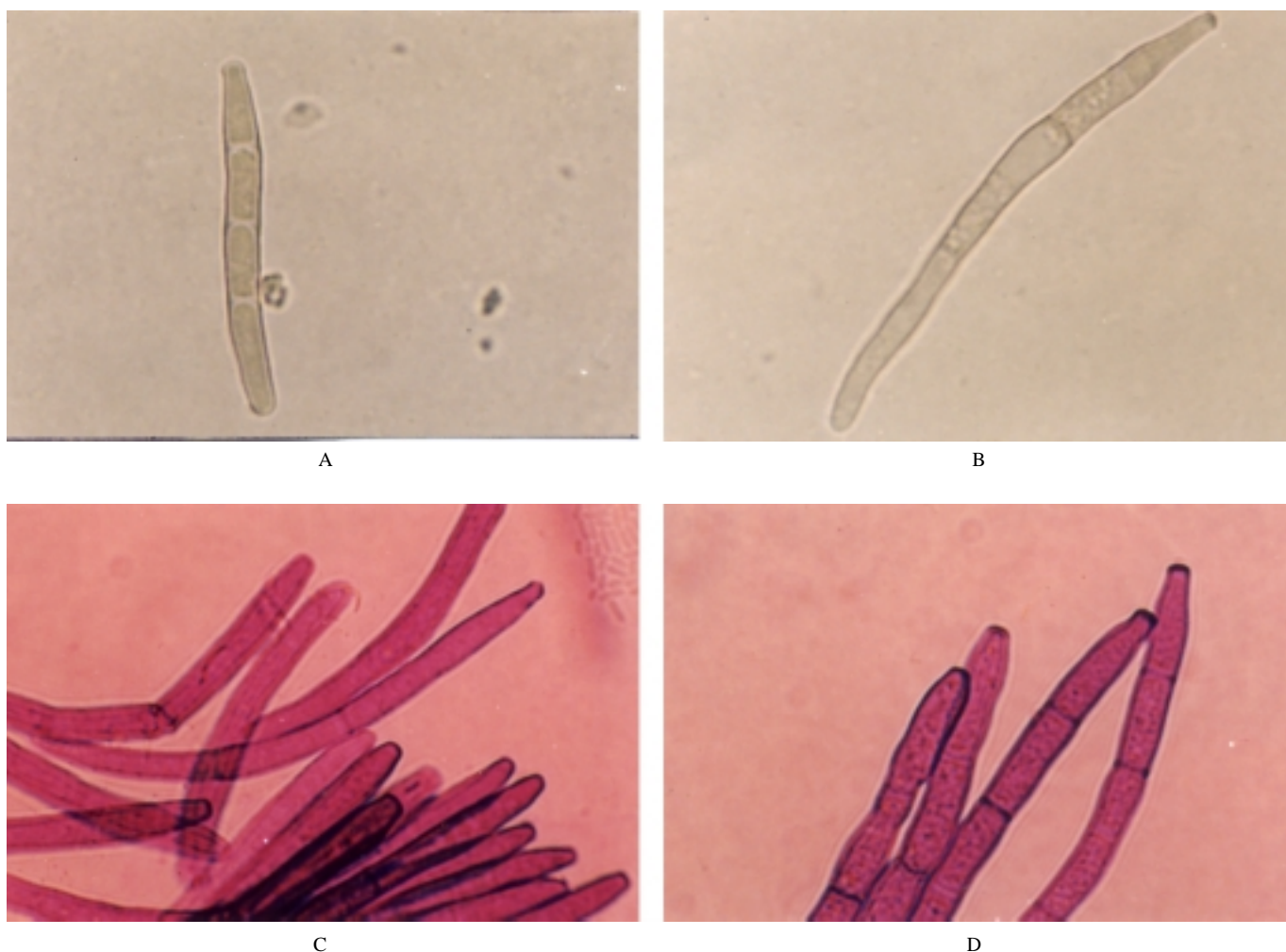
### Resultados y discusión

La ausencia de cristal violeta en el medio dificulta la diferenciación de los conidios de *Pseudocercospora musae* (Figura 2A) y *Paracercospora fijiensis* (Figura 2B). El empleo de cristal violeta al 1% permite diferenciar de inmediato las dos especies. El colorante tiñe los conidios, siendo la coloración más intensa en la cicatriz (hilio) o

punto de inserción de los conidios con el conidióforo, ausente en *P. musae* (Figura 2C) y presente en *P. fijiensis* (Figura 2D).

La adición al medio de estreptomycin y benomyl evita la contaminación por bacterias y la germinación de los conidios, cuyo tubo germinativo podría interferir con las observaciones al microscopio. En estudios sobre monitoreo de resistencia de estos hongos a fungicidas, basta con suprimir el benomyl.

Un método similar al descrito, adicionando o no lactofenol al agar al 1.5%, fue empleado por **Jacome & Schuh** (1993) para monitorear conidios de *M. fijiensis*. Debido a que el lactofenol es incoloro el color de los



**Figura 2.** Efectividad de la tinción con cristal violeta de los anamorfos de *M. musicola* y *M. fijiensis*. **A.** Conidio de *Pseudocercospora musae* sin teñir, **B.** Conidio de *Paracercospora fijiensis* sin teñir, **C.** Conidios de *P. musae* teñidos, obsérvese la ausencia del hilio, **D.** Conidios de *P. fijiensis* teñidos, obsérvese la presencia del hilio y la intensidad de color del mismo.

conidios no se altera haciendo difícil la caracterización de la especie. Aunque **Tapia** (1993), ha descrito una metodología para cuantificar y caracterizar las estructuras reproductivas asexuales de *M. musicola* y *M. fijiensis* con base en características de estromas y conidióforos, el método es demasiado tedioso ya que requiere 84 horas para procesar los tejidos obtenidos en el campo y la diferenciación de especies no considera las características descritas de los conidios de ambos hongos. Es de anotar que el tratamiento térmico descrito por **Tapia** (1993) dispersa los conidios del hongo haciéndose aún más difícil su observación. Además, el método no permite establecer una relación precisa en el campo, del número de conidios presentes en los tejidos analizados.

Las dos especies de *Mycosphaerella* también se pueden diferenciar fácilmente a través de las características de las colonias en medio de cultivo, pero como el método descrito previamente, es demasiado demorado, requiriendo unos 10 días (**Du Pont**, 1980). Así mismo, ambas especies se puede diferenciar mediante técnicas moleculares, tales como la de medición de la longitud polimorfa de fragmentos de restricción de ADN (RFLP) (**Carlier et al.**, 1994) y la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (**Johanson & Jeger**, 1993), pero la utilización de éstas técnicas es muy costosa.

La técnica desarrollada en esta investigación, además de permitir la identificación rápida y segura de los agentes causantes de las sigatokas amarilla y negra, permite obtener una gran cantidad de muestras a un mínimo costo.

## Conclusiones

Por primera vez se describe un método preciso para identificar las especies *Mycosphaerella fijiensis* y *M. musicola*, en sus estados anamorfos *Paracercospora fijiensis* y *Pseudocercospora musae*.

El método, además de ser preciso, sencillo y rápido, es altamente económico, ya que permite obtener una gran cantidad de muestras con un mínimo costo, permitiendo además establecer una relación exacta del número de conidios presentes de cada especie de hongo en los materiales analizados.

Esta metodología no solo es útil para identificar correctamente a las especies de hongos causantes de las sigatokas negra y amarilla, sino también, para realizar estudios sobre monitoreo de resistencia de *M. fijiensis* y *M.*

*musicola* a fungicidas, un problema común en estos patógenos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al convenio ICA-CORPOICA-CIRAD-FLHOR, por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo de investigación.

## Referencias bibliográficas

- Carlier, J., Mourichon, X., González-de León, D., Zapater, M.F. & Lebrun, M.H.** 1994. DNA restriction fragment length polymorphisms in *Mycosphaerella* species that cause banana leaf spot diseases. *Phytopathology*, **84**(7): 751-755.
- Castaña-Zapata, J. & del Río, L.** 1994. Sigatokas del banano. En: Guía para el diagnóstico y control de enfermedades en cultivos de importancia económica. 3ra Edición. Zamorano Academic Press, Honduras. Pp. 217-218.
- Du Pont.** 1980. Black and yellow Sigatokas: Improved identification and management techniques. Du Pont Latin America, Coral Gables, Florida. 17 p.
- Fullertonh, R. A.** 1994. Sigatoka leaf diseases. In: Compendium of Tropical Fruit Diseases. Ploetz, R.C. *et al.* (Editors). The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. Pp. 12-14.
- Jacome, L. H. & Schuh, W.** 1993. Effect of temperature on growth and conidial production *in vitro*, and comparison of infection and aggressiveness *in vivo* among isolates of *Mycosphaerella fijiensis* var. *Difformis*. *Trop. Agric. (Trinidad)* **70**(1): 51-59.
- Johanson, A. & Jeger, M.J.** 1993. Use of PCR for detection of *Mycosphaerella fijiensis* and *M. musicola*, the causal agents of Sigatoka leaf spots in banana and plantain. *Mycol. Res.* **97**: 670-674.
- Lalancette, N. Jr., Russo, J.M. & Hickey, K.D.** 1984. A simple device for sampling spores to monitor fungicide resistance in the field. *Phytopathology* **74**(12): 1423-1425.
- Leach, R.** 1964. A new form of banana leaf spot in Fiji, Black leaf streak. *World Crops*. Pp. 60-64.
- Mourichon, X. & Fullerton, R. A.** 1990. Geographical distribution of the two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *Mycosphaerella fijiensis* (*Cercospora fijiensis*), respectively agents of Sigatoka disease in bananas and plantains. *Frutis* **45**(3): 213-218.
- Rhodes, A.** 1964. A new disease in Fiji. *Commonwealth Phytopathological New*, Kew, Surrey, England. **10**: 30-41.
- Stover, R.** 1972. Banana, plantain and abaca diseases. Kew, Surrey, England. Commonwealth Mycological Institute. 316 p.
- Tapia, A.C.** 1993. Distribución altitudinal de la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) y la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en Costa Rica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica. 77p.

