

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

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXVII

MARZO DE 2003

NÚMERO 102

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DÍAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Antropología [Anthropology]		three species of Lutjanidae from northwest Colombian Caribbean].	
-Las calaveras enmascaradas de las momias Yuko-Yukpa (Motilonés).		<i>María Isabel Criales-Hernández, Edgar Arteaga & Luis Manjarrés</i>	85
[Masked skulls of Yuko-Yukpa mummies].			
<i>Hugo Sotomayor & Gonzalo Correal Urrego</i>	5	-Dispersión y establecimiento de las especies de mangle del río Ranchería en el período de máxima fructificación.	
Botánica [Botany]		[Dispersion and establishment of Mangrove species at the Ranchería River in the Peak of Fruiting].	
-Una especie nueva de <i>Guzmania</i> (Bromeliaceae) de la Amazonia colombiana y notas sobre las especies relacionadas.		<i>Luisa Fernanda Lema, Jaime Polanía & Ligia E. Urrego</i>	93
[A new species of <i>Guzmania</i> (Bromeliaceae) from the Colombian Amazonia and notes on related species].		-Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la Isla Gorgona, Pacífico colombiano.	
<i>Julio Betancur & Nelson R. Salinas</i>	15	[Herpetofaunal community distribution associated to four areas with different perturbation degree in Gorgona Island, Colombian Pacific sea].	
-Bombacaceae neotropicae novae vel minus cognitae VI. Noveidades en los géneros <i>Cavanillesia</i> , <i>Eriotheca</i> , <i>Matisia</i> y <i>Pachira</i>		[Physical sciences in the "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias"]	
[Bombacaceae neotropicae novae vel minus cognitae VI. Novelities in the genera <i>Cavanillesia</i> , <i>Eriotheca</i> , <i>Matisia</i> and <i>Pachira</i>]		<i>José Nicolás Urbina-C & María Cecilia Londoño-M.</i>	105
<i>José Luis Fernández Alonso</i>	25	Historia de la Ciencia [History of Science].	
-Una especie nueva de <i>Huilaea</i> Wurdack (Melastomataceae) de Colombia		-Las ciencias físicas en la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias.	
[A new species of <i>Huilaea</i> Wurdack (Melastomataceae) from Colombia].		[Physical sciences in the "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias"]	
<i>Humberto Mendoza-Cifuentes & Adriana Prieto-Cruz</i>	39	<i>Diógenes Campos Romero</i>	115
-Pteridófitos de Colombia IV. Noveidades en <i>Cyathea</i> (Cyatheaceae).		Química [Chemistry]	
[Pteridophyta of Colombia IV. Novelities in <i>Cyathea</i> (Cyatheaceae)].		-Utilización de técnicas bioquímicas en combinación para la detección de proteínas de unión a calcio en <i>Plasmodium falciparum</i> .	
<i>José Murillo-A & María Teresa Murillo-P.</i>	45	[Combined use of biochemical techniques for calcium-binding proteins in <i>Plasmodium falciparum</i>].	
Ciencias de la Tierra [Earth Sciences]		<i>Rodrigo Cabrera & Moisés Wasserman</i>	125
-Codificación sismológica de un segmento de la falla Cauca-Almaguer y sus aplicaciones en el departamento de Antioquia.		-De la predicción al análisis antigénico: tras las huellas de un epítipo conformacional.	
[Seismologic codification of a segment of the Cauca-Almaguer fault and its applications in the Department of Antioquia].		[From prediction to antigenic analysis: in the footprints of a conformational epitome].	
<i>Alejandro Chica, Javier Buitrago, Gaspar Monsalve & Julián E. Morales</i>	53	<i>Julio C. Calvo, Juan C. Martínez, Manuel E. Patarroyo & Arnold C. Satterthwait</i>	133
-Balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín, Cordillera Central (Antioquia, Colombia).		Zoología [Zoology]	
[Solute Budget in the upper Medellín river catchment, Cordillera Central (Antioquia Colombia)]		-Una especie nueva de serpiente coral (<i>Micrurus</i> , Elapidae) de la región de Urrá, Tierra Alta, Córdoba, Noroccidente de Colombia.	
<i>Juan Carlos Osorio, Jorge E. López-Rendón & Michel Hermelin</i> ...	71	[A new species of coral snake (<i>Micrurus</i> , Elapidae) from Urra region, Tierra Alta, Córdoba, Northwest of Colombia].	
Ecología [Ecology]		<i>Juan Manuel Renjifo & Mikael Lundberg</i>	141
-Distribución espacio-temporal y tallas de las larvas de tres especies de lutjánidos en el área norte del Caribe colombiano.		Vida Académica [Academia life]	145
[Distribution of spawning places and standard length in larvae of		Constitución de la Academia [Members of the Academy]	149

LAS CALAVERAS ENMASCARADAS DE LAS MOMIAS YUKO - YUKPA (MOTILONES)

por

Hugo Sotomayor Tribín* & Gonzalo Correal Urrego**

Resumen

Sotomayor H. & G. Correal: Las calaveras enmascaradas de las momias Yuko-Yukpa (Motilones). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 5-14. 2003. ISSN 0370-3908.

Se presenta el estudio antropométrico de ocho (8) calaveras de sendas momias Yuko, y químico y escanográfico de una de ellas, caracterizadas por tener máscaras fúnebres y en las que en algunas de ellas a las órbitas oculares les fueron colocadas unas semillas y sobre éstas unos círculos huecos de concha. Se discute sobre el material de estas máscaras y su significado social.

Palabras clave: Calavera, máscara, momias, *Yuko*

Abstract

The anthropometrical study of eight (8) skulls is presented of paths mummies Yuko, and chemical and scanografic of one of them, characterized by having funeral masks and in those that in some of them some seeds were placed in the ocular orbits and over the orbits some hollow circles of shell. The material of these masks and their social meaning are discussed.

Key words: Skull, mask, mummy, *Yuko*

Introducción

El pueblo Yuko - Yukpa, o Motilones, conocido por su resistencia a los invasores de sus territorios ancestrales y por tener muchos de sus miembros baja estatura¹⁻⁵, dejó para la posteridad una práctica funeraria muy peculiar,

motivo de esta comunicación. Nos referimos a su costumbre de enmascarar algunas de las calaveras para su inhumación definitiva en sus entierros secundarios.

Hoy se sabe que el antiguo hábitat de los Yuko-Yukpa, de filiación lingüística caribe, se extendía por el oeste,

* Profesor de la Facultad de Medicina de la Universidad Militar "Nueva Granada".

** Profesor Emérito de la Universidad Nacional de Colombia.

desde el valle del río Cesar, en Colombia, hasta el lago de Maracaibo, en su costado oriental (Venezuela). En la actualidad su territorio está restringido a la zona montañosa de la Cordillera Oriental, en la Sierra de Perijá, cuya cresta marca el límite internacional entre Colombia y Venezuela⁶.

Etimológicamente, este nombre deriva de Yu = yo y Yoba = monte, significando “gente de monte”.⁷ Esta tribu recibe denominaciones diferentes para las parcialidades que la integran, entre otras: Sacaráes, Socombas, Sicaráes, Opones, Oponcitos, Macóas y Marákas. Para 1977 el total de la población se calculaba en 2.000 personas⁸.

El nombre de Motilones en un principio fue aplicado por los misioneros por el hecho de que estos indígenas se rapaban la cabeza.

Aunque se conocía, gracias a **Reichel-Dolmatoff**, desde la década de los años cuarenta del pasado siglo que los yukos - yukpas practicaban elaborados ritos funerarios que incluían una momificación inicial y entierros secundarios, la primera persona que escribió sobre las calaveras enmascaradas de los yukos fue el antropólogo Álvaro Chávez.

La momificación que se realizó en varias partes del territorio “se basó en la deshidratación del cuerpo por la acción del calor que producía el fuego. No hay prueba de que utilizaran sustancias preparadas o naturales para embalsamar”⁹.

En virtud al informe de **Reichel-Dolmatoff** (1946) se sabe que al término de dos años de mantener el cadáver enfardelado - entierro primario- en la casa del difunto, se procedía a la exhumación y traslado del cadáver en un ritual que incluía preparación de la chicha, baile funeral, suicidio simbólico de las parientas del muerto y colgadura de la momia al techo de las casas de los parientes hasta su retorno a la primera casa en que ésta se efectuó y “*por fin el último de la casa devuelve la momia al que la tuvo primero en su hogar y éste la lleva solo a una cueva solitaria arriba en un alto de la Sierra de Tocaré donde centenares de momias reposan y allá se deja el muerto entre sus antepasados y demás de la tribu*”¹⁰. Este trabajo lo recordó años después, 1991, cuando escribió, “*Aunque nuestra estadía entre los Motilones (hoy reclasificados bajo el nombre de Yuko) fue corta, tuvimos la extraordinaria oportunidad de poder asistir a un ritual funerario, el entierro secundario de un indio que había muerto hacía varios años y cuyos restos eran ahora exhumados y dispuestos nuevamente en una ceremonia muy compleja. Vimos un baile solemne, acompañado de cantos fúnebres,*

en el cual un hombre llevaba a la espalda el cadáver disecado del muerto, envuelto en una estera”¹¹.

Estos informes fueron ratificados por Jaramillo Gómez: “*Cuando alguien muera, el cadáver se coloca en posición fetal en lo alto de un árbol y se entonan cantos fúnebres. Posteriormente, los huesos se llevan a donde yacen otros muertos; entre tanto sus pertenencias se destruyen, la mujer se rapa el cabello, se aísla y se abstiene de comer ciertos alimentos*”¹² y Betania¹³. Esta costumbre funeraria continúa vigente entre los motilones con algunas variantes, pero básicamente se conserva la tradición de colocar los restos exhumados en sitios de difícil acceso en nichos por coberturas rocosas.

Chávez-Mendoza (1977) escribió: “*La arqueología aporta varias calaveras encontradas en una cueva de la Sierra de Perijá, territorio donde moran los actuales Yukos, indígenas de lengua Caribe. Una de estas piezas está cubierta con una capa de arcilla y resinas de color marrón oscuro; los ojos y la boca formados por agujeros rectangulares; en la punta de la nariz incrustada verticalmente una pequeña tira de fibra vegetal y con una faja en la frente, que remata en dos círculos sobre las sienes. Otra, de un niño, lleva pequeñas incrustaciones de concha*”¹⁴. El mismo autor afirmó en 1990, al referirse a sus observaciones iniciales, que “*Los Yukos de la Sierra de Perijá exhumaban a sus muertos para colocarles una máscara de arcilla, miel y brea sobre la calavera, adornada con conchas y semillas*”¹⁵.

En algunas momias Yuko adquiridas, en 1970, por el Instituto Colombiano de Antropología, se observaron tales máscaras y el mismo Instituto, en 1993, adquirió, por intermedio de la antropóloga Leonor Herrera Ángel, tres momias similares¹⁶. **Correal** (1986) no encontró calaveras enmascaradas en la cueva de La Trementina, lugar de entierros secundarios, margen del río Maracas, estribaciones de la Serranía de Perijá¹⁷.

La última mención sobre estas momias la hizo recientemente el antropólogo Felipe Cárdenas Arroyo en el marco del IV Congreso Internacional de Estudios sobre Momias realizado en noviembre de 2001 en Groenlandia¹⁸.

Este tipo de máscaras no se ha observado en elementos arqueológicos colombianos de otras zonas geográficas.

Material

Con estos antecedentes se decidió hacer la presente investigación.

De un total de 16 calaveras enmascaradas (3 cabezas completas en el Instituto Colombiano de Antropología e

Historia, 3 caras, sin cráneos, con máscaras del mismo Instituto; 3 del Departamento de Antropología de la Universidad de los Andes y 7 del Museo de Oro del Banco de la República) se presenta aquí un total de 8.

Aunque ninguna de ellas tiene una datación cronológica asociada, se sabe por los estudios previos que la momificación artificial en lo que hoy es Colombia, se extendió desde el año 470 después de C, hasta 1750 después de C¹⁸.

Estas 8 están constituidas por las 7 del Museo del Oro del Banco de la República y 1 del Departamento de Antropología de la Universidad de los Andes. De las 8 calaveras, 5 corresponden a adultos masculinos jóvenes y 3 a adultos femeninos jóvenes.

A las 7 del Museo del Oro (4 de adultos masculinos jóvenes) y 3 de adultos femeninos jóvenes, se les practicó un estudio antropométrico¹⁹, y a 6 de ellas un estudio fotográfico. De estas 7 momias, 4 tienen algunas partes del esqueleto poscraneal.

Por las condiciones de buena conservación y aprovechando que la calavera de un adulto masculino joven, del Departamento de Antropología de la Universidad de los Andes, reposaba en el Museo de Historia de la Medicina de la Academia Nacional de Medicina de Colombia, a ésta se le hicieron, coordinados por uno de los autores (H. S. T), un detallado estudio antropométrico, un análisis químico de la máscara y un completo estudio de Tomografía Axial Computarizada en tercera dimensión. El estudio antropométrico estuvo a cargo de la antropóloga Helka Alejandra Quevedo, el ingeniero químico Alejandro Reyes Cárdenas y el escanográfico de los médicos radiólogos Ana María Quintero y J. L. Roa.

En el estudio de las 7 momias Yuko del Museo del Oro se obtuvieron los siguientes resultados:

Momia No. 4 (fotografías 1a, 1b, 1c): Número de clasificación: 0004

Edad: Adulto joven (entre 25 y 35 años)

Sexo: Femenino

Área Arqueológica: Serranía del Perijá

Características: Cabeza momificada, conserva mascarilla de resina pardusca oscura, con espesor que varía entre 3 y 4 mm.

La mandíbula está sujeta a las áreas cigomáticas, mediante cuerda de algodón con el fin de mantener su posición anatómica.

Aunque no se obtuvieron diámetros craneales debido a alteraciones de carácter cultural (máscara) y presencia de tejidos, puede decirse que su configuración corresponde al tipo dolico - craneo. Las cuencas orbitarias se encuentran obturadas con resina y alrededor de éstas fueron colocadas chaquiras de concha.

Momia No. 5 (fotografías 2a, 2b, 2c): Número de clasificación: 0005

Edad: Adulto joven (entre 21-30 años)

Sexo: Masculino

Área Arqueológica: Serranía del Perijá

Características: El rostro está cubierto por una mascarilla de resina de color pardusco oscuro. Las cuencas orbitarias se encuentran vacías. Fue posible la obtención de dos diámetros craneales y un índice con los siguientes resultados:

1) Largo máximo del cráneo 172 mm

2) Ancho máximo del cráneo 141 mm

3) Índice craneal horizontal 81.9 mm

El índice craneal horizontal, corresponde a un Braquicráneo. Las piezas dentarias superiores e inferiores muestran limadas las superficies oclusales.

En el paquete marcado con 0005, se conservan la extremidad superior derecha (húmero, cúbito y radio, correspondientes a un individuo), y la mano correspondiente a un niño.

El conjunto comprende igualmente 5 costillas de adulto, y un fragmento de mandíbula.

Momia No. 6 (fotografías 3a, 3b): Número de clasificación: 0006

Edad: Adulto joven (20-25 años)

Sexo: Masculino

Área Arqueológica: Serranía del Perijá

Características: El tronco se encuentra muy deteriorado, y carece de vértebras lumbares.

De las extremidades superiores, sólo conserva un húmero y un omoplato. No incluye extremidades inferiores.

Ha perdido gran parte del tejido epitelial de la cabeza, y se encuentra desarticulada del tronco. El conjunto correspondiente a 0006, incluye un fragmento de cuero cabelludo (lisótrico, castaño oscuro corto).

Sobre el rostro se conserva mascarilla de resina pardusca oscura y alrededor de las cavidades orbitarias chaquiras de concha, como en los casos anteriormente descritos.

Fue posible la obtención de tres diámetros y un índice:

- 1) Largo máximo del cráneo 175 mm
- 2) Ancho máximo del cráneo 124 mm
- 3) Ancho bicigomático 133 mm

El índice craneal horizontal corresponde a un dolicoocráneo.

Momia No. 7 (fotografías 4a, 4b, 4c): Número de clasificación: 0007

Edad: Adulto joven (20 – 30 años)

Sexo: Femenino

Área Arqueológica: Serranía de Perijá

Características: La cabeza se encuentra separada del tronco con pérdida de las primeras 4 vértebras cervicales. Hay deformación craneal artificial fronto-occipital.

Sobre el rostro se conserva mascarilla de resina de color pardusco oscuro. Las cavidades orbitarias están obturadas con semillas de color negro que reemplazan los ojos. Como adorno de la mascarilla, alrededor de las cavidades orbitarias fueron colocadas pequeñas cuentas de concha.

En el alveolo correspondiente al incisivo central inferior izquierdo un cuarzo (SiO₂), reemplaza al diente. (En el estudio fotográfico no se aprecia mandíbula).

Momia No. 0008B (sin fotografía): Número de clasificación: 0008B

Edad: Adulto

Sexo: Masculino

Área Arqueológica: Serranía de Perijá

Características: Muestra mascarilla de resina pardusca muy oscura, parcial calcinación. Hay pérdida de piezas dentarias superiores, aunque no se pudieron obtener diámetros debido a las alteraciones de carácter cultural (máscara), es evidente la presencia de una anchura craneal acentuada.

Se conserva parte del tronco, con tejidos de revestimiento muy deteriorados. Hay vértebras dorsales (con rasgos compatibles con osteoartritis), algunas costillas, húmero izquierdo y omoplatos.

Momia No. 10 (fotografías 5a, 5b, 5c): Momia 00010

Edad: Adulto joven (30 – 35 años)

Sexo: Masculino

Área Arqueológica: Serranía de Perijá

Características: Muestra muy leve deformación fronto-occipital.

El rostro está cubierto con una mascarilla de resina pardusca muy oscura, y las cuencas orbitarias fueron obturadas con semillas redondeadas negras (una cada órbita). Se observa atrición dentaria sobre las superficies oclusales.

Fue posible la obtención de las siguientes medidas:

- 1) Largo máximo del cráneo 162 mm
- 2) Ancho máximo del cráneo 122 mm
- 3) Ancho bicigomático 103 mm
- 4) Altura apertura piriforme 56 mm
- 5) Anchura apertura piriforme 31 mm

Con las medidas de anchura y longitud máxima del cráneo se pudo obtener el Índice craneal horizontal = 81.4

El Índice craneal horizontal configura el tipo Braquicráneo.

Las medidas de anchura y altura de la apertura piriforme permiten la obtención del Índice Nasal = 55.3

Momia No. 11 (fotografías 6a, 6b, 6c): Número de clasificación: 00011

Edad: Adulta joven (25 – 30 años)

Área Arqueológica: Serranía de Perijá

Características: Adheridos al cráneo se muestran las cinco vértebras cervicales. Se observa pérdida del epitelio sobre las paredes craneales, pero se conserva parte del cuero cabelludo en la región occipital.

El rostro se encuentra cubierto por una mascarilla de resina de color pardusco muy oscuro. Las cavidades orbitarias se encuentran obturadas con semillas redondeadas de color negro, y alrededor de éstas fueron colocadas chaquiras de concha. Las piezas dentarias superiores e inferiores fueron limadas y la mandíbula guarda su posición anatómica, sostenida por cuerdas de algodón.

De las 7 momias del Museo del Oro las identificadas como 4, 6, 7, 10 y 11 tienen semillas obturando las órbitas



Fotografía 1. Momia 4 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal, vista izquierda, vista derecha.



Fotografía 2. Momia 5 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal, vista izquierda, vista derecha.



Fotografía 3. Momia 6 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal en decúbito lateral derecho, vista posterior en decúbito lateral derecho.



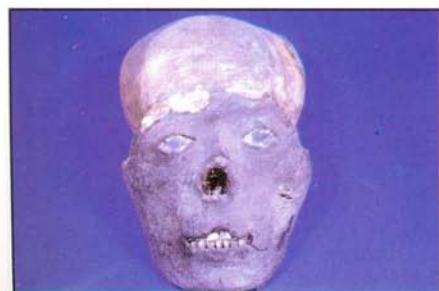
Fotografía 4. Momia 7 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal, vista izquierda, vista derecha.



Fotografía 5. Momia 10 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal, vista izquierda, vista derecha.



Fotografía 6. Momia 11 Museo del Oro del Banco de la República. Vista frontal, vista izquierda, vista derecha.



Fotografía 7. Fotografías de cráneo Yuko prehispánico. A. Vista frontal, se aprecia máscara facial con reconstrucción orbitaria. B. Vista lateral, se aprecia deformidad cultural craneal frontooccipital. C. Rx. simple lateral de cráneo.

oculares. Los hallazgos patológicos en las momias son los siguientes: limaduras de las superficies oclusales de unas piezas dentarias inferiores y un cuarzo en reemplazo de una pieza dentaria (momia 7), vértebras dorsales con osteoartritis (momia 0008b), superficies oclusales con atrición (momia 10) y piezas dentarias superiores e inferiores limadas (momia 11).

Al cráneo identificado como *Yuco 4* (U. A) (fotografías 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g, 7h, 7i, 7j) la antropóloga Helka Alejandra Quevedo le hizo una reconstrucción

(20) en la que las *medidas*, en razón de que *fueron tomadas con la máscara adherida al cráneo, sobre el macizo facial y el hueso frontal, y que el maxilar inferior o mandíbula está articulado tienen un margen de inexactitud.*

Índices

Craneal horizontal 96 Forma del cráneo: Ultrabraquicráneo

Vértico longitudinal 82 Cráneo alto o hipsicráneo

Frontoparietal 60 Anchura craneal: Stenometópico (angosta)

Vértico horizontal 85 Cráneo bajo o tapeino

Jugo frontal 64

Cráneo transversal 48

Gnático flower 1,05 Perfil Prognata o pronunciado

Facial superior 51 Anchura de frente y pómulos o Meseno

Facial 83 Anchura de cara: Euriprosopo o ancha

Morfoscopia craneal

Cráneo con mandíbula o Cránium

Desarrollo glabellar (Martín 1-6): 5

Creta occipital (Broca 0-5): 1

Apófisis mastoidea: Grande (mayor de 20 mm) 34 mm

Deformación: fronto occipital bilateral

Musculatura muy desarrollada

Sinostosis de las suturas craneales

Midlamdoidea 2; lamda 2; obelion 2; sagital anterior 2; bregma 2; midcoronal 2, pterion 3; esfenofrontal 3; esfetemporal inferior; esfenotemporal superior 2.

Sistema Caja Craneal: 15, Sistema Lateral anterior: 11.

Cráneo: Ultrabraquicráneo, cara ancha, frente y pómulos medios; horizontalmente el cráneo es bajo y longitudinalmente alto, frente angosta y con perfil pronunciado o prognata. El cráneo presenta características compatibles con ancestro racial mongoloide, es decir se observa aplanamiento facial, rostro ancho, nariz deprimida en raíz y dorso y aplanamiento del hueso frontal.

Se promedia una edad entre 25 - 25 años, no es muy exacta ya que el método de observación de las suturas craneales no es preciso y se recomienda asociar estos resultados con otros métodos como la obliteración de los centros de osificación y erupción y desgaste dental.

El cráneo deja ver una deformidad cultural fronto-occipital. El maxilar inferior está fijado en posición anatómica, mediante cuerdas de algodón. Las cavidades orbitarias están ocupadas con sendas semillas grandes, al igual que las momias, 5, 7, 10 y 11 del Museo del Oro, y las escleras

están recreadas mediante pequeñas semillas o cuentas de piedra caliza. Se identifica además en la base del cráneo un agujero de trepanación post mortem occipital derecho que se comunica con el foramen magno (Fig. 2). Las cavidades orbitarias se encuentran obturadas con semillas redondeadas de color negro, y alrededor de éstas fueron colocadas chaquiras de concha.

Del total de 8 momias, 5 tienen semillas obturando las órbitas.

El ingeniero químico Alejandro Reyes Cárdenas el día 16 de junio de 2001 tomó dos fragmentos de la máscara sólidos de color café oscuro (muestras N°1 y N°2) y un fragmento de máscara de fibra color habano (muestra N° 3) y los sometió a análisis químico de cromatografía de gases acoplado a masas y ICP-MS.²¹

A. Cromatografía de gases acoplado a masas

Equipo marca: Agilent,

Modelo: GC 6890 plus; MSD 5973N; ALS 7683;

Columna: HP-5MS 30 m x 0.25 mm

Temperatura de columna: 220°C a 280°C a 5°C/min

Temperatura fuente y filtro: 250°C; 150°C

Gas de arrastre: Helio

Volumen de inyección: 0.2 ul

Las muestras no presentaron comportamiento cromatográfico.

B. ICP- MS.

Equipo marca: Agilent

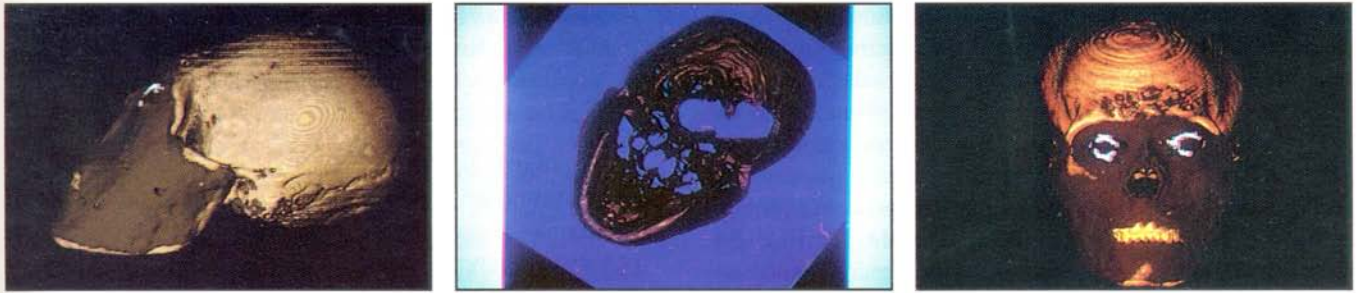
Modelo: HP4500 series 300

Gas arrastre: Argón.

Radiofrecuencia: 1330 W.

Modo de adquisición: Espectro

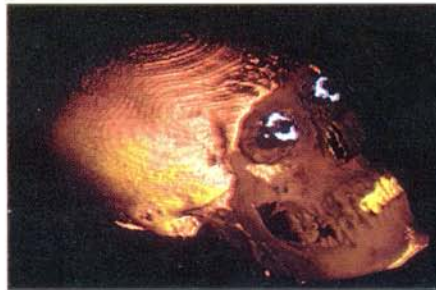
Las muestras N° 1 y N° 2 presentaron pesos atómicos de 107 unidades de masa atómica (u.m.a), característico de la Plata, y de 202 u.m.a característico de mercurio. La muestra N° 3 presentó los siguientes elementos: 39 u.m.a. característico del potasio, 43 u.m.a. característico del calcio, así como la presencia de plata y mercurio. Además se encontraron elementos tales como: sodio, magnesio e hierro, en menores proporciones.



Fotografía 8. Imágenes tomográficas axiales que demuestran: A. Estructuras anatómicas óseas. B. Foramen de trepanación. C. Máscara y elementos orbitarios.



Fotografía 9. Reconstrucción tridimensional lateral.



Fotografía 10. Reconstrucciones tridimensionales con técnica de transparencia: A. Sin transparencia, visualización completa de la máscara. B. Transparencia del 75%.



Fotografía 10. C. 0%, visualización parcial de elementos óseos subyacentes. D. y E. Retiro completo de la máscara.



Realizados los análisis instrumentales se concluyó que las muestras N°1 y N° 2 son de carácter inorgánico, encontrándose plata y mercurio, elementos escasos en la naturaleza. La muestra N° 3 es de carácter orgánico (elementos como potasio, calcio, sodio, magnesio e hierro son abundantes en la naturaleza).

La tomografía computarizada fue practicada por los médicos radiólogos Ana María Quintero y JL Roa, empleando un equipo Toshiba Xvision GX. Se practicaron

cortes axiales con técnica helicoidal y se obtuvieron imágenes axiales cada 2 mm; los datos vírgenes fueron transmitidos a una estación de trabajo Xtension donde se procesaron para obtener reconstrucciones tridimensionales con técnica SSD (Shaded Surface Display).

El análisis de las imágenes axiales obtenidas permitió identificar claramente las diferentes estructuras anatómicas óseas, el defecto óseo en el occipital derecho, que se comunica con el foramen magno, presumiblemente em-

pleado para la extracción del cerebro; así mismo, se identificaron claramente las órbitas y en su interior imágenes semicirculares con diámetro aproximado de 2.8 cm de contornos bien definidos, cuya densidad promedio es de 381 UH (Unidades Hounsfield), que se encuentran ocupando el tercio anterior de estas cavidades y que corresponden al elemento empleado para simular los globos oculares, probablemente algún tipo de semilla. Se visualizan también pequeños elementos redondeados de alta densidad en la superficie de éstas, con densidad promedio de 1333 UH que corresponden a lo descrito anteriormente como piedra caliza, que corresponde al material empleado para imitar las escleras. Por último se identifica claramente la máscara en íntimo contacto con las estructuras óseas faciales y dando sostén a los elementos orbitarios mencionados, su densidad promedio es de 89 UH. Se anota que la mitad posterior de las cavidades orbitarias se encuentra vacía y las paredes posterolaterales de las órbitas están conservadas²².

El relleno de los ojos observado en algunas de las calaveras parece corresponder a lo visto directamente y a través del análisis de densidades escanográficas con semillas. Éstas podrían corresponder, según Fernando Montoya, de la Fundación ERIGAIE, a anonáceas (de la familia de la chirimoya: chirimoya, anón morado, guanábana, anón pelón o corazón anón, guanabanitos silvestres, cadmia, cargadero, malagueto o azotacaballo).

Las imágenes de reconstrucción tridimensional permiten apreciar más claramente las relaciones de las estructuras óseas con la máscara y los elementos oculares, su disposición espacial; así mismo, se visualiza claramente el defecto óseo occipital.

Discusión

La utilización de máscaras en los diferentes pueblos prehispánicos está suficientemente demostrada. Basta recordar el importante trabajo del antropólogo colombiano Álvaro Chávez Mendoza, titulado *Máscara precolombina*, donde escribió que: “*En el ámbito político encarna y mantiene el poder de los nobles y soberanos. Socialmente es lazo de unión entre los clanes, simboliza los antepasados y es elemento de identidad étnica; engalana las ceremonias y es complemento en el ritual de la música y la danza. Bélico instrumento en las batallas, espanta y destroza tanto como las lanzas, garrotes y dardos; su veneno es letal como el de las flechas empoñozadas. Atrae mágicamente a los animales en las partidas de caza; distingue a guerreros y sacerdotes e idealiza y purifica a los muertos. Es, en resumen y sencila-*

mente, la otra cara; la siempre anhelada por la humanidad inconforme”²³. En ese trabajo Chávez, apoyándose en Víctor Bedoya, cuenta que los Pijaos usaron máscaras de piel humana.²⁴

Sobre este particular hace unos años uno de los autores, **Sotomayor Tribín**, informó de una máscara de la cultura Jama – Coaque (costa del Pacífico norte ecuatoriano), con una clara representación de la enfermedad denominada verruga peruana²⁵.

Las máscaras, siguiendo a Levi – Strauss, “no se pueden interpretar en sí mismas y por sí mismas, como objetos separados. . . ”²⁶ “. . . una máscara no es ante todo lo que representa sino lo que transforma, es decir elige no representar”²⁷.

El hecho de que las momias enmascaradas no hayan sido encontradas sino pocas veces en los lugares de enterramientos secundarios del pueblo yukio, hace pensar que esa técnica debió haber sido reservada para ciertos personajes de élite. Estos enmascaramientos de las calaveras pudieron ser una forma de distinguir a esos personajes y mantenerlos en contacto con los vivos.

Aunque el análisis químico realizado del material de la máscara no pudo sino revelar de forma inespecífica la presencia de componentes inorgánicos y orgánicos, las evidencias etnohistóricas hacen muy probable que la presunción de la utilización de la cera sea correcta. Pedro de Cieza de León escribió, en el siglo XVI, sobre los indígenas a los que en la arqueología moderna del Valle del Cauca y medio Cauca, se conocen como los responsables de la fase Sonso,²⁸ del continuo Calima conocido como Ilama, Yotoco, Sonso: “*En esta provincia de Pozo. . . Dentro de las casas de los señores había, entrando en ellas, una renglera de ídolos, que tenían cada una quince o veinte, todos a la hila, tan grandes como un hombre, los rostros hechos de cera, con grades visajes, de la forma y manera que el demonio se les aparecía; dicen que algunas veces cuando por ellos era llamado, se entraba en los cuerpos o talles destos ídolos de palo, y dentro dellos respondía; las cabezas son de calavernas (calaveras) de muertos*” .²⁹

“*Caciques y señores había seis cuando yo entré en este valle. . . Por mitad deste valle, que se nombra de Lile, pasa un río, sin otros que de las sierras abajan a dar en él. . . Junto a este valle confina un pueblo, del cual era señor el más poderosos de todos sus comarcas, y a quien todos tenían más respeto, que se llamaba Petecuy. En medio deste pueblo está una gran casa de madera muy alta y redonda, con una puerta en el medio; en lo alto*

della había cuatro ventanas, por donde entraba claridad; la cobertura era de paja; así como entraban dentro, estaba en alto una larga tabla, la cual atravesaba de una parte a otra, y encima della estaban puestos por orden muchos cuerpos de hombres muertos de los que habían vencido y preso en las guerras, todos abiertos; y abríanlos con cuchillos de pedernal y los desollaban, y después de haber comido la carne henchían los cueros de ceniza y hacíanles rostros de cera con sus propias cabezas, poníanlos en la tabla de tal manera que parecían hombres vivos”³⁰.

Este mismo autor escribió sobre la miel y la cera en la región de los indígenas vecinos de Cartago: “Como estos cañaverales que he dicho sean tan cerrados y espesos; . . . entre ellos hay muchas y muy altas ceibas. . . En lo interior dellos o de algunos hay grandes cuevas y concavidades, donde crían dentro abejas, y formado el panal, se saca tan singular miel como la de España. Unas abejas hay que son poco mayores que mosquitos; junto a la apertura del panal, después que lo tienen bien cerrado, sale un cañuto que parece cera, como medio dedo, por donde entran las abejas a hacer su labor, cargadas de alicas de aquello que cogen de la flor; la miel destas es muy rala y algo agra, y sacarán de cada colmena poco más que un cuartillo de miel; otro linaje hay destas que son poco mayores, negras, porque las que he dicho son blancas; el abertura que éstas tienen para entrar en el árbol es de cera revuelta con cierta mixtura, que es más dura que piedra; la miel es, sin comparación, mejor que la pasada, y hay colmena que tiene más de tres azumbres; otras abejas que son mayores que las de España, pero ninguna dellas pica más de cuanto, viendo que cargan con la colmena, cargan sobre el que corta el árbol, apegándose a los cabellos y las barbas; de las colmenas destas abejas grandes hay alguna que tiene más de media arroba y es mucho mejor que todas las otras; algunas destas saqué yo, aunque más vi sacar a un Pedro de Velasco, cecino de Cartago”³¹.

Sobre la utilización de la miel y la cera el padre Juan Rivero escribió al referirse a los tunebos, de Boyacá y Casanare: “Sacan del monte mucha miel, cera negra, cueros de tigres, y algunas veces de lobos de agua que cogen en sus pesquerías, y con estos artículos compran de los españoles mantas y lienzos para vestirse”³².

La deformación craneana que se ve en las momias examinadas también fue observada en el siglo XIX por Manuel Ancízar entre los restos de indios motilones hallados en el sitio Potrerogrande de la provincia de Santander: “Los cráneos de hombre presentan la frente comprimida y plana. . . era manifiesto que había sido

achatada por medios mecánicos, pues las suturas laterales se veían trastornadas en parte”³³, por Orozco en las localidades de Mutiscua y Pamplona³⁴, por Galazar en el área de Vélez y la cueva de la Belleza³⁵, y por Gonzalo Correal en su investigación de la cueva de la Trementina, en donde éste encontró deformaciones craneales artificiales de tipo tabular oblicuo (fronto occipital) y anular³⁶.

Conclusiones

La evidencia arqueológica de las calaveras enmascaradas de las momias Yuko señala su peculiaridad dentro de los procesos de entierros secundarios realizados en varias partes de lo que hoy es Colombia y confirma la observación que sobre calaveras enmascaradas hizo el soldado-cronista Pedro de Cieza de León, en otra parte del territorio, en el Valle del Cauca, en el siglo XVI. Ella también revela la práctica de la deformación cultural del cráneo, de la trepanación post mortem y la presencia de limaduras dentales, atrición dental y sustitución dental post mortem por cuarzos, y de la osteoartritis en las vértebras dorsales.

Agradecimientos

Los autores agradecen al doctor Roberto Lleras, subdirector técnico del Museo del Oro del Banco de la República, por permitirnos el acceso y estudio de las momias Yuko, propiedad del Museo y a la estudiante de medicina, señorita María Alejandra Rodríguez Contreras por su colaboración en el estudio fotográfico de estas momias; también a la antropóloga Alejandra Quevedo, al ingeniero químico Alejandro Reyes Cárdenas y a los médicos radiólogos por su respectiva participación en el estudio de la calavera Yuko, propiedad del Departamento de Antropología de la Universidad de los Andes.

Bibliografía

1. **Landínez Salamanca, A.** 1942. *Apuntaciones sobre la etnología y sociología de los motilones. Estudio de las heridas producidas por sus flechas.* Tesis de grado para optar al título de doctor en Medicina y Cirugía. Universidad Nacional. 156 p.
2. **Rivet, Paul,** 1973. *Los orígenes del hombre americano.* Fondo de Cultura Económica. México, p. 168.
3. _____, 1973. *Los orígenes del hombre americano.* Fondo de Cultura Económica. México, 1973, p. 151.
4. **Coon, Carleton S.** 1984. *Adaptaciones raciales. Un estudio de los orígenes, naturaleza y significado de las variaciones raciales en los humanos.* Labor Universitaria. Barcelona, 1984, pp. 110- 111.

5. **Correal Urrego, Gonzalo.** 1985. *Concepto antropométrico y etnográfico sobre los restos hallados en la Cueva de la Trementina, Departamento del Cesar.* Maguaré N° 3. Revista del Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, pp. 89-109.
6. **Jaramillo Gómez, Orlando.** 1987. *Yuko-Yukpa.* En Introducción a la Colombia Amerindia. Instituto Colombiano de Antropología, Editorial Presencia Ltda. Bogotá, pp. 75-82.
7. **Reichel-Dolmatoff, Gerardo.** 1946. *Los Motilones.* Rev. Del Instituto Etnológico Nacional. Vol. II Bogotá, p. 18.
8. **Arango Montoya, Francisco.** 1977. *MXV. Colombia. Atlas Indigenista.* Ministerio de Educación Nacional. Litografía Arco, Bogotá, p. 63.
9. **Cárdenas Arroyo, Felipe.** 1992. *Momias, santuarios y ofrendas. El contexto ritual de la momificación en el Altiplano Central de los Andes Colombianos.* Actas del I Congreso Internacional de Estudios sobre Momias. Museo Arqueológico y Etnográfico de Tenerife, Tomo II, pp. 629-633.
10. **Reichel-Dolmatoff, Gerardo.** 1946. *Los Motilones.* Rev Del Instituto Etnológico Nacional. Vol. II Bogotá, p. 18.
11. ————. 1991. *Indios de Colombia. Momentos vividos - Mundos concebidos.* Villegas Editores, Bogotá, pp. 54-55.
12. **Jaramillo Gómez, Orlando.** 1987. *Yuko-Yukpa.* En Introducción a la Colombia Amerindia. Instituto Colombiano de Antropología, Editorial Presencia Ltda. Bogotá, pp. 75-82.
13. **Betania, de María Ana.** 1964. *Mitos, Leyendas y Costumbres.* Editorial Conculsa, Madrid p. 118.
14. **Chávez Mendoza, Álvaro.** 1977. *Máscara precolombina.* Ediciones Zazacuabi, Bogotá, p. 49.
15. ————. 1990. *La Máscara, Ritual y Mito.* Periódico A La Zaga de la América Oculta. Expedición Humana, Universidad Javeriana, Noticias número 6, pp. 3.
16. **Correal Urrego, Gonzalo.** 2001. *Evaluación de Momias de la colección del Museo del Oro del Banco de la República.* Bogotá. Documento interno del Museo.
———. 1985. *Concepto antropométrico y etnográfico sobre los restos hallados en la Cueva de la Trementina, Departamento del Cesar.* Maguaré N° 3. Revista del Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, pp. 89-109.
17. **Cárdenas Arroyo, Felipe.** 2001. *IV Congreso Internacional de estudios sobre momias.*
18. **Cárdenas Arroyo, Felipe.** 1992. *Momias, santuarios y ofrendas. El contexto ritual de la momificación en el Altiplano Central de los Andes Colombianos.* Actas del I Congreso Internacional de Estudios sobre Momias. Museo Arqueológico y Etnográfico de Tenerife, Tomo II, pp. 629-633.
19. **Correal Urrego, Gonzalo.** 2001. *Evaluación de Momias de la colección del Museo del Oro del Banco de la República.* Bogotá. Documento interno del Museo.
20. **Quevedo Hidalgo, Helka Alejandra.** 2002. *Reconstrucción Paleantropológica referencia Yuko 4 U. A.* Documento personal.
21. **Reyes Cárdenas, Alejandro.** 2002. *Análisis químico de muestra de Cráneo Yuco- Serranía del Perijá 4 U. A.* Documento personal.
22. **Quintero, AM (1). Sotomayor, HA (2). Roa, JL (3)** 2002. *Escanografía, Arqueología y Paleopatología.* Memorias del XXI Congreso Interamericano de Radiología y XVII Congreso Colombiano de Radiología; Cartagena.
23. **Chávez Mendoza, Álvaro.** 1977. *Máscara precolombina.* Ediciones Zazacuabi, Bogotá, p. 51.
24. ————. 1977. *Máscara precolombina.* Ediciones Zazacuabi, Bogotá, p. 49.
25. **Sotomayor Tribín, Hugo.** 1994. *A propósito de la bartonellosis en una máscara ecuatoriana precolombina.* MEDICINA. Academia Nacional de Medicina No. 36.
26. **Lévi -Strauss.** 1985. *La vía de las máscaras.* Siglo Veintiuno Editores, segunda edición, México D. F., pp. 18.
27. ————. 1985. *La vía de las máscaras.* Siglo Veintiuno Editores, segunda edición, México D. F., p. 124.
28. **Herrera, Leonor.** 1992. *“El período Sonso Tardío y la conquista española.* En Calima. Diez mil años de historia en el suroccidente de Colombia. Fundación Pro-Calima, Bogotá pp. 151-177.
29. **De Cieza de León.** 1984. *La crónica del Perú.* Historia 16. Madrid, pp. 128-129.
30. ————. 1984. *La crónica del Perú.* Historia 16. Madrid pp. 150-151.
31. ————. 1984. *La crónica del Perú.* Historia 16. Madrid, pp. 140-141.
32. **Rivero, Juan.** 1956. *Historia de las misiones de los llanos de Casanare y los ríos Orinoco y Meta.* Empresa Nacional de Publicaciones, Bogotá, pp. 58.
33. **Ancizar, Manuel.** 1984. *Peregrinación de Alpha. Tomo II.* Biblioteca Banco Popular, Bogotá, Tomo II, p. 197.
34. **Orozco C, Jaime.** 1967. Manuscrito inédito. *Estudio craneométrico en Pamplona.* Bogotá.
35. **Galarza, Marta Emilia.** 1981. Manuscrito inédito. *La deformación craneal en Colombia.* Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado. Departamento de Antropología. Bogotá.
36. **Correal Urrego, Gonzalo.** 1985. *Concepto antropométrico y etnográfico sobre los restos hallados en la Cueva de la Trementina, Departamento del Cesar.* Maguaré N° 3. Revista del Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, pp. 89-109.

UNA ESPECIE NUEVA DE *GUZMANIA* (BROMELIACEAE) DE LA AMAZONIA COLOMBIANA Y NOTAS SOBRE LAS ESPECIES RELACIONADAS

por

Julio Betancur* & Nelson R. Salinas**

Resumen

Betancur J. & N.R. Salinas: Una especie nueva de *Guzmania* (Bromeliaceae) de la Amazonia colombiana y notas sobre las especies relacionadas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 15-24. 2003. ISSN 0370-3908.

Se describe e ilustra una especie nueva de *Guzmania* (Bromeliaceae) de la Amazonia colombiana y se presenta una sinopsis del grupo de especies al cual pertenece, y que se denomina como “grupo *Guzmania morreniana*”. Se incluyen redescriptiones para las seis especies que lo conforman: *G. acuminata*, *G. eduardii*, *G. glomerata*, *G. longibracteata*, *G. morreniana* y *G. tenuifolia*. La última especie mencionada había sido descrita como un variedad de *G. morreniana*, pero después de considerar la variación morfológica dentro del grupo se eleva al rango de especie.

Palabras clave: Bromeliaceae, *Guzmania*, Grupo *Guzmania morreniana*, Florística neotropical.

Abstract

A new species of *Guzmania* (Bromeliaceae) from Vaupés, Colombian Amazon, is described and illustrated. Also a brief revision is given of the related species, which are named as “*G. morreniana* group”. Descriptions for the six species of the group (*G. acuminata*, *G. eduardii*, *G. glomerata*, *G. longibracteata*, *G. morreniana* y *G. tenuifolia*) are presented. *G. tenuifolia* was described as a variety of *G. morreniana*, but after the examination of the morphologic variation within the “*G. morreniana* group” it is changed to the specific rank.

Key words: Bromeliaceae, *Guzmania*, *Guzmania morreniana* group, Neotropical floristics

* E-mail: jbetanc@ciencias.unal.edu.co Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia.

** E-mail: salinas_nr@yahoo.com

Introducción

De las tres subfamilias de Bromeliaceae, Tillandsioideae es la que contiene mayor número de especies (Smith & Downs 1977) y la que presenta más problemas en la delimitación de los géneros y los grupos naturales. *Guzmania*, con cerca de 210 especies (Smith & Downs 1977; Luther & Sieff 1994, 1997; Luther 2001), es uno de los géneros más ricos de la subfamilia Tillandsioideae y sus principales centros de distribución se encuentran en las vertientes amazónica y pacífica de los Andes (Betancur & Jaramillo 1998). Las relaciones taxonómicas dentro de *Guzmania* no son claras, al igual que para los demás géneros de la subfamilia.

En desarrollo de la revisión taxonómica de las bromeliáceas del departamento del Vaupés (Amazonia colombiana) se encontró una especie nueva de *Guzmania*. Para definir sus relaciones taxonómicas se revisaron y se describen algunas de las especies afines, dado que conforman un grupo al que informalmente denominamos "*Guzmania morreniana*". Este grupo lleva el nombre de la primera especie descrita y debe considerarse como una herramienta de trabajo mientras no se establezcan las relaciones de parentesco existentes dentro del género. En este trabajo se presenta la descripción de la especie nueva junto con una sinopsis del grupo propuesto.

***Guzmania longibracteata* Betancur & Salinas, sp. nov. Figs. 1, 2A, 2B**

Tipo. Colombia. Vaupés: municipio Mitú, corregimiento Acaricuara, comunidad El Consuelo (etnia Yurutí), varador Zapata, unión entre los caños Yí y Paca, ca. 200 m alt., ca. 0° 41.4' N – 70° 15.5' W, dic 2001, *J. Betancur & N. Castaño 9812* (holótipo COL).

Diagnosis. Herba epiphytica circ. 0.45 m. alta. Folia ligulata, lamina 27-38 cm. longa et 3-3.2 cm. lata, viridia. Inflorescentia composita, 10.5 cm. longa et 14 cm. lata, dense multiflora. Pedicelli 2-4 mm. longi. Sepala 22-24 mm. longa et 4 mm. lata, acuta. Petala 40 mm. longa et 4 mm. lata, anguste rotundata. Stamina libera circ. 3 mm. longa, antherae 5-6 mm longae. Stylus 23-24 mm. longus.

Hierba epífita, ca. 0.45 m de altura. **Hojas** arrosietadas, 12-15 por individuo, 35-49 cm de largo, cartáceas, con numerosas venas paralelas y emergentes que recorren longitudinalmente toda la superficie, pero más notorias hacia la lámina; vaina 8-11 x 5.7-6 cm, elíptico-oblonga, verde pálido, lepidota por ambas superficies, con esca-

mas homogénea y densamente distribuidas, elípticas o redondeadas, café oscuras, persistentes; lamina 27-38 x 3-3.2 cm, ligulada y levemente más ancha hacia el ápice, ápice apiculado y más o menos esclerótico, verde concolora, después del secado generalmente con franjas pálidas hacia la margen, glabrescente por ambas superficies, con escamas distribuidas esparcidamente, pero más densas hacia la base y la superficie adaxial, oblatas, café claro y caedizas. **Escapo** 32 cm de largo x 7-9 mm de diámetro, sobresaliendo por encima de las hojas, estriado, glabro, cubierto por las brácteas. **Brácteas del escapo** fuertemente imbricadas, mucho más largas que los entrenudos, las basales 3-26 x 3-3.4 cm y foliáceas, las apicales 9-13 x 3.3-4.2 cm y ovado-lanceoladas, vaina amplexicaule, ápice acuminado, con numerosas venas emergentes que recorren longitudinalmente toda la superficie, menos conspicuas hacia el ápice, rojo-naranja y la base verde, punteado-lepidotas por ambas superficies, densamente hacia la base y esparcidamente hacia el ápice. **Inflorescencia** erecta, 10.5 x 14 cm, dos veces dividida (bipinnada), digitada, capitada, con 7 espigas densamente dispuestas y alcanzando casi el mismo nivel, con las brácteas superiores del escapo y las primarias involucradas. **Raquis de la inflorescencia** oculto, ca. 15 mm de largo x 5 mm de diámetro, glabro. **Brácteas primarias** disminuyendo de longitud de la base hacia el ápice de la inflorescencia, las basales 8.5-9 x 3.2-3.5 cm e igualando las espigas, las apicales 5-5.5 x 2.4-2.6 cm y más cortas que las espigas, similares a las superiores del escapo, ovado-lanceoladas, la base adpresa a la espiga y la mitad apical más o menos arqueada, dejándola al descubierto, ápice agudo a acuminado, cartáceas, con numerosas venas emergentes que recorren longitudinalmente toda la superficie, rojas con las bases variegadas de verde, esparcidamente punteado-lepidotas por ambas superficies. **Pedúnculo de la espiga** oculto, 4-5 mm de largo x 6-9 mm de diámetro, aplanado, esparcidamente lepidoto. **Espigas** adpresas a ascendentes, organizadas en espiral, 7-8.5 x 3-3.5 cm, todas aproximadamente del mismo tamaño, estrobiliformes, con más de 30 flores, densifloras; raquis oculto. **Brácteas florales** adpresas, densamente imbricadas, espiraladas, todas fértiles, 3.3-4.3 (-5.3) x 1-1.5 (-2.6) cm, las basales más cortas y anchas que las apicales, mucho más largas que los sépalos, las basales ovadas a lanceoladas y con el ápice apiculado, las apicales oblongas y con el ápice obtuso a redondeado, ápice ligeramente involuto y cuculado, cartáceas con márgenes membranosas, fuertemente carinadas en la mitad basal y en el extremo apical, con numerosas venas emergentes que recorren longitudinalmente toda la superficie, rojas con la base verde-amarilla y el extremo apical amarillo, esparcidamente punteado-lepidotas por ambas superficies.

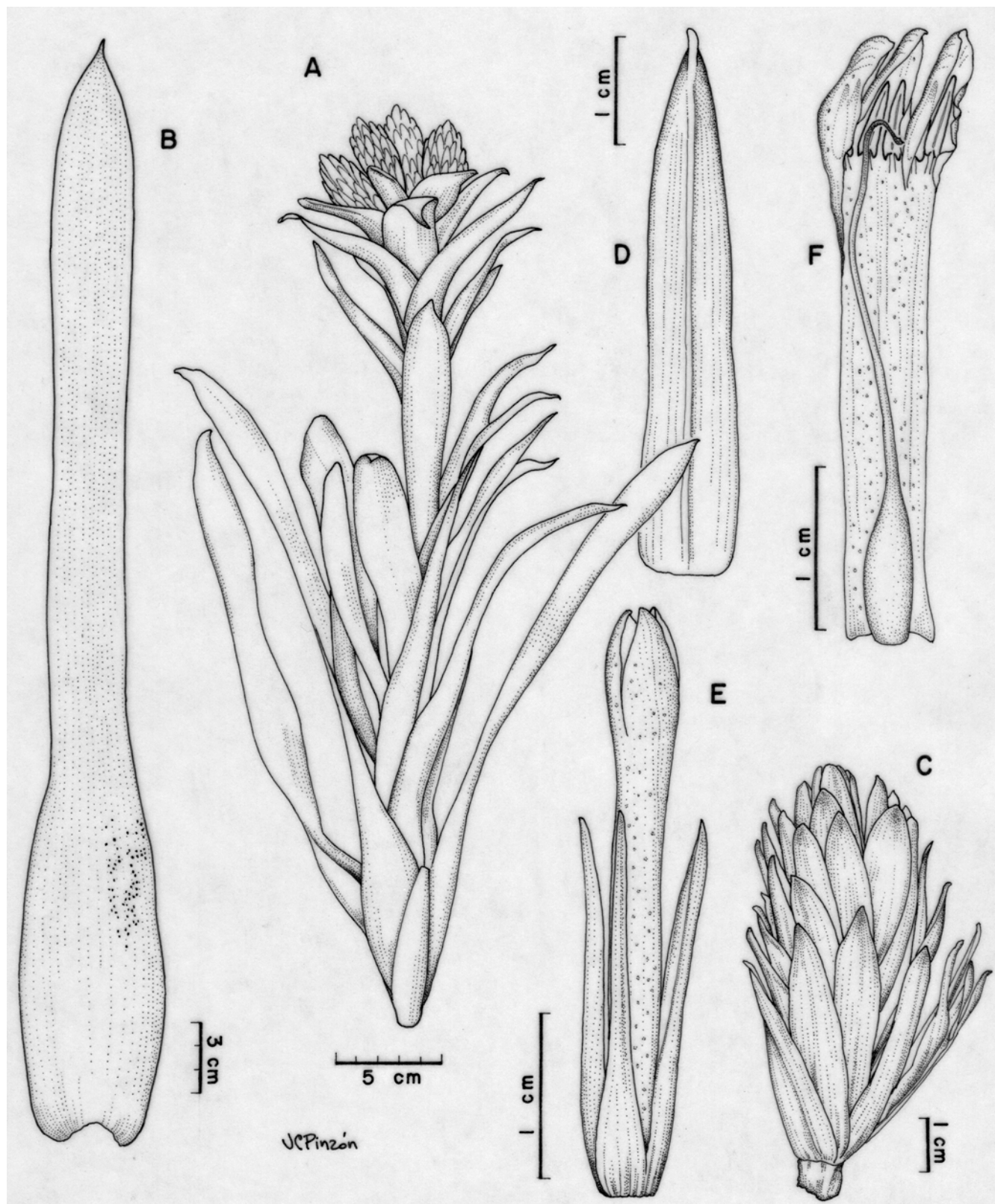


Figura 1. *Guzmania longibracteata* Betancur & Salinas (ilustración del holotipo, Betancur 9812, COL).

Pedicelo floral 2-4 mm de largo x 2-3 mm de diámetro, esparcidamente lepidoto. **Sépalos** 22-24 x 4 mm, connatos 2-3 mm, oblongo-lanceolados, ápice agudo, cartáceos, el anterior ecarinado y los posteriores fuertemente carinados, con 11-13 venas emergentes que recorren longitudinalmente toda la superficie, márgenes membranosas e involutas especialmente hacia el ápice, esparcidamente punteado-lepidotos. **Corola** eligulada, gamopétala, 40 mm de largo, tubo corolino 30 mm de largo, hipocrateriforme, membranácea, nervada por toda su longitud, excepto hacia las márgenes, esparcidamente punteado-lepidota; lóbulos libres 10 x 4 mm, ovado-oblongos, ápice redondeado, fuertemente cuculados. **Estambres** 6, incluidos, epipétalos; filamento libre por 3 mm, 1 mm de ancho, aplanado; anteras dorsifijas, 5-6 x 1 mm. **Ovario** 7-8 mm de largo x 2-2.5 mm de diámetro, cilíndrico, ápice agudo, glabro; estilo 23-24 mm de largo, aplanado; estigma incluido, 1-2 mm de largo, trifido, densamente papilado. **Frutos** no vistos.

Etimología. El nombre hace referencia a que las brácteas florales de *G. longibracteata* son mucho más largas que en las especies afines. Por ello, característicamente, sobrepasan ampliamente a los sépalos.

Relaciones taxonómicas. La especie más afín a *G. longibracteata* es *G. eduardii* André ex Mez, especialmente porque, dentro del grupo al que pertenecen, (Tabla 1) presenta el escapo más corto (12-32 cm vs. más de 45 cm), las brácteas del escapo y las primarias son de color rojo intenso (vs. verdes a cafés), las brácteas florales son más largas (27-53 mm vs. menos de 25 mm) y exceden mucho a los sépalos (vs. igualándolos).

Vegetativamente, *G. eduardii* y *G. longibracteata* se diferencian principalmente (Tabla 1) porque *G. eduardii* tiene las vainas de color café oscuro (vs. pálida en *G. longibracteata*), el envés foliar púrpura (vs. concoloro con la haz) y el ápice de la lámina acuminado a agudo (vs. apiculado). Por otra parte, el escapo en *G. eduardii* es más corto (12-25 cm) y está oculto por las hojas, mientras que en *G. longibracteata* es más largo (32 cm) y sobrepasa las hojas. Así mismo, el tamaño de la inflorescencia es menor en *G. eduardii* (5-8 cm de largo y 5-7 cm de diámetro vs. 10.5 y 14 cm). *G. eduardii* tiene las espigas más o menos aplanadas y elíptico-obovadas (vs. estrobiliformes), más pequeñas (4.5-6 cm vs. 7-8.5 cm) y con menos flores (menos de 8 vs. más de 20). En *G. eduardii* las brácteas florales son más pequeñas (27-34 cm vs. 33-53 cm), ecarinadas (vs. carinadas) y de color verde a amarillo pálido, ocasionalmente variegadas de rojo, mientras que en *G. longibracteata* son rojas con la base verde-amarillo y el extremo apical amarillo. Por último, el tubo corolino es

más corto en *G. eduardii* (17-20 mm vs. 30 mm). Por otra parte, *G. longibracteata* se conoce sólo de la Amazonia colombiana, mientras que *G. eduardii* es endémica del Chocó Biogeográfico.

Distribución y hábitat. Especie conocida únicamente de la localidad tipo, la que hace parte de la planicie amazónica de Colombia. Según el sistema de zonas de vida de Holdridge (Espinal-T. 1990) esta región hace parte del bosque húmedo tropical (bh-T) e incluye una serie de cerros y serranías aisladas pertenecientes a la formación del Escudo de las Guayanas. La especie crece como epífita en bosques primarios, húmedos y relativamente bajos.

El "grupo *Guzmania morreniana*"

Las especies del "grupo *Guzmania morreniana*" se caracterizan básicamente por tener las inflorescencias compuestas y densamente digitadas, con las brácteas superiores del escapo y las primarias basales involucradas, con 6-12 espigas y porque los sépalos están incluidos dentro de las brácteas florales. A continuación se presentan descripciones morfológicas diagnósticas para las especies del grupo junto con un cuadro comparativo. (Tabla 1).

Guzmania acuminata L. B. Sm., *Phytologia* 4: 359, 1953.

Hierba 0.5-0.75 m de altura. Hojas 50-60 cm de largo; vaina, 8-10 x 5-7 cm, elíptica, verde; lamina 40-42 x 2 cm, linear, ápice acuminado a atenuado, envés verde. Escapo visible por encima de las hojas, 58-60 cm de largo x 7-10 mm de diámetro. Brácteas superiores del escapo ovado-lanceoladas, ápice atenuado. Inflorescencia 4-7 cm de largo x 7.5-8.5 cm de diámetro, con 7-10 espigas. Brácteas primarias igualando o excediendo las espigas, ovado-lanceoladas, ápice atenuado, verdes. Pedúnculo de la espiga 1-3 mm de largo. Espiga 3 cm de largo, estrobiliforme, con más de 20 flores. Bráctea floral 14-15 mm de larga, igualando o excediendo los sépalos, ovada a oblata, ápice apiculado, ecarinada, verde. Pedicelo floral 1-1.5 mm de largo. Sépalos 11-14 mm de largo, connatos por 2-4 mm, obovados, ápice redondeado, cartáceos y con márgenes membranosas, el anterior ecarinado y los posteriores carinados. Corola blanca. Cápsula 22-23 mm de largo, excediendo las brácteas florales; semilla 12-13 mm de largo.

Distribución. Es una especie con distribución restringida a la vertiente oriental de los Andes del sur de Colombia (Putumayo) y del norte del Ecuador (Napo, Morona-Santiago, Pastaza), entre 720 y 1330 m de altitud (Smith & Downs 1977; Luther 1999).

Tabla 1. Principales caracteres diagnósticos de las especies del grupo "*Guzmania morreniana*"

Característica morfológica	<i>G. acuminata</i>	<i>G. eduardii</i>	<i>G. glomerata</i>	<i>G. longibracteata</i>	<i>G. morreniana</i>	<i>G. tenuifolia</i>
Presencia de estolones	no	no	frecuentemente	no	no	no
Longitud de las hojas (cm)	50-60	(28-) 38-48 (-74)	(40-) 50-100	35-49	110	55-95
Longitud de la vaina (cm)	8-10	8-11	10-13	8-11	sin datos	5-5.5
Ancho de las vainas (cm)	5-7	(4.5-) 5.5-7	7-9.5	5.7-6	7-8	3.3-3.6
Color de las vainas	verde	verde, café oscuro en la base	café oscuro	verde	verde, café en la base	café
Forma de la lámina	linear	ligulada	ligulada	ligulada	ligulada	linear
Longitud de la lámina (cm)	40-42	(20-) 30-40 (-64)	40-87	27-38	100-102	50-90
Ancho de la lámina (cm)	2	(2.5-) 3-3.9	3-5	3-3.2	7	1-1.8
Color del envés foliar	verde	púrpura	verde	verde	púrpura, al menos cuando joven	verde
Ápice de la lámina	acuminado a atenuado	acuminado a agudo	agudo, pungente	apiculado, pungente	agudo, pungente	largo-atenuado
Visibilidad del escapo	visible	oculto	visible	visible	visible	visible
Longitud del escapo (cm)	58-60	12-25	50-105	32	sin datos	45-47
Forma de las brácteas superiores del escapo	ovado-lanceoladas	ovado-lanceoladas	ovado-lanceoladas	ovado-lanceoladas	ovadas	ovado-lanceoladas
Ápice de las brácteas superiores del escapo	atenuado	agudo a atenuado	acuminado-agudo, pungente	acuminado	acuminado, pungente	largo-atenuado
Inflorescencia (longitud x diámetro en cm)	4-7 x 7.5-8.5	5-8 x 5-7	4.5-8.5 x 4.5-8.5	10.5 x 14	10 x 8	3.5 x 4.5-5
Brácteas primarias vs. espigas	igualando o excediéndolas	igualando o excediéndolas	más cortas o más largas	mas cortas o igualándolas	más cortas	más cortas
Color de las brácteas primarias	verde	rojo	café con ápice verde	rojo	café	café
Forma de la espiga	estrobiliforme	aplanada, obovada	estrobiliforme	estrobiliforme	estrobiliforme	estrobiliforme
Longitud de las espigas (cm)	3	4.5-6	3-4.5	7-8.5	8-9.5	2.8-3
Número de flores/espiga	más de 20	menos de 8	más de 20	más de 20	sin datos	12-14
Longitud bráctea floral vs. sépalos	igualando o excediéndolos	mucho más larga	más larga	mucho más larga	igualando o excediéndolos	más larga
Color de las brácteas florales	verde	verde a amarillo pálido	base amarillo-café claro, ápice verde	rojas con la base verde-amarillo y extremo apical amarillo	rojas, tornando a café	café
Carina de la bráctea floral	ecarinada	ecarinada	ecarinada	carinada	sin datos	sin datos

Continuación Tabla 1.

Característica morfológica	<i>G. acuminata</i>	<i>G. eduardii</i>	<i>G. glomerata</i>	<i>G. longibracteata</i>	<i>G. morreniana</i>	<i>G. tenuifolia</i>
Ápice de la brácteas florales	apiculado	Obtuso, cuculado	redondeado y apiculado en las basales y agudo a obtuso en las distales, esclerosado	apiculado en las basales y obtuso a redondeado en las distales, ligeramente involuto y cuculado	agudo a redondeado	agudo a redondeado
Forma de los sépalos	obovada	oblonga, ligeramente obovada	oblonga, ligeramente obovada	oblongo-lanceolada	lanceolada	sin datos
Longitud de los sépalos (mm)	11-14	25-26	16-22	22-24	20	hasta 16
Ápice de los sépalos	redondeado	agudo-obtuso	agudo	agudo	agudo	sin datos
Longitud del tubo corolino (mm)	sin datos	17-20	13	30	22	30

Especímenes examinados. Colombia. Putumayo: municipio Mocoa, inspección de policía El Pepino, 1330 m alt., 21 nov 1946, *M. B. Foster & R. Foster 2218* (holótipo GH; isótipos COL, US).

***G. eduardii* André ex Mez, DC. Monogr. Phan. 9: 947, 1896. Figs. 2, 2C, 2D**

Hierba 0.4-0.7 m de altura. Hojas 10-14 por planta, (28-) 38-48 (-74) cm de largo; vaina 8-11 x (4.5-) 5.5-7 cm, elíptica, café oscuro hacia la base; lámina (20-) 30-40 (-64) x (2.5-) 3-3.9 cm, ligulada, ápice acuminado a agudo, envés púrpura. Escapo oculto por las hojas, 12-25 cm de largo x 3.5 mm de diámetro. Brácteas superiores del escapo ovado-lanceoladas, ápice agudo a atenuado. Inflorescencia 5-8 cm de largo x 5-7 cm de diámetro, con 6-10 espigas. Brácteas primarias igualando o excediendo las espigas, ovadas, las basales ovado-lanceoladas, ápice agudo a atenuado y generalmente reflexo, rojas. Pedúnculo de la espiga 3-5 mm de largo. Espiga 4.5-6 cm de largo, aplanada, elíptico-obovada, con menos de 8 flores. Bráctea floral 27-34 mm de largo, mucho más larga que los sépalos, elíptica o lanceolada, ápice obtuso y cuculado, ecarinada, verde a amarillo pálida, a veces variegada de rojo. Pedicelo floral 3-5.5 mm de largo. Sépalos 25-26 mm de largo, connatos por 4-7 mm, oblongos, ligeramente obovados, ápice agudo-obtuso, membranosos, carinados, verdes, ocasionalmente amarillos. Corola 24-40 mm de largo, tubo corolino 17-20 mm de largo, amarilla y blanca hacia el ápice; lóbulos elípticos, con ápice obtuso-redondeado. Estambres con porción libre del filamento 3 mm de largo; anteras 5 mm de largo. Ovario 6 mm

de largo, estilo 17 mm de largo, estigma 1.5 mm de largo. Cápsulas incluidas dentro de las brácteas florales; semillas no vistas.

Distribución. Especie restringida a la región del Chocó biogeográfico de Ecuador y Colombia. Para Ecuador se tienen registros en las provincias de Carchi, Cotopaxi, Esmeraldas y Pichincha (**Luther 1999**). En Colombia se presenta en los departamentos de Antioquia, Cauca, Chocó, Nariño y Valle, entre 20 y 1.800 m de altitud.

Especímenes examinados. Colombia. Antioquia: municipio Vigía del Fuerte, bosques detrás del pueblo, 30 m alt., *R. Bernal et al. 697* (COL); municipio Urrao, inspección de policía La Encarnación, Parque Nacional Natural Las Orquídeas, orillas del río Calles, 13-14 abr 1985, *J. Betancur et al. 79* (HUA), 83 (HUA), 84 (HUA), 85 (HUA), 91 (HUA), 93 (HUA); 1320-1390 m alt., 6° 32' N - 76° 19' W, 24 mar 1988, *A. Cogollo et al. 2524* (JAUM); 1460 m alt., 6° 32' N - 76° 19' W, 11 feb 1989, *A. Cogollo et al. 3869* (JAUM); 1600-1800 m alt., 27 ene 1977, *A. Gentry & E. Rentería 24548* (COL); municipio Frontino, inspección de policía Nutibara, después del Alto de Cuevas, región de Murri, 1000 m alt., 6° 43' N - 76° 19' W, 13 abr 1987, *J. Betancur et al. 423* (FAUC, HUA, MO, TULV, US); 1250-1750 m alt., 6° 45' N - 76° 12' W, 11 jul 1988, *J. Betancur et al. 571* (HUA); 1420-1610 m alt., 6° 45' 5" N - 76° 17' 56" W, 26 ene 1995, *J. Betancur et al. 5962* (COL); 1340 m alt., 6° 42' N - 76° 25' W, 10 feb 1989, *J. M. MacDougal 3913* (HUA); 1620 m alt., 5° 30' N - 75° 50' W, 4 nov 1988, *G. McPherson et al. 12968* (HUA); 1340 m alt., 6° 42' N - 76° 25' W, 21 nov 1986, *D. Sánchez et al. 728* (MEDEL);



Figura 2A. *Guzmania longibracteata*. Hábito.



Figura 2B. *G. longibracteata*. Inflorescencia.



Figura 2C. *G. eduardii*. Hábito.



Figura 2D. *G. eduardii*. Inflorescencia.

16 ene 1987, *D. Sánchez et al.* 1025 (MEDEL); 13 abr 1987, *D. Sánchez et al.* 1108 (HUA); municipio Frontino, Parque Nacional Natural Las Orquídeas, sector Venados, 890 m alt., 6° 33' N – 76° 19' W, 1 abr 1988, *A. Cogollo et al.* 2894 (JAUM); 5 jun 1988, *A. Cogollo & J. G. Ramírez* 3266 (JAUM); 1060-1090 m alt., 6° 34' N – 76° 19' W, 24 jul 1988, *A. Cogollo et al.* 3449 (JAUM), 3608 (JAUM). **Chocó:** municipio El Carmen del Atrato, carretera Tutunendo-El Carmen, "El Doce", 600 m alt., *E. Forero et al.* 5981 (COL); 680 m alt., 6 jul 1979, *G. Galeano & R. Bernal* 97 (COL); 500-600 m alt., 25-26 jul 1944, *H. García-Barriga* 11125 (COL, US); municipio San José del Palmar, hoya del río Torito, finca "Los Guaduales", quebrada Santafé, 630-730 m alt., 6 mar 1980, *E. Forero et al.* 6787 (COL); 850-950 m alt., 15 mar 1980, *E. Forero et al.* 7360 (COL); municipio Tadó, vereda Gingabara, 25 abr 1991, *G. Lozano et al.* 6089 (COL). **Nariño:** municipio Barbacoas, inspección de policía Junín, 930 m alt., 14 nov 1946, *M. B. Foster & R. Foster* 2166 (COL, GH); municipio Tumaco, km 80, 300 m alt., 19 nov 1967, *L. E. Mora-Osejo* 4221 (COL). **Valle:** municipio Buenaventura, 33 m alt., 5 dic 1946, *M. B. Foster & R. Foster* 2338 (COL, GH); municipio Buenaventura, río Raposo, Calle Honda, 20-25 m alt., 30 mar 1963, *J. M. Idrobo* 5296 (COL).

***Guzmania glomerata* Mez Wercklé, Repert. Sp. Nov. 14: 256, 1916.**

Hierba (0.4-) 0.55-1 (-1.2) m de altura, frecuentemente con estolones largos y cubiertos por hojas reducidas a vainas de color café oscuro. Hojas hasta 20 por planta, (40-) 50-100 cm de largo; vaina 10-13 x 7-9.5 cm, elíptica, café oscura; lamina 40-87 x 3-5 cm, ligulada, ápice agudo, pungente y ocasionalmente involuto, envés verde. Escapo visible por encima de las hojas, 50-105 cm de largo x 7-15 mm de diámetro. Brácteas superiores del escapo ovado-lanceoladas, ápice acuminado-agudo, pungente y algunas veces café, verdes con bases café oscuro. Inflorescencia 4.5-8.5 cm de largo x 4.5-8.5 mm de diámetro, con 8-12 espigas, acumulando abundante mucílago. Brácteas primarias más cortas o más largas que las espigas, ovado-lanceoladas, ápice agudo y pungente, cafés con ápice verde. Pedúnculo de la espiga 7-10 mm de largo. Espiga 3-4.5 cm de largo, estrobiliforme, con más de 20 flores. Bráctea floral 20-25 mm de largo, excediendo los sépalos, elíptica, ápice redondeado y apiculado en las proximales y agudo a obtuso en las distales, esclerosado, las basales carinadas y las apicales sólo hacia el extremo superior, base amarillo-café claro y ápice verde. Pedicelo floral 2-3 mm de largo. Sépalos 16-22 mm de largo, connatos por 4-6 mm, oblongos, ligeramente obovados, ápice agudo, membranosos, carinados, amarillo pálidos. Corola 28-29 mm de largo, tubo

corolino 13 mm de largo, blanca a amarillo pálida; lóbulos oblongo-elípticos, ápice redondeado y cuculado. Estambres con porción libre del filamento 5 mm de largo y ápice sigmoidal, anteras 4 mm de largo. Ovario 4 mm de largo, estilo 12-13 mm de largo, estigma 1 mm de largo. Cápsula 28-35 mm de largo, excediendo las brácteas florales; semilla 12-14 mm de largo.

Distribución. Es la especie del grupo con más amplia distribución; aparece en diferentes regiones naturales de Nicaragua (Jinotega), Costa Rica (San José), Panamá (Coclé y Darién), Colombia y Ecuador (Esmeraldas y Pichincha) (**Smith & Downs** 1977; **D'Arcy** 1987; **Luther** 1999; **Morales** 1999; **Utley** 2001). En Colombia se tienen registros para las regiones pacífica, amazónica y andina (departamentos de Antioquia, Caquetá, Chocó, Meta, Norte de Santander y Valle), desde el nivel del mar hasta ca. 2300 m de altitud.

Especímenes examinados. Colombia. Antioquia: municipio Salgar, corregimiento La Margarita, 15 km Salgar-El Dauro, 2310 m alt., 5° 58' N – 76° 07' W, 20 sep 1987, *J. Betancur et al.* 515 (HUA). **Caquetá:** municipio San Vicente del Caguán, inspección de policía Guayabal, vereda San Jorge, Hacienda Andalucía, Parque Nacional Natural Los Picachos, cuenca del río Pato, 1500-1600 m alt., 2° 48' N – 74° 51' W, 24 nov 1997, *J. Betancur & H. Mendoza* 7606 (COL). **Chocó:** municipio Bahía Solano, corregimiento El Valle, Serranía del Baudó, Parque Nacional Natural Ensenada de Utría, camino a Boro Boro, 30 m alt., 6° 1' 13" N – 77° 21' 08" W, 25 jun 1999, *J. Betancur et al.* 8041 (COL); municipio Nuquí, corregimiento Jurubidá, Morro Mico, camino "Playa del Medio", Serranía del Baudó, 0-100 m alt., 22 sep 1999, *J. Betancur et al.* 8420 (COL); municipio Quibdó, inspección de policía Altagracia, río Munguidó, 40 m alt., 3 may 1975, *E. Forero et al.* 1490 (COL); municipio Istmina, río San Juan, estribaciones del cerro La Mojarra, 80-120 m alt., 25 jun 1983, *E. Forero et al.* 9497 (COL); municipio San José del Palmar, vereda La Holanda, 1100 m alt., 14 ene 1983, *P. Franco et al.* 1304 (COL); municipio Bajo Baudó, ca. a Catrú, 50-100 m alt., 30 jul 1973, *R. H. Warner & J. W. White* 113 (COL). **Meta:** serranía de La Macarena, extremo NE, macizo Renjifo, 1300-1900 m alt., 6-20 ene 1951, *J. M. Idrobo* 965 (COL). **Norte de Santander:** municipio Sardinata, región del Sarare, alto de Santa Inés, 2150-2250 m alt., 19-23 oct 1941, *J. Cuatrecasas et al.* 12435 (COL). **Valle:** municipio Buenaventura, ca. 0 m alt., 10 jun 1944, *E. P. Killip & J. Cuatrecasas* 38997 (COL); Bajo Calima, concesión de pulpa de papel de Cartón de Colombia, 50 m alt., *M. Kraemer* 118 (COL); 30-50 m alt., 26 may 1982, *Murphy et al.* 500 (COL); vereda

Puerto Nariño, 15 nov 1983, *L. C. Muñoz 4* (COL). **Colombia/Panamá. Chocó/Darién**, alto de Nique, pico al sur del macizo Pirre, 1300-1520 m alt., 19 abr 1980, *A. Gentry et al. 28625* (COL).

***Guzmania morreniana* (Linden Hortus) Mez, DC. Monogr. Phan. 9: 932, 1896.**

Hierba ca. 1 m de altura. Hojas 20-30 por planta, 110 cm de largo; vaina poco evidente, 7-8 cm de ancho, café en la base; lámina 100-102 x 7 cm, ligulada, ápice agudo y pungente, envés púrpura al menos cuando joven. Escapo visible por encima de las hojas. Brácteas superiores del escapo ovadas, ápice acuminado y pungente. Inflorescencia 10 cm de largo x 8 cm de diámetro, con 7 espigas. Brácteas primarias más cortas que las espigas, ovadas, ápice acuminado y pungente, cafés. Espiga 8- 9.5 cm de largo, estrobiliforme, con numerosas flores. Bráctea floral hasta 25 mm de largo, igualando o excediendo los sépalos, ovada, ápice agudo o redondeado, roja, tornando a café. Pedicelo floral ausente. Sépalos 20 mm de largo, connatos por 2-3 mm, lanceolados, ápice agudo, cafés con márgenes blanquecinas. Corola hasta 40 mm de largo, tubo corolino 22 mm de largo, amarillo-blanca, lóbulos casi elípticos y con ápice redondeado.

Distribución. La especie aparece desde el sur de Ecuador (Loja, Napo, Zamora-Chinchipec) hasta el sur de Perú (Amazonas y Cuzco), entre 1500 y 2500 m de altitud (**Smith & Downs 1977; Brako & Zarucchi 1993; Luther 1999**).

***Guzmania tenuifolia* (Luther) Betancur & Salinas, com. et stat. nov.**

Guzmania morreniana (Linden Hortus) Mez var. *tenuifolia* Luther, Selbyana 11: 57, 1989, syn. nov.

Hierba 0.5-0.6 m de altura. Hojas 55-95 cm de largo; vaina 5-5.5 x 3.3-3.6 cm, elíptica, café; lámina 50-90 x 1-1.8 cm, linear, ápice largo-atenuado, envés verde. Escapo sobrepasando las hojas, 45-47 cm de largo x 4-6 mm de diámetro. Brácteas superiores del escapo ovado-lanceoladas, ápice largo-atenuado. Inflorescencia 3.5 cm de largo x 4.5-5 de diámetro, con 6 espigas. Brácteas primarias más cortas que las espigas, ovadas, ápice acuminado, cafés. Espiga 2.8-3 cm de largo, estrobiliforme, con 12-14 flores. Bráctea floral hasta 20 mm de largo, excediendo los sépalos, ápice agudo a redondeado, cafés. Sépalos hasta 16 mm de largo, connatos por 1-3 mm, el anterior ecarinado, los posteriores carinados.

Comentario. Luther (1989) consideró esta entidad taxonómica como *G. morreniana* var. *tenuifolia*, diferenciándola de la variedad tipo básicamente porque posee una lámina mucho más angosta. Sin embargo, en la

misma publicación se menciona que podría corresponder a una entidad con rango específico. Al revisar la morfología de las especies del “grupo *Guzmania morreniana*” hemos encontrado que la combinación de algunos caracteres morfológicos vegetativos y de la inflorescencia (Tabla 1) en *G. morreniana* var. *tenuifolia* son lo suficientemente distintivos como para elevarla a categoría de especie.

Por otra parte, creemos que las características morfológicas de *G. tenuifolia* la acercan más a *G. acuminata* que a *G. morreniana* (ver Tabla 1). *G. tenuifolia* se distingue de *G. acuminata* por las menores dimensiones de la vaina foliar (5-5.5 x 3.3-3.6 cm vs. 8-10 x 5-7 cm) y el color (café vs. verde); por tener la lámina más larga (50-90 cm vs. 40-42 cm); por tener la inflorescencia con menores dimensiones (3.5 cm de largo x 4.5-5 cm de diámetro vs. 4-7 cm de largo x 7.5-8.5 cm de diámetro); porque sus brácteas primarias son más cortas que las espigas (vs. igualándolas o excediéndolas) y cafés (vs. verdes); y porque sus brácteas florales son cafés con ápice amarillo (vs. totalmente verdes) y el ápice agudo a atenuado (vs. apiculado).

Distribución. De esta especie sólo se conoce el espécimen tipo, el cual fue recolectado en la vertiente oriental de los Andes de Perú (Pasco), a 2120 m de altitud (**Luther 1989**).

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia por facilitar nuestro trabajo. A los curadores y directores de los herbarios COL, HUA, JAUM, MEDEL y US por facilitar la consulta de los especímenes depositados en sus instituciones. A Nelson Castro, Coordinador del proyecto “Las bromelias de la cuenca del río Yí, Vaupés” y Luis Fernando Jaramillo, por financiar y posibilitar nuestro trabajo en el Vaupés. A Juan Carlos Pinzón por la ilustración de la especie nueva. A Nicolás Castaño, Laura Clavijo, Zaleth Cordero, Santiago Díaz, José L. Fernández y Néstor García por los comentarios al manuscrito. A Gustavo Mosquera por su generosidad y hospitalidad en Mitú.

Bibliografía

- Betancur, J. & M. A. Jaramillo.** 1998. Distribución de la familia Bromeliaceae en dos vertientes andinas del sur de Colombia. *Selbyana* 19 (1): 52-65.
- D' Arcy, W. G.** 1987. Flora of Panamá, checklist and index. Monographs in Systematic Botany from The Missouri Botanical Garden, vol. 18.

- Brako, L. & J. L. Zarucchi.** 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. Monographs in Systematic Botany from The Missouri Botanical Garden, vol. **45**.
- Espinal-T., L. S.** 1990. Zonas de vida de Colombia, resumen. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Editorial Lealon, Medellín.
- Luther, H. E.** 1989. Miscellaneous new taxa of Bromeliaceae (VI). *Selbyana* **11**: 54-57.
- _____. 1999. Bromeliaceae. Pages 337-361. In: Stevenson, P. M. S. León-Yáñez (eds.), Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monographs in Systematic Botany from The Missouri Botanical Garden, vol. **75**.
- _____. 2001. De rebus Bromeliacearum III. *Selbyana* **22** (1): 34-67.
- _____. & **E. Sieff.** 1994. De rebus Bromeliacearum I. *Selbyana* **15** (1): 9-93.
- _____. & _____ 1997. De rebus Bromeliacearum II. *Selbyana* **18** (1): 103-140.
- Morales, J. F.** 1999. Bromelias de Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), Santo Domingo, Heredia, Costa Rica.
- Smith, L. B. & R. J. Downs.** 1977. Tillandsioideae (Bromeliaceae). *Flora Neotropica*, Monograph No. 14, part 2.
- Utley, J. F.** 2001. *Guzmania*. Pages 471-474. In: Stevens, W. D., C. Ulloa-Ulloa, A. Poel & O. M. Montiel (eds.), *Flora de Nicaragua: introducción, gimnospermas y angiospermas (Acanthaceae-Euphorbiaceae)*. Monographs in Systematic Botany from The Missouri Botanical Garden, vol. **85**, tomo I.

**BOMBACACEAE NEOTROPICAE
NOVAE VEL MINUS COGNITAE VI.
NOVEDADES EN LOS GÉNEROS
CAVANILLESIA, ERIOTHECA,
MATISIA Y PACHIRA**

por

José Luis Fernández Alonso*

Resumen

Fernández J.L.: Bombacaceae neotropicae novae vel minus cognitae VI. Novedades en los géneros *Cavanillesia*, *Eriotheca*, *Matisia* y *Pachira*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 25-37. 2003. ISSN 0370-3908.

Como parte de los trabajos que actualmente se adelantan en la familia Bombacaceae, se proponen cinco especies nuevas pertenecientes a cuatro géneros diferentes (*Cavanillesia chicamochae*, *Eriotheca loretensis*, *Matisia anchicayana*, *Pachira morae* y *P. punga-schunkei*) y tres combinaciones nuevas en el género *Pachira*. Todas las novedades taxonómicas corresponden a plantas del norte de Sudamérica.

Palabras clave: Bombacaceae, Colombia, *Cavanillesia*, *Eriotheca*, *Matisia*, Neotrópico, *Pachira*, Perú, Taxonomía.

Abstract

As a part of the works that actually are underway about the family Bombacaceae, five new species of four different genera (*Cavanillesia chicamochae*, *Eriotheca loretensis*, *Matisia anchicayana* y *P. morae* y *P. punga-schunkei*) and three new combination in the *Pachira* genus are proposed in this contribution. All taxonomic novelties are species from the north of South America.

Key words: Bombacaceae, Colombia, *Cavanillesia*, *Eriotheca*, *Matisia*, Neotropic, *Pachira*, Peru, Taxonomy

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 7495 Bogotá, D. C., Colombia. E-mail: jlfern@ciencias.unal.edu.co

Introducción

Continuando con la serie “Bombacaceae neotropicae novae...” (Fernández-Alonso, 2001b), y como avance a la revisión de algunos géneros de la familia para el norte de Sudamérica, se proponen cinco nuevas especies provenientes de Colombia y Perú. En el género *Cavanillesia* Ruiz & Pav., se describe una especie endémica del Cañón del Chicamocha (Santander-Colombia), de la que se tenía información fragmentaria desde hace varios años, pero de la que no se contaba con colecciones completas hasta fechas recientes. En *Eriotheca* Schot & Endl., se describe una especie de la región amazónica de Perú y Colombia, la tercera conocida del pequeño subgénero *Macrosiphon* A. Robyns. En el género *Pachira* Aubl. se describen dos nuevas especies amazónicas de Colombia, Perú y Ecuador y se proponen tres combinaciones nuevas para especies previamente descritas en los géneros *Bombacopsis* Pittier y *Rhodognaphalopsis* A. Robyns. Por último se describe una especie nueva de *Matisia* sect. *Longipedes* (Fernández-Alonso, 2001a), de los bosques del corredor pacífico de Colombia.

Cavanillesia chicamochae Fern. Alonso sp. nov.

Figs. 1,2

Affinis *Cavanillesia platanifoliae* (Humb. & Bonpl.) H.B.K. et *C. umbellatae* Ruiz & Pav. sed differt: arbore parva 4-6 metralis, trunco doliiformi usque ad 1 m diametro plusve, cortice crassa, nigrescente, irregulariter et profunde fisso-partita; foliis dense fasciculatis apice ramiis (apice brevis et crassis); laminis integris, ovato-cordatis, basi 5(7)-nervatis, inflorescentia umbelliforme, pedicello crasso fusco-tomentello, alabastro virescente, dense tomentello, petalis lutescentibus, antheris luteis et samara 8,5-9,5 x 9-10,5 cm.

Typus: COLOMBIA. SANTANDER. Mpio. de Piedecuesta, Inspección de Pescadero, camino real a Umpalá, 500-700 m; pendientes rocosas con vegetación xerofítica, arbolito 4-5 m, 1-1,10 m Dap, fr, 1 jun 2001, J. L. Fernández-Alonso 19538, F. González & A. Galindo (Holotypus 3/3 COL- 462509, -10, -11, -12, -13 y -14; isotypus AUU, COL 462515, -16, CUVC, F, FMB, HUA, JAUM, MA, MEDEL, MO, P, PSO, QCA, QCNE, SP, UIS, US, VEN, en proceso de distribución).

Árbol de 4-6 m, tronco fusiforme muy grueso en la base, de hasta 1 m diámetro, frecuentemente con raíces expuestas a modo de pequeños zancos (Fig. 1A), generalmente con cicatrices o bandas transversales más o menos conspicuas; corteza gris-negrucza, brillante; en las partes bajas y en una cara del tronco, con corteza muy gruesa,

negrucza, de aspecto suberoso, resquebrajada, de hasta 5-7 cm de espesor (Fig. 1B,C). Copa pequeña y generalmente plana, frecuentemente extendida hacia la pendiente y retorcida (Fig. 1A-C). Hojas densamente agrupadas en el ápice de ramitas cortas y gruesas (Fig. 2B); pecíolo cilíndrico ensanchado en la base, de (3)4-10(13) cm de longitud; lámina membranoso-cartácea, entera, anchamente ovado-cordada, de 10-14(18) x (8)10-15 cm, base cordada, con seno basal de 0,4-1,5 cm; ápice de contorno triangular y obtuso, margen entero; con 5(7) nervios basales, solo los tres centrales bien desarrollados; nervio medio con 4-5 nervios secundarios a cada lado, láminas glabras por ambas caras. Inflorescencias umbeliformes agrupadas al final de ramas jóvenes y acompañadas de hojas (Fig. 2A), por lo general constituidas por 4-8 pedúnculos de 2-3,5 cm x 2-3 mm; cada pedúnculo con 3-7 flores; pedicelo floral de 1,1-1,6 cm x 2-2,5 mm; botones florales fusiforme-oblongos, verdosos, de 10 x 6 mm, densamente tomentulosos. Flores con sépalos verdes con rojo en la parte superior; pétalos crema con ápice rojo; estambres con filamentos verdes, anteras amarillas; ovario joven verdoso. Frutos secos color café, cápsula samaróide con la parte central fusiforme y 6 alas amplias dando un contorno subsférico al fruto, en forma de aspa, de 8,5-9,5 x 9-10,5 cm; generalmente 1 semilla central, fusiforme, aguda, de c. 3 cm de longitud. Con las lluvias, los frutos se inchan en su parte central, donde se forma una capa mucilaginoso marrón oscura, de hasta 5 cm de diámetro, que recubre a la semilla ubicada en posición central. Plántulas con cotiledónes foliáceos, de margen entero, ligeramente ondulado, palmatinervados (Fig. 2C).

Paratypus: COLOMBIA. SANTANDER. Mpio. de Piedecuesta, vía a Umpalá, en loma, 810 m, 6° 49' N, 72° 59' W, árbol 5 m (veget.), 15 may 1997, S. *Albesiano* & al. 74 (COL- 455442, 455443); Corregimiento de Pescadero, Quebrada Chinavega, sobre loma, al margen derecho de la quebrada, árbol 6 m, fl., 21 dic 1997, S. *Albesiano* 725 [COL-455430, 455429 (2/2)]; ibídem, Corregimiento de Pescadero, laderas escarpadas en la margen izquierda del río Umpalá, 100 m antes de su confluencia con el Chicamocha, 600 m, árbol 4-5 m, fr., 27 may 1988, R. *Bernal* & al. 1462 (COL- 321015, 321079, 455428 (3/3)); ibídem, subida por el cañón de la Quebrada Chinavega, arriba del puente sobre el río Chicamocha, 580 m, árbol 4 m, fr., 25 abr 1996, A. *Cadena* & al. 2982 (COL- 392877, 392878); ibídem, Pescadero, Quebrada El Platanal, en la vía a Bucaramanga, 6° 50' N 72° 59' W,; creciendo en pendientes rocosas con *Mammillaria columbiana* Salm. & Dyck., *Opuntia dillenii* (Ker-Gawl.) Hawort y *Randia* sp., 3 jun 2001, J.L. Fernández-Alonso 19541, F. González & A. Galindo (COL-462517, -18, F,



Figura 1. *Cavanillesia chicamochae* Fern. Alonso. A-B. Porte del árbol, especímenes fotografiados en la localidad típica, Pescadero, Santander. C- Aspecto de una banda de corteza desprendida del tronco. D- Base de un tronco mostrando el anclaje con zancos a la pendiente. (Fotografías J. L. Fernández).

HUA, MA, MO, QCNE); entre el Cañón del Chicamocha y el valle de Umpalá, c. 1000 m, 14 jun 1962, *C. Saravia 816* (COL-228983, -84, -85).

Hábitat y distribución. Las poblaciones conocidas de *Cavanillesia chicamochae*, se encuentran aisladas en un sector muy seco del Cañón del río Chicamocha, alejadas de los bosques húmedos o subhúmedos del Carare en el Magdalena medio santandereano y del Magdalena medio antioqueño, donde crece *Cavanillesia platanifolia* (Bonpl.) Kunth, árbol de gran porte. La formación vegetal de la localidad típica de *C. chicamochae*, corresponde a bosque seco tropical, de acuerdo con los registros de colecciones depositadas en el herbario COL principalmente colecciones de *C. Saravia* del año 1962, colecciones más recientes de un estudio florístico adelantado en la región (Albesiano, 1999). En las comunidades donde crece *Cavanillesia*, las especies más conspicuas de árboles y arbustos son: *Stenocereus griseus* (Haw.) F. Busb., *Zamia encephalartoides* Stevenson, *Opuntia dillenii* Haw. y *Lippia origanoides* H.B.K., entre otras. Este enclave árido (Figs. 1A-B) cuenta con plantas endémicas de gran interés como la citada *Zamia encephalartoides* (Stevenson, 2001) y algunas cactáceas recientemente estudiadas del género *Melocactus* (Taylor, 1991; Fernández-Alonso & Xhonneux, 2002).

Observaciones taxonómicas. En la flora de la Guyana venezolana se cita una especie no identificada de *Cavanillesia* que crece en afloramientos graníticos (Alverson & Steyermark, 1997), de la que no se cuenta con suficientes muestras de herbario y que en principio se acercaría a *C. arborea* (Willd.) Schum. s. str., de las catingas de Brasil, especie generalmente tratada como sinónimo de *C. umbellata* Ruiz & Pav. (Schumann, 1886; Ulbrich, 1914; Bakhuizen, 1924). Aparentemente al igual que la que se describe se trata de árboles de pequeño porte, pero de acuerdo con la iconografía publicada presenta diferencias en hojas y flores. Consideramos además improbable que se trate de la misma planta, por la diferente ubicación y afinidad fitogeográfica de las mismas.

Por otra parte, en el trapecio amazónico de Colombia hay colecciones de *Cavanillesia umbellata* Ruiz & Pav. (Arias 559, Posada 2548, COAH), especie de gran porte, propia de los bosques amazónicos de tierra firme.

Nombres vernáculos, usos y conservación

El nombre "Barrigón" utilizado en la región de Piedecuesta y Cepitá (Valle del Chicamocha), hace referencia al aspecto de barril del tronco que no suele sobrepasar los 3-4 m de altura. Este nombre se aplica en

Colombia para especies con adaptaciones semejantes, como la especie endémica del norte de Colombia y Venezuela, *Pseudobombax maximum* Robyns (Dugand, 1943; Fernández-Alonso, 2001b).

De acuerdo con testimonios de la zona, la especie era más abundante en el pasado y se encontraba como ahora, limitada a las cornisas rocosas. Ocasionalmente se cortaban troncos de este árbol y se bajaban para la elaboración de balsas en el río.

Por otra parte, la presencia de cabras en todo el sector (traídas al Cañón en la época de la Colonia), afecta en alguna medida a esta especie ya que consumen la corteza blanda de los troncos y las plántulas jóvenes (muy carnosas), cuando apenas están saliendo de la semilla.

Eriotheca lorentensis Fern.- Alonso sp. nov. Fig. 2

Species Subgenero *Macrosiphon* A. Robyns adscribenda et affinis *Eriotheca longipedicellata* (Ducke) Robyns, a qua imprimis differt foliis 4-5 foliolatis, pedunculo inflorescentiae brevioris, 2-5 mm longis, calyce profunde 2-lobato, lobiis 5-8 mm longis, petalis 3,3-3,5 cm longis, tubo stamineo cilindrico 16-18(20) mm longis.

Typus: PERÚ. LORETO. Provincia de Maynas. Distrito Las Amazonas, Explornapo (Suwzari), bosque primario, 124 m, 03° 20' S 72° 55' W, 8 dic 1992, fl. *C. Grández, I. Hudson & N. Jaramillo 4964* (Holotypus COL, Isotypus MO).

Árboles grandes de hasta 35-38 m, troncos con corteza externa fisurada longitudinalmente, gris-marrón, corteza interna amarillo-anaranjado; con ramas y hojas jóvenes densamente rojizo-lepidotas. Hojas agrupadas en el ápice de las ramas, con 4-5 foliolos (Fig. 3A); pecíolo de 5-8 cm de longitud (de hasta 10-13 cm en plantas jóvenes); foliolos con peciólulo de 0,7-1,2 cm de longitud; láminas membranosas-papiráceas, estrechamente obovadas, de 8-9 x 3,3-3,5 cm, gradualmente y estrechamente cuneadas en la base y obtusas, generalmente emarginadas en el ápice; láminas jóvenes obovado-lanceoladas de hasta 11-12 x 4-5 cm; con 8-10 pares de nervios laterales y con nerviación de 2°, 3° y 4° orden ligeramente resaltada en la haz y el envés; subglabras por la haz y con indumento lepidoto uniformemente disperso en el envés, escamas marrón-rojizas. Inflorescencias axilares cimosas de 2-3 flores, pedúnculo de la inflorescencia de 2-5 mm de longitud; pedicelo floral de 6-8 cm de longitud, flexuoso, con extremo distal ensanchado y desprovisto de glándulas; con bractéolas inconspicuas y prontamente caducas, ubicadas 6-10 mm por debajo del cáliz; cáliz verde, fusiforme en el botón, subcilíndrico, profundamente 2-lobado (Fig. 3B), bilabiado,

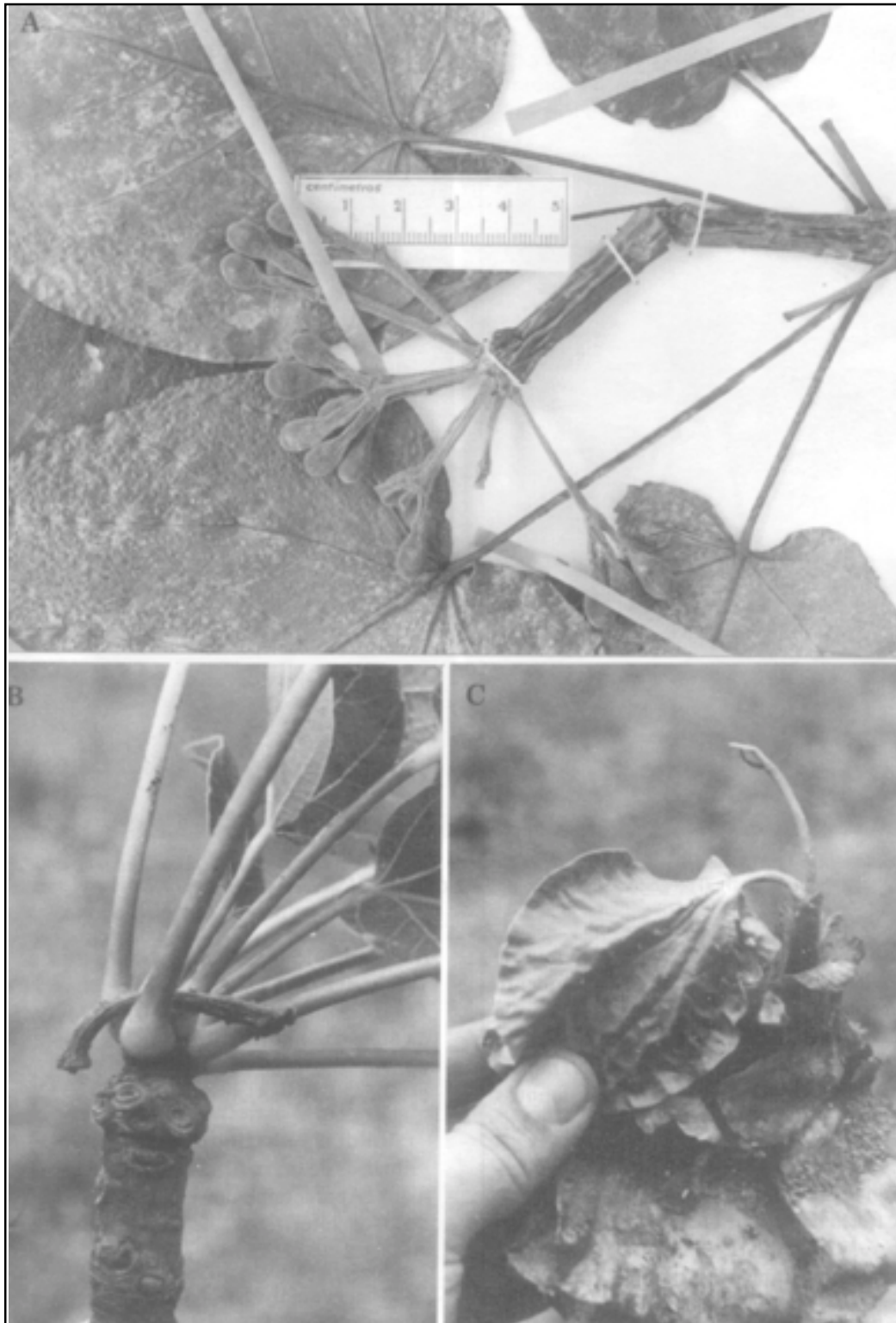


Figura 2. *Cavanillesia chicamocha* Fern. Alonso. A. Rama con inflorescencia terminal (con botones florales), fotografiado de *Albesiano 725* (COL); B- Detalle de un ápice de rama, mostrando las cicatrices foliares (Fotografiado de la serie típica *Fernández-Alonso 19938*, COL). C- Detalle de una plántula con los restos de la sámara (Fotografiado de la serie típica).



Figura 3. *Eriotheca loretensis* Fern. Alonso. A. Rama con botones florales y una flor abierta. B- Detalles de la flor (pedicelo, cáliz, corola y columna estaminal). (Fotografiado de la serie típica C. Grández, I. Hudson & N. Jaramillo 4964).

de 15-16 mm de longitud; parte soldada de 7-10 mm de longitud, lóbulos de 5-8 mm longitud, con indumento lepidoto generalmente disperso en la cara externa; corola blanco-crema, pétalos de (3)3,3-3,5 cm longitud y 0,5 cm de anchura; tubo estaminal cilíndrico, de 16-18(20) mm de longitud, con c. 40 estambres (Fig 3B); filamentos estaminales de 0,5-1 cm de longitud. Fruto desconocido.

Paratypus: COLOMBIA. CAQUETÁ. Mpio. de Puerto Solano, Estación de Puerto Abeja, 0° 04' 27" N 72° 27' 05" W, bosque de tierra firme, 10 sep 2001; árbol 22 m, fl. (botón), A. M. Euse 1429 (COAH 49065, 49066); ibídem, Inspección de Policía de Araracuara, monte de tierra firme, 10 ago 1996; árbol 23 m, 31,5 cm Dap, O. Román & A. Echeverry 041 (COAH).

PERÚ. LORETO. Maynas; Distrito Las Amazonas, Campo Explornapo. Inventario MacArthur, cerca de

Sucusarí, a lo largo del río Napo. Bosque primario, 100-140 m, 03° 20' S 72° 55' W, 23 feb 1991, árbol 20 m, J. Pipoly & al. 13528 (COL 410116, MO); ibídem, Quebrada Sucusarí, north bank of Rio Napo below Mazan, mature upland forest, 3° 15' S 72° 55' W, 130 m, arbolito 4 m, estéril, 7 jul 1983, A. Gentry & al. 42714 (COL 467782).

Hábitat y distribución. Conocida sólo de los bosques primarios de tierra firme en la Amazonia peruana y colombiana. Aparentemente se encuentra asociado a suelos arcillosos lateríticos, de acuerdo con los datos de las etiquetas de herbario.

Observaciones. *E. loretensis* se adscribe al subgénero *Macrosiphon* A. Robyns, por presentar tubo estaminal muy largo, de más o menos el doble de la longitud de los filamentos. De las dos especies conocidas en este subgénero (**Robyns, 1963; Campos, 1993; Esteves, 1999**), es más

afín a *Eriotheca longipedicellatae* (Ducke) Robyns, de la cuenca baja del Amazonas, por presentar pedicelos florales largos y péndulos y cálices grandes (de más de 0,8 cm). Sin embargo, puede separarse con claridad, por presentar la que se describe hojas con sólo 4-5 foliolos, pedúnculos de las inflorescencias más cortos (de 2-5 mm de longitud), cálices profundamente 2-lobados, lóbulos de 5-8 mm de longitud, tan profundos como la parte soldada; pétalos menores (de 3,3-3,5 cm de longitud), y tubo estaminal ligeramente más corto, de 16-18(20) mm de longitud. El fruto de *E. loretensis* es para nosotros desconocido y probablemente sea similar al de *E. longipedicellata*, frutos fusiformes notablemente alargados y agudos distalmente (cf. *Pires 2623*, in COL).

Las plantas jóvenes con hojas de mayor tamaño y con el característico indumento lepidoto rojizo, recuerdan en algún modo a *E. squamigera* (Cuatrec.) Fern. Alonso del Pacífico de Colombia y Ecuador; no obstante, la especie chocona se separa con claridad de la que se describe por presentar pedúnculos de la inflorescencia mayores, de (0,5)0,9-3,5 cm y tubo estaminal corto y anchamente cilíndrico (de 9-11 x 6 mm) y provisto de un engrosamiento y un surco en la región apical (**Robyns & Nilsson, 1981; Fernández-Alonso, 1999**).

En la Flórula de Iquitos (**Vásquez, 1997**), se cita una especie no identificada de *Eriotheca*, a la que denominan “punga de altura”, que aparentemente se corresponde con la que aquí se describe. No obstante, difiere en algunos caracteres tales como el número de venas laterales en las hojas y el color de la corola.

Nombres vernáculos. En Colombia, región de Araraucara (Caquetá), se conoce como “Algodón de tierra firme” y por el nombre huitoto “Jaikina”.

***Matisia anchicayana* Fern.- Alonso sp. nov.:** Figs 4, 5.

Affinis *Matisiae longipe* Little (Sectio *Longipedes* Fern.-Alonso), sed: foliis latioribus, obovatis vel oblongis, basi cordatis et (6)7-8(10) nervatas, asperis, indumento fasciculato-stellato, brevi, pedicello florale brevior, ad 6-8,5 cm longis, pedicello fructifero et calycis breviter fasciculato-stellatis et fructo ovoide differt.

Typus: COLOMBIA. VALLE DEL CAUCA. Mpio. de Buenaventura, Bajo Anchicayá, 300 m, 8 cm DAP, 20 oct 1989, Fernández-A., J.L. & al 8027 (Holotypus COL 429424, Isotypus COL 429425, CHOCO, HUA, TULV, MO, MA, US).

Árboles de 5-15 (20) m; ramas en disposición típicamente verticilada, patentes o péndulas; las jóvenes

con nudos muy marcados y de aspecto articulado; yemas, ápices de las ramas y peciolo con indumento oscuro y áspero al tacto, de pelos fasciculado-estrellados, de radios cortos; estípulas anchamente triangulares de c. 3-4 mm de longitud, prontamente caducas. Hojas dis-



Figura 4. *Matisia anchicayana* Fern. Alonso. A.- Ápice de rama. B.- Fruto maduro acompañado del pedúnculo y el cáliz acrescente. C.- Detalle del pedicelo floral con bractéolas y de un botón floral. (Dibujado a partir de la serie típica Fernández-Alonso & al. 8027)



Figura 5. A. *Matisia anchicayana* Fern. Alonso. A.- Detalle de una rama con fruto, de la serie típica. B.- *Pachira retusa* (Mart. & Zucc.) Fern. Alonso. Detalle de una rama con fruto, fotografiado de I. & G. Gottsberg 311-3273 (ULM).

puestas en un solo plano en las ramas (Figs. 4A, 5), con peciolo de (2)3 cm de longitud, con pulvínulo proximal de c. 0,8 cm de diámetro; láminas membranoso-cartáceas, de obovadas a trapezoides, ligeramente asimétricas, de 12-40 cm x 8-19 cm (en plantas jóvenes de hasta 50 cm de longitud), subagudas en el ápice y cordadas en la base, seno basal de c. 1 cm (ocasionalmente hasta 4 cm en plantas jóvenes), con (5)7-8(10) nervios basales, dos de ellos poco conspicuos; haz y envés con pelos estrellado-lepidotos diminutos, dispersos. Flores generalmente dispuestas en ramas cortas, solitarias, opuestas a las hojas, patentes o péndulas en la rama; bractéolas 3, hacia la mitad del pedicelo floral,

raramente dispuestas en el tercio distal, estrechamente triangular-lanceoladas; cáliz (en el botón) con 10 costillas rectas y agudas; pedicelo fructífero de (7)8-10 cm longitud; fruto (con el cáliz acrescente) de 3-3.2 x 1.9-2.5 cm; cáliz fructífero con 10 costillas aladas (Fig. 4C), que se continúan ligeramente en el pedicelo (Figs. 4, 5A); fruto propiamente dicho, de 2,9-3,3 x 2-2,1 cm; exocarpo marrón claro, con ligero brillo, muy densamente fasciculado-lepidoto.

Paratypus: COLOMBIA. VALLE DEL CAUCA. Río Naya, Puerto Merizalde, feb 1943, J. Cuatrecasas 14106B -un fruto- (COL 76381, pro parte); Mpio. de Dagua,

Corregimiento de El Danubio, Alto Anchicayá, laderas, 450 m, 20 jun 1984, W. Devia 600 (COL-307790, TULV-2718); ibídem, 14 oct 1996, W. Devia 4205, 4272 (TULV); ibídem, 16 sept 1993, W. Devia 4411 y 4415 (TULV); ibídem, año 1995, W. Devia & A. Cogollo 4626 (TULV-12359); ibídem, W. Devia 4893 (TULV); ibídem, 14 oct 1996, W. Devia 5129, 5224, 5286, 5434 (TULV); ibídem 22 sept 1997 W. Devia 5678; 5887 (TULV); ibídem, transectos, 3° 45' N 76° 50' W, arbusto estéril, 19 oct 1998, A. Gentry & al 68296 (COL 342238); ibídem 3° 45' N 76° 50' W, 19 oct 1998, Gentry, A. & al 68297 (COL 342239, JAUM, MEDEL); ibídem, transecto 2, árbol 12 m, estéril, A. Gentry & al 68422 (COL 343978); ibídem, transecto 7, 20 oct 1989, A. Gentry & al. 68569A (COL 422077); ibídem, transecto 8, árbol 17 cm DAP, 300 m, CPB-1260, 20 oct 1989, A. Gentry & al. 68578A (COL 343658); Anchicayá, 650-700 m, 5 jul 2001, fl., S. Sarriá U-50 (COL-474863, 474864); ibídem, estéril, S. Sarriá U-99 (COL-474861; ibídem, fl., S. Sarriá U-231 (COL-474865); ibídem fr., S. Sarriá U-326 (COL-474858); fr., S. Sarriá U-355 (COL-474857); S. Sarriá U-371 (COL-474860); ibídem fl., S. Sarriá U-391 (COL-474862); ibídem fr., S. Sarriá U-398 (COL-474859).

Hábitat y distribución. Crece en zonas de bosque pluvial tropical y bosque muy húmedo tropical en la región del Valle del Cauca, vertiente occidental de la Cordillera Occidental. En estos bosques es un árbol muy frecuente en el estrato de sotobosque, donde crece con otras especies de Bombacaceae como: *Matisia castano* Karst. & Triana.

Observaciones. Esta especie se diferencia de la afín *M. longipes* Little (Fernández-Alonso & Castroviejo, 2001), por presentar hojas más anchas y con mayor número de nervios basales (de 6 a 10) y notoriamente cordadas en la base, con hojas, pedicelo fructífero y cáliz con indumento fasciculado-estrellado muy corto, áspero al tacto y por su fruto ovoide.

***Pachira morae* Fern.Alonso sp. nov.**

Affinis *P. aquatica* Aubl., sed differt calyce brevior c. 1,6-1,8 x 1,5-1,7 cm, tubo stamineo rubro, brevior, (3,5)4-4,2 cm x 5-7 mm, staminum filamenta rubra, antheris lingissimis ad 5-6 mm longis; valvis fructu crassiores ad 1-2 cm crassis, lignosis, scabrido-rugosis.

Typus: COLOMBIA. VAUPÉS. Margen del río Cananarí, afluente del Apaporis, 29 feb 1952, arbusto 3 m, fl., L. E. Mora & T. van der Hammen APA-179 (Holotypus (2/2) COL-216895; 216432; Isotypi COL- 298360, 298365).

Arbustos o arbolitos 2-10 m (raramente hasta 20 m); ramas glabras, con ligero blillo (en seco). Hojas con pecíolo de 6-9 (13,5) cm x 2-3 mm, glabras; con 5-6(7) foliolos; foliolos con peciólulos de 1-2 cm de longitud, láminas discoloras, nítidas por la haz y pálidas en el envés, lanceolado-elípticas, agudas en el ápice y agudocuneadas en la base, de (8)10-21 x (3,5)5-7,5 cm; con nerviación secundaria resaltada, 13-15 nervios a cada lado y nerviación terciaria poco notoria; con indumento lepidoto de escamas rojizas poco notorias por el envés. Flores con pedicelo grueso, de 3-5,2 cm x 5-6 mm, en su parte distal con indumento pubescente, marrón, densamente dispuesto; cáliz marrón-pardo, cilíndrico-campanulado, de 1,6-1,8 x 1,5-1,7 cm, con indumento tomentoso, ligeramente rugoso-estriado (en seco); en la cara interna, de color crema, con indumento seríceo-aplicado; corola blanco-amarillenta, muy larga, pétalos de 29-32 x 1-1,3 cm; pétalos en el exterior finamente tomentoso-flocosos, en el interior con indumento aracnoide, disperso y corto. Androceo de 28-29 cm longitud total, tubo estaminal de (3,5)4-4,2 cm x 5-7 mm, falanges y filamentos rojos, falanges grandes de c. 15 cm de longitud, que se dividen progresivamente; parte libre de los filamentos glabra, de 6-8 cm longitud; anteras muy largas, de 5-6 x 1 mm. Ovario tomentoso, con costillas longitudinales y pliegues; estilo de c. 28 cm de longitud, en la mitad inferior con indumento blanco, estrellado y disperso; en la mitad distal, glabro. Frutos muy pesados, marrón negruzco, marrón ferrugíneo o raramente carmelita, obovoides, con proyección en pico leñoso (apiculado-rostrado), de 15-20 (22) cm x (9)12-15 cm, pico de c. 4 cm longitud; valvas microtuberculadas, de 11-15(21) x (3)4-6 cm y de 1-2 cm de grosor, ásperas, de consistencia leñosa, con indumento echinado-tuberculado; interior del fruto sin lana; semillas numerosas, subglobosas de 2,5-3 x 2-2,5x2 cm en seco, asurcado-estriadas, con la testa negruzca y los cotildones crema.

Etimología. Especie dedicada a don Luis Eduardo Mora Osejo, destacado botánico, maestro de muchos botánicos colombianos y presidente por muchos años de la Academia Colombiana de Ciencias, quien en la década de 1950 efectuó como estudiante una expedición pionera al río Apaporis en compañía de don Thomas van der Hammen; allí fue recolectada la colección típica de esta especie. Aunque tarde, ya que pasaron 50 años desde cuando la muestra fue recolectada, se rinde tributo a sus herborizadores con la descripción de esta nueva especie.

Paratypus: COLOMBIA: AMAZONAS. Río Bernardo, afluente del Caquetá, orilla de río, 160 m, 31 may 1984, árbol 20 m, fr., R. Jaramillo & al. 7997 (COL 283718,

283719). **AMAZONAS-VAUPÉS.** A lo largo del río Apaporis, entre Soratama y Raudal Jirijirimo, 27 feb 1952; suelos arenosos, arbusto 2 m, fl., *L. E. Mora & T. Van der Hammen* APA-124 (COL 310315); ibídem, río Apaporis, Cachivera de Jirijirimo y alrededores, c. 250 m, 12 ago 1951, árbol pequeño en talud rocoso, arenas, fr., *R. E. Schultes & I. Cabrera* 13525 (COL). **GUAINÍA:** Caño Aramasi, en el río Guainía, en zona inundada, 80 m, árbol 10 m, fr., 20 oct 1977, *J. Espina & al* 216 (COL 187080, 187081).

Hábitat y distribución. Especie conocida de bosques inundables ubicados sobre arenas blancas, asociados a cursos de agua en la Amazonia colombiana.

Observaciones. *Pachira morae* es afín a *P. aquatica* Aubl., por sus flores de gran tamaño, con cálices tomentosos y frutos grandes desprovistos de lana en su interior. No obstante, se separa de ella por presentar lo que se describe: generalmente menor porte, cálices de menor tamaño (1,6-1,8 x 1,5-1,7 cm), tubo estaminal y androceo enteramente rojo, tubo más corto, de (3,5)4-4,2 cm x 5-7 mm, anteras muy alargadas de 5-6 mm de longitud. Los frutos de *P. morae*, presentan valvas más engrosadas, de 1-2 cm de grosor, leñosas y con superficie microtuberculada, escabrido-rugosas.

Nombres vernáculos y usos: Kurripako: “chee-nee”; Puinave. “chai-ka”; Taiwano: “wanti-beeye”. De acuerdo con la información recogida en etiqueta de herbario, las semillas son comestibles.

Pachira punga-schunkei Fern. Alonso sp. nov. Fig. 6

Affinis *P. speciosae* Triana & Planch. et *P. tocaninae* (Ducke) Fern. Alonso sed differt foliis 5-6 foliolatis, petiolis (8)11-20 cm longis, petiolulis 1,3-2 cm longis, laminis membranoso-papiraceis, apice acutis vel acuminatis, glabris, 15-21 x 4-6,5 cm, calyce angustiore, 2,2-2,5 x 1,2-1,3 cm, glabro; tubo stamineo 10-11,5 x 0,4 cm, $\frac{3}{4}$ basale fine stellato-pubescente, $\frac{1}{4}$ distale, phalangis et filamentis glabris, antheris 4-6 mm longis; styli 21-24 cm longo, dense stellato-tomentoso; fructo 15-16 x 7-8 cm, fusiforme, basi constricto et apice apiculato; seminibus angulatis, subtrigonis, magnis, 2-2,6 x 2,1 x 1,6-1,7 cm, manifeste et grosso striatis; lana absente.

Typus: PERÚ: **HUANUCO.** Provincia de Pachitea, distrito de Honoría, camino a Ayamirim, 300-400 m, bosque alto, 17 nov 1966, árbol 6-7 m, fl., *José Schunke* 1246 (Holotypus COL-122535, Isotypus F).

Árboles de 5-15 (18) m, tronco inerme y ramificación seudoverticilada. Hojas con 5-6 foliolos; pecíolo de (8)11-20 cm de longitud; foliolos con peciólulo de 1,3-2 cm de

longitud; laminas discoloras, brillantes por la haz y pálidas por el envés, membranoso-papiráceas, estrechamente lanceoladas, de 15-21 x 4-6,5 cm, ápice agudo o acuminado, acumen de 1-2 mm de longitud; base gradualmente adelgazada en pecíolo; con 15-20 nervios laterales a cada lado del nervio medio, glabras en ambas superficies. Pedicelo floral de 0,8-1(1,5) cm de longitud; flor completa de 23-23,5 cm de longitud (Fig. 6A,B); cáliz verde, o verde-negrusco, de 2,2-2,5 x 1,2-1,3 cm, glabro; pétalos verde-crema, de 19-22 x 0,7-0,9 cm. Estambres verde-crema; de 19,5-21,5 cm (longitud total); tubo estaminal de 10-11,5 x 0,4 cm, en los $\frac{3}{4}$ basales finamente estrellado-pubescente y en el $\frac{1}{4}$ distal, las falanges y los filamentos glabro; anteras de (4)5-6 mm de longitud. Estilo de 21-24 cm de longitud, densamente estrellado-tomentoso. Fruto amarillo azufrado, finamente aterciopelado, fusiforme, de 15-16 x 7-8 cm, constreñido en la base y apiculado en el ápice; valvas 5, de c. 15 x 3-3,8 cm, con indumento muy fino tapizando la cara interna. Semillas grandes, angulosas, subtrigonas, de 2-2,6 x 2,1 x 1,6-1,7 cm, manifiesta y gruesamente estriadas; lana ausente (Fig. 6C).

Etimología. El nombre de la especie, que traduce «punga de Schunke», hace referencia al nombre vernáculo utilizado en la localidad típica de la Amazonia peruana y a José Schunke Vigo, quien recolectó el espécimen tipo y otras numerosas muestras fértiles de grandes árboles de la Amazonia peruana en la década de 1960.

Paratypus. ECUADOR. **NAPO.** Cantón Orellana. Carretera Payamino-Loreto, km 20, 77° 10' W, 00° 25' S, 250 m, bosque, 20 mar 1990, fl., *W. Palacios* 4805 (COL, MO, QCNE).

PERÚ: **LORETO.** Provincia de Maynas, región de Amazonas, distrito Las Amazonas, Campo Explornapo, cerca de Sucusarí, a lo largo del río Napo, 3° 20' S 72° 55' W, 100-140 m, 20 feb 1991, estéril, *J. Pipoly & al* 13110 (COL-410120, MO); ibídem, árbol 15 cm DAP, 20 feb 1991, *J. Pipoly & al* 13113 (COL-410121, MO); ibídem, 2 mar 1991, fr., *J. Pipoly & al* 14037 (COL-369688,369689, MO); ibídem, árbol 8 m, estéril, 2 mar 1991, *J. Pipoly & al* 14083 (COL-410119, MO); ibídem, estéril, 6 mar 1991, *J. Pipoly & al* 14744 (COL-410122, MO); Provincia Coronel Portillo, Distrito de Iparia, 300 m, 28 ago 1968, fl., *J. Schunke-V* 2716 (COL-122563).

Hábitat y distribución. Conocida del bosque húmedo o muy húmedo tropical, de tierra firme, en la cuenca alta del Amazonas, en Ecuador (Napo) y Perú (Loreto y Huanuco), entre los 0 y 500 m. Su presencia en el trapecio amazónico de Colombia es muy probable.



Figura 6. *Pachira punga-schunkei* Fern. Alonso. A.- Fotografía del holotipo, *Schunke- 1246* (COL); B.- Detalle de una flor, de *-Schunke 2716*; C.- Detalle de las valvas del fruto y las semillas de *J. Pipoly 14037*, (COL).

Observaciones

Especie afín a *P. speciosa* y *P. tocanina* pero reconocible por presentar la combinación de caracteres: foliolos con peciólulo de más de un centímetro y ápice no emarginado, cáliz glabro y fruto amarillo azufrado, desprovisto de lana.

También afín en cierto modo a *P. aquatica*, pero diferenciable fácilmente por presentar hojas membranosas, con peciólulos más largos, cáliz glabro y más estrecho, estambres menos numerosos, fruto más angosto, amarillento y con una especie de estrangulamiento o pie basal.

Nombres vernáculos y usos: “Huiña caspi”, en Perú, Huanuco (fide *Schunke 1246*); “Punguilla” en Perú, Loreto (*Schunke 2716*). La corteza se utiliza en la región de Huanuco para elaborar sogas (*Schunke 1246*).

Nuevas combinaciones en *Pachira* Aubl.

Como complemento al grupo de transferencias al género *Pachira* -de especies provenientes de otros géneros de la tribu Adansonieae- publicadas hace algunos años (**Alverson, 1994; Fernández-Alonso, 1998**), se proponen a continuación tres nuevas combinaciones, como resultado de la transferencia de otras tantas especies de los géneros *Bombacopsis* o *Rhodognaphalopsis* al género *Pachira*.

Pachira cubensis (A. Robyns) Fern. Alonso **comb. nov.**

= *Bombacopsis cubensis* A. Robyns, Bull. Jard. Bot. Etat 33: 183. 1963. Typus: CUBA. Pinar de Río, fl., fr., C. *Wright 2075* (Holotypus G, Isotypus MO, NY).

P. cubensis es endémica de la provincia de Pinar de Río e Isla de los Pinos en Cuba. Es una especie caducifolia, relacionada con la también antillana *P. emarginata* A. Rich. y se encuentra sólo presente en los mogotes, promontorios calcáreos erosionados.

Pachira retusa (Mart. & Zucc.) Fern. Alonso, **comb. nov.** Fig. 5B

= *Bombax retusum* Mart. & Zucc., Flora, 8: 28. 1825; K. Schum. in Mart., Fl. Bras., 12(3): 226. 1886. Typus: BRA-SIL: Minas Gerais, fl., *Martius s.n.* (Holotypus M, n.v.).

= *Bombacopsis retusa* (Mart. & Zucc.) A. Robyns, Bull. Jard. Bot. Etat 33: 205, 1963.

Especie considerada endémica de Brasil, donde se encuentra aparentemente restringida a los campos “cerrados” de la provincia de Minas Gerais.

Pachira rurrenabaqueana (Rusby) Fern. Alonso **comb. nov.**

= *Bombax rurrenabaqueana* Rusby, Mem. N. Y. Bot. Gard., 7: 301. 1927. Typus: BOLIVIA. Beni, fl., *Rusby 1571* (Holotypus NY; Isotypus K).

= *Bombacopsis rurrenabaqueana* (Rusby) A. Robyns, Bull. Jard. Bot. Etat 33: 217. 1963.

Especie propia de las selvas amazónicas de Beni, La Paz, Pando y Santa Cruz (en bosque basal y premontano), considerada endémica de Bolivia (**Robyns, 1963; Killeen & al. 1993**).

Agradecimientos

El autor expresa agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia y a su Instituto de Ciencias Naturales por las facilidades dadas para el desarrollo de este trabajo. A los curadores de herbarios Dayron Cárdenas (COAH), Philip Silverstone (CUVC); W. Devia (TULV), James Solomon (MO) y Rocío Cortés (UDBC), por el invaluable material remitido para estudio. A Adriana Albesiano y Alberto Cadena, por las muestras provenientes del Cañón del Chicamocha. A Carlos Aedo, a Santiago Castroviejo (MA) y a la biblioteca del Real Jardín Botánico de Madrid, por el apoyo con la literatura solicitada.

Bibliografía

- Albesiano, S.** 1999. Aportes al conocimiento de la estructura, composición florística, riqueza y diversidad de la parte media y baja del Cañón del río Chicamocha (Santander-Colombia). Tesis de Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C. 167 pp. (ined.).
- Campos Martins, V. L.** 1993. Especies brasileiras de *Eriotheca* Schott & Endl. (Bombacaceae). Tesis Maestría, Univ. Federal do Río de Janeiro, Río de Janeiro, Brasil. pp. 1-198, (inérita).
- Alverson, W. S.** 1994. New species and new combinations of *Catostemma* and *Pachira* (Bombacaceae) from the Venezuelan Guayana. *Novon* 4: 3-8.
- Alverson, W. S. & J. A. Steyermark.** 1997. Bombacaceae, pp. 496-527. En: P.E. Berry, B. K. Holst & K. Yatskievych (eds.) Flora of The Venezuelan Guayana. 3. Missouri Bot. Garden. St. Louis.
- Bakhuizen Van der Brink, R.C.** 1924. Revisio Bombacacearum. Bull. Jard. Bot. Buitenz., ser. 3, (Bot.) 6: 161-240.
- Dugand, A.** 1943. Revalidación de *Bombax ceiba* L. como especie típica del género *Bombax* L. y descripción de *Pseudobombax* gen. nov., *Caldasia* 2: 47-68.
- Esteves, G.** 1999. Bombacaceae, pp. 268-271. En: J. E. L. Ribeiro & al. (eds.) Flora da Reserva Ducke: guia de identificacao das plantas vasculares de una floresta de terra-firme na Amazonia Central. Manaus: INPA. 816 pp. il.

- Fernández-Alonso, J.L.** 1998. Novedades taxonómicas, corológicas y nomenclaturales en el género *Pachira* Aubl. (Bombacaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid* **56**(2): 305-314.
- . 1999. Sobre la identidad de *Pseudobombax squamigerum* y de *Eriotheca gentryi* (Bombacaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid* **57**(1): 162-164.
- . 2001a. Bombacaceae Neotropicae Novae vel minus cognitae I. Novedades taxonómicas y corológicas en *Matisia*, *Quararibea* y *Spirotheca*. *Revista Acad. Colomb. Cienc.* **25**(95): 183-206.
- . 2001b. Bombacaceae Neotropicae Novae vel minus cognitae V. Novedades en *Pseudobombax* Dugand y sinopsis de las especies colombianas. *Revista Acad. Colomb. Cienc.* **25**(97): 467-476.
- & **S. Castroviejo**. 2001. Bombacaceae Neotropicae Novae vel minus cognitae IV. De Matisiis et Quararibeis nonnullis in provincia chochoana regni novogranatensis provenientibus. *Anales Jard. Bot. Madrid* **59**(1): 152-156.
- & **G. Xhonneux**. 2002. Novedades taxonómicas y sinopsis del género *Melocactus* Link & Otto (Cactaceae) en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26**(100): 353-365.
- Killeen, T.K., García E. & S.G. Beck** 1993. Guía de árboles de Bolivia. Herbario Nacional de Bolivia - Missouri Botanical Garden. Quipus S.R.L., La Paz, Bolivia.
- Robyns, A.** 1963. Essai de monographie du genre *Bombax* s.l. (Bombacaceae). -*Bull. Jard. Bot. Etat Brux.* **33**: 1-315.
- & **S. Nilsson**. 1981. Bombacaceae neotropicae novae IX. A new species of *Eriotheca* from Colombia. *Bull. Jard. Bot. Natl. Belg.* **51**: 201-204.
- Schumann, K.** 1886. Bombacaceae. In: Martius, K. F. P. von (ed.) *Flora Bras.* **12**(3): 201-250, tab. 40-50.
- Stevenson, D. W.** 2001. Orden Cycadales. en R. Bernal & E. Forero (eds.), *Flora de Colombia* **21**. Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos, Bogotá.
- Taylor, N.P.** 1991. The genus *Melocactus* in Central and South America. *Bradleya* **9**: 1-80.
- Ulbrich, E.** 1914. Bombacaceae, in: R. Pilger (ed.) *Plantae Uleanae novae vel minus cognitae*. *Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem* **6**(55): 156-166.
- Vásquez, R.** 1997. Flórula de las reservas biológicas de Iquitos, Perú. *Monographs Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.* **63**. pp. 1-1046.

UNA ESPECIE NUEVA DE *HUILAEA* WURDACK (MELASTOMATACEAE) DE COLOMBIA

por

Humberto Mendoza-Cifuentes* & Adriana Prieto-Cruz**

Resumen

Mendoza-Cifuentes H. & A. Prieto-Cruz: Una especie nueva de *Huilaea* Wurdack (Melastomataceae) de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 39-43. 2003. ISSN 0370-3908.

Se describe e ilustra una nueva especie de *Huilaea* Wurdack (Melastomataceae). La misma se caracteriza por presentar el mayor número de flores por inflorescencia dentro del género, y por sus pétalos blanquecinos. Proviene de la zona del nudo de Santurbán, cuenca alta del río Zulia, donde la Cordillera Oriental (Colombia) se bifurca para conformar la Serranía del Perijá y la cordillera de Mérida. La especie se encuentra entre los 2.300 y los 2.800 m de altitud. Se hacen comentarios ecológicos y relativos al uso.

Palabras claves: *Huilaea*, *Miconieae*, Melastomataceae, Colombia.

Abstract

A new species of the genus *Huilaea* Wurdack from Colombia is described and illustrated. It is characterized by the largest number of flowers per inflorescence, in the genus, and by its whitish petals. The species is from the “nudo de Santurbán”, high part of the Zulia river watershed, where the cordillera oriental (Colombia) bifurcates into the Serrania del Perija and the Cordillera de Mérida between 2300 and 2800 m of altitude. Some ecological information and use is presented.

Key Words: *Huilaea*, *Miconieae*, Melastomataceae, Colombia.

* E- mail: hmendoza@humboldt.org.co. Instituto “Alexander von Humboldt”, Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental, GEMA, Calle 37 No. 8-40, Mezanine, Bogotá, D. C., COLOMBIA.

** E- mail: aprieto@humboldt.org.co. Instituto “Alexander von Humboldt”, Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental, GEMA, Calle 37 No. 8-40, Mezanine, Bogotá, D. C., COLOMBIA.

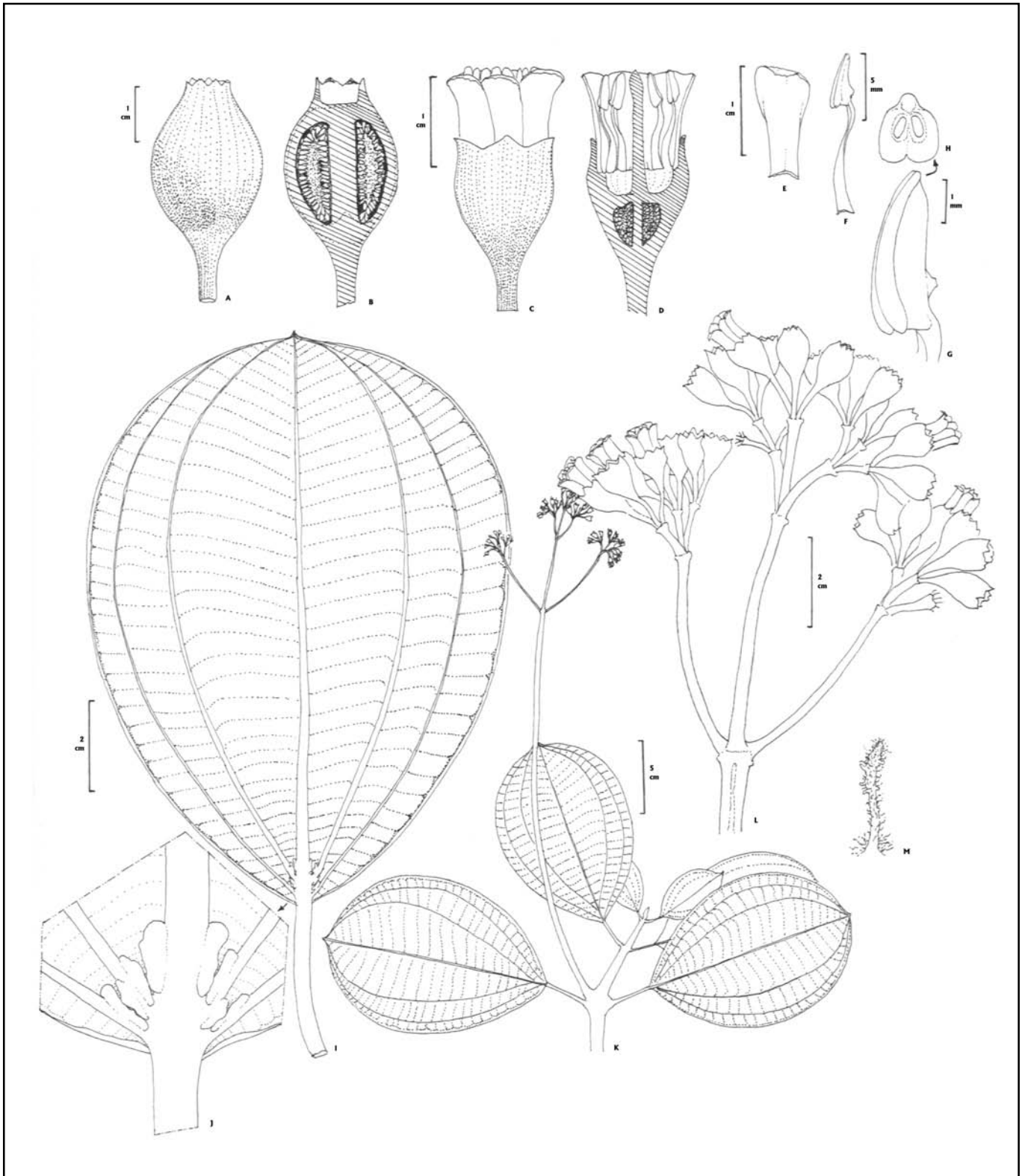


Figura 1. *Huilaea multiflora* H. Mendoza & A. Prieto-C. **A-B.** fruto; **C-D.** flor; **E.** pétalo; **F.** estambre; **G-H.** antera; **I.** hoja; **J.** domacios; **K.** hábito; **L.** inflorescencia; **M.** tricoma.

Introducción

El género *Huilaea* fue establecido por **Wurdack** en 1957; se caracteriza por presentar inflorescencias axilares, péndulas en dicasio, trifloras; flores grandes pediceladas y brácteas debajo del hipantio ausentes. Posteriormente **Lozano & Ruiz** (1996) ampliaron su descripción gracias a la aparición de nuevas especies con inflorescencias erectas, mayor número de flores y pétalos rojo intenso a rosado pálido, caracteres no considerados en la descripción original. Este género está incluido en la tribu *Miconieae* por presentar frutos carnosos en baya; sus relaciones filogenéticas dentro de la tribu son inciertas (**Lozano & Ruiz**, 1996).

El género *Huilaea* comprende 8 especies, incluyendo la aquí descrita, siete de ellas han sido registradas para Colombia y una para Ecuador. Se distribuye en la zona andina de los dos países y una especie en la Sierra Nevada de Santa Marta, entre los 1.600 y 2.800 m de altitud. Su área de mayor diversificación es la Cordillera Oriental colombiana, donde se concentran 5 de las especies. La aquí descrita representa el registro más nororiental del género.

Huilaea multiflora H. Mendoza & A. Prieto-C. **sp. nov.** (Figuras 1 y 2)

Diagnosis. Ab *Huilaea mutisiana* et *H. occidentale* Lozano & Ruiz affinis sed ab eis differt folia chartacea 7-plinervia; numero floribus inflorescentia, (20 vs. 39); floribus 1.8-2.1 cm longis et corolla alba.

Tipo: COLOMBIA, NORTE DE SANTANDER: municipio de Cucutilla, vereda Carrizal, sector de Sisavita, quebrada Quelpa, 2300 m, 7° 26' 20" N 72° 50' 27" W, 21 de marzo de 2002; *H. Mendoza et al.* 14525. HOLOTIPO: FMB (muestras de flores y frutos preservados en alcohol bajo la misma numeración); ISOTIPOS: FMB, COL, JAUM, CUVC, UPTC y próximo a distribuir a otros herbarios.

Descripción. Árbol de 7-8 m de altura; ramas, peciolas, envés foliar, inflorescencias y frutos con indumento ferrugíneo; tricomas levemente dendroideos. Ramas subcuadrangulares, nudos engrosados, entrenudos 2.5-4 cm long. Peciolo semicilíndrico, acanalado, 2.5-4 cm. long.; lámina obovada, 11.7-16.5 x 8.4-13.5 cm., ápice cuspidado, base obtusa; margen espaciadamente denticulada; haz glabra, de color verde grisáceo al secar; 7 plinervia, venación terciaria percurrente; venas terciarias perpendiculares a la primaria y secundarias. Inflorescencia axilar, 22-38 cm long.; ramificaciones 5, generalmente se subdividen en 3 ramitas trifloras, ápice trifloro; (20-) 30-39 flores; pe-

dúnculo subrectangular, 16-31 cm long. Flor hexámera, 1.8-2.1 cm long. (en fresco); pedicelo 6-7.5 mm long. (en fresco); hipantio campanulado, 8-10 x 7-8.5 mm, 12-19.7 x 8.7-13.5 mm (en fresco); dientes calicinos 2.5 x 1.2 mm, 3.8 x 2.5 mm (en fresco); pétalos espatulados, 11.5-12.5 x 6.2-6.4 mm (en fresco), carnoso, blanquecino, ápice revoluto; estambres 12, blancos, isomorfos; filamento laminar, longitud 6.6-7.0 mm long., 8-8.3 mm long. (en fresco); antera oblonga, 3.1-3.2 mm long., 3.4-3.8 mm long. (en fresco), biporada, conectivo con una pequeña protuberancia dorsal; ovario glabro; carpelos 6; estilo columnar, blanco, 1.2 cm long. (en fresco); estigma no expandido. Fruto elipsoide, 2.4 x 2.0 cm (en fresco); amarillo claro; semillas numerosas, triangulares-aplanadas, 1.10 x 0.40 x 0.250 mm (en fresco).

Material adicional: COLOMBIA, departamento de Norte de Santander; municipio de Cucutilla; vereda Carrizal, sector de Sisavita, quebrada Salinas. 2300 m, 07° 27' 34.7" N, 72° 50' 44" W, 6 de abril de 2002; *H. Mendoza et al.* 14755 (FMB, HUA).

Etimología: El epíteto específico hace referencia a la gran cantidad de flores por inflorescencia; es la especie con mayor número de flores dentro del género.

Distribución y hábitat: Conocida únicamente para la localidad de la colección típica. Se desarrolla en el bosque andino y en los bordes de quebradas entre los 2.300 y 2.800 m (ver anotaciones ecológicas y de uso).

Caracteres diagnósticos: El número de ramificaciones y de flores en la inflorescencia y el color blanquecino de los pétalos de esta especie, son caracteres únicos y sirven para diferenciarla fácilmente de otras especies dentro del género. El número de flores por inflorescencia en las otras especies es: 3 en *H. ecuadorensis*, *H. kirkbridei* y *H. penduliflora*; de 3 a 5 en *H. macrocarpa* y *H. minor*; de 3 a 9 en *H. mutisiana*; y 9 en *H. occidentalis* (**Lozano & Ruiz**, 1996; **Uribe**, 1966, 1969, 1977; **Wurdack**, 1957, 1976, 1990). Esta especie presenta la flor más pequeña 1.8-2.1 cm long y es la única con pétalos color blanco. En la clave específica propuesta por **Lozano & Ruiz** (1996), esta especie está relacionada con *H. mutisiana* y *H. occidentalis* por presentar hojas cartáceas, 7 plinervias; se separa de éstas por el color y el tamaño (1.15-1.25 cm long.) de los pétalos y por la inflorescencia con (20-) 30-39 flores.

La nueva especie crece hasta los 2.800 m y está mejor representada hacia los 2.500 m de altitud.

En la región la especie es conocida con el nombre de "Margarito", y sus frutos maduros son consumidos por los pobladores locales. Es visitada por colibríes.

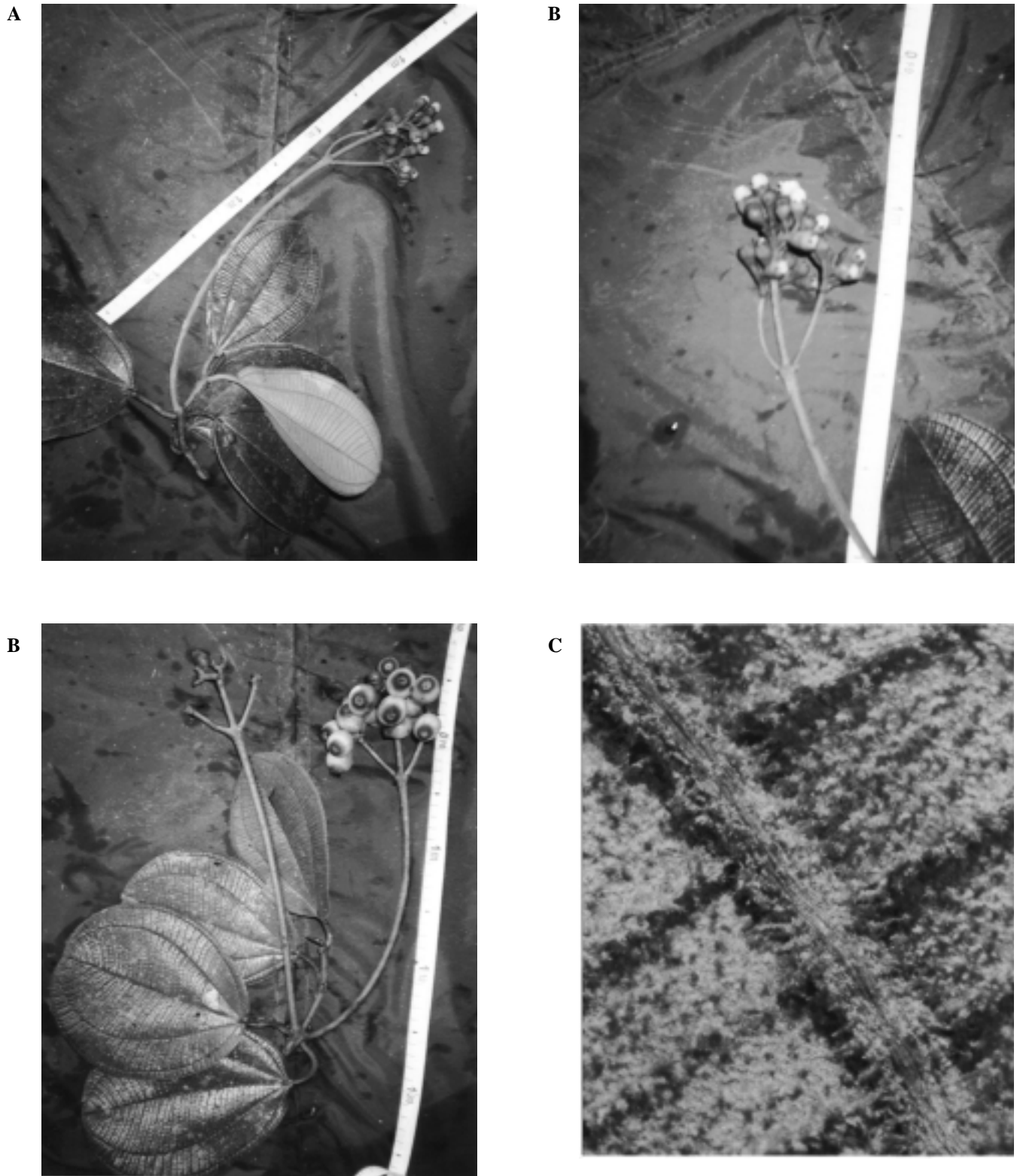


Figura 2. *Huilaea multiflora* H. Mendoza & A. Prieto-C. A. rama con flores; B. rama con frutos; C. detalle del indumento ferrugineo por el envés (15 x).

Agradecimientos

Fernando Fernández, Eduardo Calderón e Iván Gil revisaron críticamente el manuscrito; Sergio Córdoba aportó valiosos comentarios y redactó el resumen en inglés.

La nueva especie se recolectó durante la exploración al sector de Sisavita, financiada y organizada por CORPONOR y realizada por el Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental, GEMA, del Instituto "Alexander von Humboldt". Édgar Olaya (CORPONOR) facilitó la logística de la expedición y Aura Robles (GEMA) participó en las jornadas de campo y brindó valiosa ayuda en los muestreos. Carmen Ulloa y Agustín Rudas-LL. facilitaron gran parte de la literatura. La ilustración fue realizada por Roberto Rozo. Édgar Linares, curador general del Herbario Nacional Colombiano (COL), facilitó la consulta de la colección de Melastomataceae y los tipos correspondientes a las especies de *Huilaea*.

Bibliografía

- Lozano, G. & N. Ruiz.** 1996. El género *Huilaea* Wurdack (Melastomataceae). Rev. Acad. Col. Cienc. **20**(77): 237-242.
- Uribe, L.** 1966. Sertula Florae Colombiae, IX. Caldasia **9**(44): 295-301.
- . 1969 Sertula florae colombiae, XI. Caldasia **10** (48): 287-298.
- . 1977 Sertula florae colombiae, XIV. Caldasia **12** (56): 13-48.
- Wurdack, J.** 1957. Certamen Melastomataceis IV. Brittonia **9**(20): 101-109.
- . 1976. Endemic Melastomataceae of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Brittonia **28**(1): 138-143.
- . 1990. Certamen Melastomataceis XXXIX. Phytologia **69**(5): 316-327.

PTERIDÓFITOS DE COLOMBIA IV. NOVEDADES EN *CYATHEA* (CYATHEACEAE)

por

José Murillo-A. & María Teresa Murillo-P.*

Resumen

Murillo-A J. & MT. Murillo: Pteridófitos de Colombia IV. Novedades en *Cyathea* (Cyatheaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 45-51. 2003. ISSN 0370-3908.

Se describe una nueva especie de *Cyathea* y se propone un nuevo nombre para *Cyathea parva* (Maxon) R.M. Tryon, debido a problemas nomenclaturales. Además, se presenta una lista preliminar de las especies colombianas de *Cyathea*, con anotaciones relativas a la distribución geográfica y altitudinal. El género está formado por 55 especies y 5 variedades, que se distribuyen ampliamente en todo el país, pero el mayor número de especies se registra en la región Andina, en alturas menores de 2.500 m.

Palabras clave: Colombia, *Cyathea*, Cyatheaceae.

Abstract

A new species of *Cyathea* is described and a new name is proposed for *Cyathea parva* (Maxon) R.M. Tryon because there is a nomenclatural problem. A preliminary checklist of Colombian *Cyathea* is presented. The genus has 55 species and five varieties. These are distributed widely in Colombia, but the greatest concentrations are found in Andean region. Each species has comments about geographical and altitudinal distribution.

Key words: Colombia, *Cyathea*, Cyatheaceae.

Introducción

La familia Cyatheaceae está ampliamente representada en Colombia con los géneros *Alsophila*, *Cnemidaria*, *Cyathea* y

Sphaeropteris, de los cuales el más numeroso es *Cyathea*, que está distribuido entre los 0 y 4.200 m. Algunas de las especies de este género fueron tratadas por Presl bajo *Trichipteris* y puestas en sinonimia de *Cyathea* por **Lellinger** (1987).

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Apartado 7495. Bogotá, D.C., E-mail: jmurillo@ciencias.unal.edu.co

Cyathea se caracteriza principalmente por ser terrestre con tallos erectos de varios metros de altura; los peciolo dejan cicatrices muy marcadas alrededor del tallo, las cuales, en algunos casos, son de valor taxonómico. Estos tallos son muy resistentes y se utilizan como cercas, vigas, postes y también como macetas. Las escamas son atropurpureas a marrón y las células centrales están dirigidas al ápice, las márgenes tienen células más claras y de orientación y tamaño diferentes. El indusio está ausente o cuando se presenta varía de esfaeropteroide y ciateloide a hemitelioide. Las esporas son verrucadas o siladas y no presentan poros.

En la actualidad se elabora una lista de las especies de pteridófitos que crecen en Colombia (Murillo et al. en prep.) y como producto de tal revisión se propone una nueva especie del género *Cyathea* conocida sólo del departamento de Risaralda; además, se presenta un nuevo nombre para *Cyathea parva* (Maxon) R.M. Tryon. Este trabajo tiene como objetivo mostrar algunas novedades taxonómicas de *Cyathea* y actualizar la composición del género en Colombia.

Materiales y Métodos

Se revisaron ca 1.000 ejemplares del Herbario Nacional Colombiano (COL); éstos se confirmaron y determinaron con base en las claves disponibles en la literatura (Barrington 1978, Moran 1995, Tryon 1976). Se presenta una lista de las especies de *Cyathea* que crecen en Colombia, las cuales se ordenaron alfabéticamente y para cada una se anotó la distribución geográfica y altitudinal; además, se presenta una colección representativa, la cual si no se dice otra cosa está depositada en COL.

Resultados

Cyathea pilozana M.T. Murillo & J. Murillo *sp. nov.*
Fig. 1.

Tipo: COLOMBIA. **Risaralda.** Mistrató, entre los corregimientos de Jeguadas y Puerto de Oro, selva de Pisonés, 1550 m alt, 29 mar 1992, J.L. Fernández et al. 9600 (Holótipo COL).

Cyathea petiolata affinis, sed squammis 20-30 x 4-6 mm, venis liberis generaliter simplicibus, interdum areolis costalibus, nerviis 5-8 per segmentum et soriis 3-4 seriatis inter costula et margin differt.

Tallo 1.5-2 m. Peciolo muricado, ca 60 cm long, marrón; escamas ovado lanceoladas, 20-30 x 4-6 mm; bicoloras, a veces solo en el ápice, atropurpureas en el

centro, con márgenes marrón claro; caspilla marrón; lámina 2-pinnado-pinnatífida; raquis inerme, marrón, adaxialmente acanalado, cubierto abundantemente con pelos adpresos, abaxialmente redondeado, glabrescente, ápice pinnatífido; pinnas con peciolo de 3-5 cm long, articulados, ca 48 x 22-30 cm; pinnulas lobadas, 10-14 pares, con peciolo de 1-3 (-4) mm long, oblongas, 11-15 x 2.5-3 cm, ápice caudado y aserrado, base truncada a obtusa, generalmente inequilátera, glabras con la vena media cubierta abundantemente de pelos curvos; últimos segmentos obtusos a redondeados, generalmente serrados; venación simple, algunas veces formando areolas hacia la base de las pinnulas, (5-) 6-8 pares de venas por segmento. Soros mediales sobre venas simples, en 3 a 4 series entre la costa y la margen; indusio hemitelioide, oculto



Figura 1. *Cyathea pilozana*, Hábito, J.L. Fernández 3154

por los esporangios; parafisos más cortos que los esporangios.

Etimología

Esta especie está dedicada a dos ilustres botánicos que consagraron su vida al estudio de la flora colombiana, Pilar Franco y Gustavo Lozano.

Especímenes examinados

COLOMBIA. **Risaralda**. Misstrató, entre los corregimientos de Jeguadas y Puerto de Oro, selva de Pisonés, 1550 m alt, 29 mar 1992, *J.L. Fernández et al.* 9565 (COL); Corregimiento de Jeguadas, Cordillera Occidental, vertiente occidental, 5°26'N 76°02'W, 28 mar – 2 abr 1992, *J. Betancur et al.* 3130, 3154, 3213, 3275 (COL).

C. pilozana se caracteriza por tener las pinnulas lobadas, los soros mediales distribuidos en 3 a 4 filas entre la costa y la margen y la venación aunque generalmente es libre algunas veces el par basal de venas se unen para formar una areola costal. Es una especie muy parecida a *Cyathea petiolata* (Hook.) R.M. Tryon por la división de la lámina y la forma de las pinnulas; sin embargo, *C. petiolata* se diferencia porque los soros son submarginales y generalmente se presentan areolas costales.

C. pilozana es una especie que sólo se ha encontrado en la Cordillera Central en el departamento de Risaralda, en altitudes cercanas a los 1.500 m.

Cyathea minuta J. Murillo & M.T. Murillo *nom. nov.*

Alsophila parva Maxon, J. Wash. Acad. Sci. 34: 48. f. 1. 1944.

Cyathea parva (Maxon) R.M. Tryon *nom. illeg.*, Contr. Gray Herb. 206: 47. 1976, *non Cyathea parva* Copel. Univ. Calif. Publ. Bot. 18: 219. 1942.

Alsophila parva fue propuesta por Maxon en 1944 con base en el ejemplar *Killip 5254* (US, NY) y conocida solo por el tipo, se distingue por su lámina pinnada, el raquis alado en toda su extensión (Tryon 1976) y por el indusio, sin embargo, las escamas no presentan setas marginales y las espinas no son negras, caracteres presentes en *Alsophila*, por lo cual Tryon (1976) la transfirió a *Cyathea*. No obstante, Tryon no se dio cuenta que Copelan en 1942 había publicado una *Cyathea* de Nueva Guinea, con el mismo epíteto específico, esto hace que el nombre propuesto por Tryon sea ilegítimo, de tal manera que es necesario proponer un nuevo nombre para *A. parva*.

Etimología

El epíteto específico hace referencia al tamaño de la planta.

Lista de especies del género *Cyathea* en Colombia

Cyathea en Colombia está formado por 55 especies y 5 variedades, lo cual representa ca 49% de las especies del género; anteriormente se habían registrado 34 (Murillo & Harker 1990). Dentro de las especies más comunes están *C. andina*, *C. conjugata*, *C. divergens*, *C. petiolata* y *C. procera*.

Las especies de *Cyathea* están ampliamente distribuidas en todo el país; sin embargo, la región Andina cuenta con la mayor diversidad (37 spp), seguida de las regiones Pacífica, Amazónica y Atlántica con 11, 11 y 10 especies respectivamente, entre tanto la Orinoquia es la región más pobre con sólo tres. La distribución de la mayoría de los taxones es limitada, lo cual permite que 5 especies sean endémicas para Colombia, *C. alstonii*, *C. decorata*, *C. minuta*, *C. paladensis* y *C. straminea*. En zonas como la región Andina, que están siendo afectadas ostensiblemente por la deforestación y en general por el deterioro del hábitat, las especies con área restringida pueden llegar a desaparecer si no se implementan medidas de manejo y conservación.

El género *Cyathea* se presenta desde el nivel del mar hasta los 4.200 m, el mayor número de especies (26) se registra entre 1.500 y 2.000 m, sin embargo, la diversidad es comparable entre los 0 y los 2.500 m (19-26) y disminuye en menos de 10 especies arriba de los 2500 m. Las especies que crecen a mayor altura son *C. caracasana* var. *boliviensis* a los 4.200 m y *C. frigida* a los 3.900. Los taxones más ampliamente distribuidos altitudinalmente son *C. bicrenata*, *C. decorata*, *C. delgadii*, *C. multiflora*, *C. pauciflora* y *C. rufa*.

1. *C. alstonii* R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 52. 1974.

Es una especie endémica de Colombia y se encuentra en el departamento del Meta, en la Serranía de la Macarena, entre 1.300 a 1.900 m de altitud. *J. Idrobo 1130*

2. *C. andina* (H. Karst.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.

Es una especie que se encuentra a lo largo de la región Andina desde Putumayo hasta Norte de Santander, también en el departamento del Magdalena en alturas comprendidas entre 100 y 1.600 m. *F. Giraldo 2048*.

3. *C. aterrима* (Hook.) Domin, Pteridophyta 262. 1929.

Esta especie crece en los departamentos de Caquetá, Chocó, Guaviare y Meta, en alturas comprendidas entre los 300 y 1.100 m. *P. Franco 3781*.

4. *C. arborea* (L.) Sm., Mém. Acad. Turín 5: 417. 1793.

Esta especie se registra sólo para la serranía de la Macuira en el departamento de La Guajira, en una altura cercana a los 600 m. *H. Bernal 99*.

5. *C. bicrenata* Liebm., Kongel. Danske Vidensk. Selsk. Skr., Naturvidensk. Math. Afd. Ser. 5, 1: 289. 1894.

Crece en los departamentos de Amazonas, Antioquia, Caldas y Huila, entre los 100 y 2.460 m de altura. *G. Osorio 180*.

6. *C. bipinnatifida* (Baker) Domin, Pteridophyta 262. 1929.

Se encuentra en los departamentos de Antioquia, Caquetá, Huila y Santander, entre los 1.000 y 1.800 m de altitud. *S. Díaz 1332*.

7. *C. bradei* (P.G. Windish) Lellinger, Amer. Fern. J. 74: 57. 1984.

Es una especie amazónica de los departamentos de Amazonas, Caquetá y Vaupés, en altitudes menores de 300 m. *R. Alfonso 077*.

8. *C. brunescens* (Barrington) R. C. Moran, Novon 1: 101. 1991.

Se encuentra en los departamentos de Antioquia, Cauca, Chocó, Nariño, Valle del Cauca y Putumayo entre los 5 y 900 m de altitud. *D. Lellinger 361*.

9. *C. caracasana* (Klotzsch) Domin, Pteridophyta 262. 1929.

9.1. var. *boliviensis* (Rosenst.) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 77. 1974.

Es una subespecie que crece ampliamente en la región andina y el departamento del Magdalena, se encuentra entre 1.500 – 4.200 m de altitud. *R. Jaramillo 3463*.

9.2. var. *chimbrazensis* (Hook.) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 81. 1974.

Es una subespecie que crece desde Putumayo y Cauca hasta Cundinamarca y Risaralda entre 1.600 y 2.500 m de altitud. *D. Barrington 502*.

9.3. var. *maxonii* (Underw.) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 83. 1974.

Crece en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca y Nariño, en altitudes comprendidas entre los 1.750 y 3.300 m. *B. Ramírez 5053*.

9.4. var. *meridensis* (H. Karst.) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 79. 1974.

Crece desde Nariño y Putumayo a lo largo de las cordilleras hasta Antioquia y Santander entre 1.200 y 2.900 m. *D. Barrington 455*.

10. *C. conformis* (R., M. Tryon) Stolze, Fieldiana Bot. 37: 80. 1974.

Chocó, Según Moran (1995).

11. *C. conjugata* (Spruce ex Hook.) Domin, Pteridophyta 262. 1929.

Crece a lo largo de la región Andina desde Nariño y Putumayo hasta Antioquia y Norte de Santander entre 1.200 y 2.800 m. *M.T. Murillo 1136*.

12. *C. cyatheoides* (Desv.) K.U. Kramer The Pteridophytes of Suriname 39. 1978.

Es una especie que crece en los departamentos de Amazonas y Vaupés, en alturas menores de 300 m. *R. Schultes 16155*.

13. *C. darienensis* R.C. Moran, Novon 1: 97. 1991.

Crece en Antioquia y Chocó, entre 940 y 1.500 m. *A. Gentry 75853*.

14. *C. decorata* (Maxon) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 47. 1976.

Es una especie endémica registrada sólo para la región Pacífica, crece desde el departamento del Cauca hasta el Chocó, entre 30 y 2.000 m de altitud. *D. Lellinger 408*.

15. *C. delgadii* Sternb., Vers. Fl. Vorwelt 1: 47. 1820.

Se ha encontrado en Antioquia, Cundinamarca, Meta Nariño y Vichada, entre 250 y 2.700 m de altitud. *O. Haught 2813*.

16. *C. divergens* Kunze, Linnaea 9: 100. 1834. var. *divergens*

Es una especie de la región Andina que se encuentra desde Nariño hasta Risaralda y Norte de Santander, entre 1.200 y 2.400 m de altitud. *D. Lellinger 806*.

17. *C. ebenina* H. Karst. Linnaea 28: 461. 1857.

Es una especie de Antioquia, Chocó, Huila y Magdalena, entre 1.900 y 2.500 m de altitud. *P. Silverstone 4701*.

18. *C. falcata* (Kuhn) Domin, Pteridophyta 262. 1929.
Es una especie de los departamentos de Cauca, Magdalena, Norte de Santander y Valle del Cauca, crece en alturas menores de 1.000 m. *H. Bischler* 2538.
19. *C. frigida* (H. Karst.) Domin, Pteridophyta 262. 1929.
Se ha encontrado en la Cordillera Occidental en los departamentos de Chocó, Nariño y Valle del Cauca, también en la Cordillera Oriental en Cundinamarca, además, en el departamento de Magdalena, entre 2.700 y 3.900 m de altitud. *R.M. Tryon* 5914.
20. *C. fulva* (M. Mart. & Galeotti) Fée, Mém. Foug. 9: 34. 1857.
Es una especie de la región Andina; se ha encontrado en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca y Norte de Santander, entre los 1.800 y 3.300 m. *G. Lozano* 5942.
21. *C. gracilis* Griseb., Fl. Brit. W. I. 704. 1864.
Es una especie del departamento de Antioquia, crece de 1.700 a 1.900 m de altura. *F. Giraldo* 1997.
22. *C. haughtii* (Maxon) R.M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 48. 1976.
Esta especie se registra para el departamento de Santander, en una altura cercana a los 1400 m. *O. Haught* 1957.
23. *C. kalbreyeri* (Baker) Domin, Pteridophyta 262. 1929.
Se encuentra en los departamentos de Antioquia y Cundinamarca entre los 150 y 1.400 m de altura. *Kalbreyer* 1375 (K)
24. *C. latevagans* (Baker) Domin, Pteridophyta 262. 1929.
Es una especie andina de los departamentos de Antioquia y Chocó, crece entre los 1.900 y 2.100 m de altitud. *E. Forero* 2157.
25. *C. lasiosora* (Kuhn) Domin, Pteridophyta 262. 1929.
Es una especie de la región amazónica y del departamento del Meta. Crece entre los 250 y 625 m de latitud. *R. Schultes* 24358.
26. *C. macrosora* (Baker) Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Crece en los departamentos de Caquetá y Amazonas, en alturas menores de 300 m. *R. Alfonso* 534.
27. *C. microdonta* (Desv.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Es una especie de la región Pacífica y de los departamentos de Antioquia, Caquetá, Cundinamarca, Meta y Vichada, crece entre los 5 y 1.500 m de altitud. *D. Lellinger* 429.
28. *C. microphyllodes* Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Se encuentra en los departamentos de Cundinamarca, Norte de Santander y Santander, en alturas comprendidas entre los 1.800 y 2.300 m. *J. Cuatrecasas* 12513.
29. *Cyathea minuta* J.Murillo & M.T. Murillo, publicada en este volumen.
Es una especie endémica, conocida sólo del departamento del Valle del Cauca, en alturas cercanas a los 100 m. *E. Killip* 5254 (NY).
30. *C. multiflora* Sm., Mém. Acad. Roy. Sci. (Turin) 5: 416. 1793.
Es una especie que crece desde Nariño y Putumayo a lo largo de las cordilleras Occidental y Central hasta Antioquia, entre 340 y 2.200 m. *D. Lellinger* 892.
31. *C. nigripes* (C. Chr.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Es una especie andina, de los departamentos de Antioquia, Cauca y Valle del Cauca, en altitudes comprendidas entre 1.500 y 1.950 m. *P. Hutchinson* 3003.
32. *C. pallescens* (Sod.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Es una especie de la parte central de la región Andina, de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Huila y Santander, en altitudes comprendidas entre 2.300 y 3.000 m. *R. M. Tryon* 6113.
33. *C. paladensis* (Hieron.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.
Esta es una especie endémica de Colombia, se ha registrado al sur del país en los departamentos de Cauca, Huila, Nariño y Putumayo en alturas entre 2.300 y 2.500 m. *J. Cuatrecasas* 8507.
34. *C. pauciflora* (Kuhn) Lellinger, Amer. Fern J. 77: 94. 1987.
Crece en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Guajira y Magdalena entre los 800 y 2.700 m de altitud. *J. Pipoly* 16643.

35. *C. petiolata* (Hook.) R. M. Tryon, Contr. Gray Herb. 206: 42. 1976.

Crece ampliamente desde Nariño y Cauca hasta Antioquia, además Santander y Bolívar, en altitudes menores de 1550 m. *D. Lellinger 86*.

36. *C. phalaenolepis* (C. Chr.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.

Es una especie de la región Pacífica, crece en alturas menores de 300 m. *D. Lellinger 479*.

37. *C. pilosissima* (Baker) Domin, Pteridophyta 262. 1929.

Crece en el departamento de Chocó en alturas menores de 150 m. *D. Lellinger 714*.

38. *Cyathea pilozana* M.T. Murillo & J. Murillo, publicada en este volumen.

Crece en el departamento de Risaralda en alturas cercanas a los 1.500 m. *J.L. Fernández 9600*.

39. *C. pinnula* (H. Christ) Domin, Acta Bot. Bohem. 9: 148. 1930.

Se encuentra en el departamento de Chocó en alturas cercanas a los 100 m. *E. Killip 39084* (MO)

40. *C. planadae* N.C. Arens & A. R. Sm., Amer. Fern. J. 88: 50. 1998.

Esta especie se registra para el sur del país en los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, en alturas comprendidas entre los 1.750 y 2.300 m. *N. Arens s.n.*

41. *C. platylepis* (Hook.) Domin, Pteridophyta 264. 1929.

Es una especie de los departamentos de Amazonas y Vaupés, en alturas comprendidas entre 240 y 600 m, *R. Schultes 12469*.

42. *C. poeppigii* (Hook.) Domin, Pteridophyta 263. 1929.

Crece desde Nariño y Putumayo hasta Antioquia, en altitudes entre 1.310 y 1.950 m. *M.T. Murillo 1023*.

43. *C. procera* Brause, Bot. Jahrb. Syst. 56: 50. 1920.

Es una especie ampliamente distribuida, crece principalmente en la región Andina, Amazonia y el departamento del Magdalena, en alturas menores de 1.500 m. *P. Franco 5457*.

44. *C. rufa* (Fée) Lellinger, Amer. Fern J. 77: 94. 1987.

Se encuentra en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Chocó, Huila y Santander, en alturas menores de 2.500 m de altitud. *A. Gentry 20231*.

45. *C. schiedeana* (C. Presl) Domin, Pteridophyta 263. 1929.

Se encuentra en el departamento de Chocó en alturas comprendidas entre los 1.940 y 2.160 m. *P. Silverstone 4939*.

46. *C. schlimii* (Kuhn) Domin, Pteridophyta 263. 1929.

Esta es una especie andina de los departamentos de Cundinamarca, Nariño y Norte de Santander, crece entre los 1.900 y 2.100 m de altitud. *A. Gentry 59743* (MO)

47. *C. senilis* (Klotzsch) Domin, Rozpr. Kral. Ceske Spolecn. Nauk, Tr. Mat.-Prir. 263. 1929.

Se encuentra en el departamento de Norte de Santander, en alturas cercanas a los 1.000 m. *H. Bischler 2552*

48. *C. speciosa* Willd., Sp. Pl. 5: 490. 1810.

Se ha encontrado en el departamento de Magdalena, en la Sierra Nevada de Santa Marta, en una altura cercana a los 1300 m. *H. Smith 1124*.

49. *C. straminea* H. Karst., Linnaea 28: 457. 1856.

Esta especie es endémica para Colombia. Se registra principalmente al sur de la región Andina en los departamentos de Cauca, Nariño y Putumayo, y también en el departamento de Caldas, en alturas comprendidas entre los 2.000 y 3.350 m. *D. Soejarto 1434*.

50. *C. suprastrigosa* (H. Christ) Maxon, in Britton et al. N. Amer. Fl. 16: 83. 1909.

Crece en el departamento de Antioquia, en alturas comprendidas entre los 2.600 y 2.700 m. *F. Giraldo 2508*.

51. *C. tortuosa* R.C. Moran, Novon 1: 99. 1991.

Es una especie amazónica del departamento de Putumayo, entre los 300 y 600 m. *J. Cuatrecasas 11299*

52. *C. tryonorum* (Riba) Lellinger, Amer. Fern J. 77: 94. 1987.

Se ha encontrado en la parte central de la región Andina, en alturas que van desde los 1.650 a 2.900 m. *D. Lellinger 788*.

53. *C. ulei* (H. Christ) Domin, Acta Bot. Bohem. 9: 168. 1930.

Se encuentra en el departamento de Huila, Nariño, Putumayo y Valle del Cauca, en una altura comprendida entre los 1.000 y 2.100 m. *W. Hagemann 1732*.

54. *C. villosa* Humb. & Bonpl. ex Willd., Sp. Pl. 5: 495. 1810.

Se registra en los departamentos de Antioquia, Guajira, Magdalena y Santander, entre los 1.000 y 1.800 m de altura. *O. Haught 4531*.

55. *C. williamsii* (Maxon) Domin, Acta Bot. Bohem. 9: 171. 1930.

Se ha registrado para el Chocó entre los 1.400 y 1.750 m de altura. *D. Lellinger 258*.

Agradecimientos

Agradecemos al Herbario Nacional Colombiano por permitir el estudio de los especímenes. A las bases de da-

tos del Jardín Botánico de Missouri (W³ TROPICOS) y del Jardín Botánico de Nueva York. A Robin Moran por sus comentarios sobre *Cyathea parva* y a T. Filguereidas por revisar la descripción en latín.

Bibliografía

Barrington, D. 1978. A revision of the genus *Trichopteris*. Contr. Gray Herb. 208: 3-93.

Lellinger, D. 1987. The disposition of *Trichopteris* (Cyatheaceae) Amer. Fern J. 77: 90-94.

Moran, R. 1995. *Cyathea*. In Davidse, G., M. Sousa & A. Charter (eds.). Flora Mesoamericana. Universidad Nacional Autónoma de México. México. I: 93-103.

Murillo, M. T. & M. Harker. 1990. Helechos y Plantas Afines de Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editora Guadalupe. Bogotá. 323 pp.

Tryon, R. 1976. A revision of the genus *Cyathea*. Contr. Gray Herb. 206: 19-98.

CODIFICACIÓN SISMOLÓGICA DE UN SEGMENTO DE LA FALLA CAUCA – ALMAGUER Y SUS APLICACIONES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

por

Alejandro Chica Sánchez¹, Javier A. Buitrago Giraldo²⁻³, Gaspar Monsalve Mejía³⁻³,
Julián E. Morales Rivas²⁻⁴

Resumen

Chica A., JA. Buitrago, G. Monsalve & JE. Morales: Codificación sismológica de un segmento de la falla Cauca – Almaguer y sus aplicaciones en el departamento de Antioquia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 53-69. 2003. ISSN 0370-3908.

La codificación de los planos de falla tiene como objetivo principal proponer una nueva posibilidad para la ubicación de focos sísmicos. Para ello es preciso construir una malla regular de hipocentros supuestos, sobre el plano de falla, para hacer la búsqueda del rayo sísmico más rápido y directo, que viaja desde cada foco hasta un sismógrafo dado. Este procedimiento se lleva a cabo para un mínimo de tres sismógrafos, de manera que se pueden elaborar mapas sobre el plano de falla de isolíneas de tiempo de llegada a cada uno de los tres sismógrafos. En consecuencia, también pueden elaborarse mapas de isolíneas de diferencias de tiempo de llegada entre parejas de sismógrafos sobre el plano de falla. Al superponer dos de estos mapas de diferencia de tiempo se obtiene la localización de un sismo generado en dicho plano. Una aplicación importante es el estudio de la atenuación de la energía sísmica en el recorrido y en las fronteras entre medios.

Palabras clave: Falla, Rayo, Codificación, Refracción, Isolínea, Atenuación.

Abstract

The main objective of the codification of fault planes is to look for a new possibility in terms of location of seismic sources. In order to achieve this, it is necessary the construction of a regular grid

¹ alchisan@epm.net.co. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

²⁻³ Ingenieros Geólogos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. jbuitre@yahoo.com

³ gasparmonsalve@hotmail.com

⁴ julianmorales@reuna.edu.co

of assumed hypocenters on the fault plane. One of the key steps of the method is the search of the fastest seismic ray that travels between a specific hypocenter and a given seismograph. This method should be used with a minimum of three seismographs, so that it is possible to make maps of arrival time isolines for each seismograph. In consequence, it is also possible to make maps of isolines of differences in arrival times between two seismographs. Those maps should be also on the fault plane. When two maps of time differences are placed one above another, one can locate the possible hypocenter of an event that was originated on the studied fault plane. An important application is the study of the attenuation of seismic energy, utilizing a similar methodology to the one used for the codification, and including the calculation of the attenuation that takes place during the course of the seismic ray inside a specific rock and at the boundaries between two different media.

Key words: Fault, Ray, Codification, Refraction, Isoline, Attenuation.

Introducción

Para estudios de amenaza potencial y riesgo sísmico es necesario contar con modelos analíticos que permitan una buena aproximación al fenómeno sísmico, con miras a un adecuado control y monitoreo de las sismofuentes. En contraste con los métodos usuales de localización de hipocentros, que asumen una corteza homogénea e isotrópica, el proceso de codificación de planos de falla se apoya en la modelación tridimensional de la geología de una región. Esta consideración implica diferentes comportamientos de las ondas mecánicas generadas en un sismo, dependiendo de la litología por la cual viajan, que se ven reflejados en las variaciones de la velocidad de propagación de las ondas compresionales (V_p). Este procedimiento permite por tanto localizar el hipocentro, conocer las unidades litológicas atravesadas por los rayos y cuantificar la pérdida de energía para los rayos más rápidos y

directos (primeras llegadas). La presentación y explicación detallada del método se encuentra en **Chica** (2001).

El presente artículo, elaborado con base en la experiencia de un trabajo de grado en Ingeniería Geológica (**Buitrago et al**, 2001), expone los resultados obtenidos al aplicar esta metodología al segmento más norte de la falla Cauca – Almaguer en el departamento de Antioquia, noroccidente de Colombia; dicha falla corresponde a la traza más occidental del sistema Cauca – Romeral. La Figura 1 ilustra la localización de la zona de estudio.

El proceso completo de codificación sismológica se resume en los siguientes pasos.

Modelo de corteza

La realización del modelo de corteza involucra características litológicas y tectónicas regionales y locales, de tal forma que puedan simplificarse al máximo la forma, extensión y ubicación espacial de cada una de las principales unidades litológicas y fallas dentro de la zona de estudio. Las principales características consideradas se resumen a continuación.

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias presentes en la región de interés se encuentran agrupadas en las siguientes unidades (se incluyen las secuencias volcano – sedimentarias). La nomenclatura que aparece enseguida de cada unidad se basó en la utilizada en el Mapa Geológico del Departamento de Antioquia, Ingeominas (**González**, 1996):

- Formación San Luis (Kissi)
- Formación Abejorral (Kisa)
- Formación San Pablo (Kisp y Kivp)
- Complejo Quebradagrande (Kisqg y Kivqg)

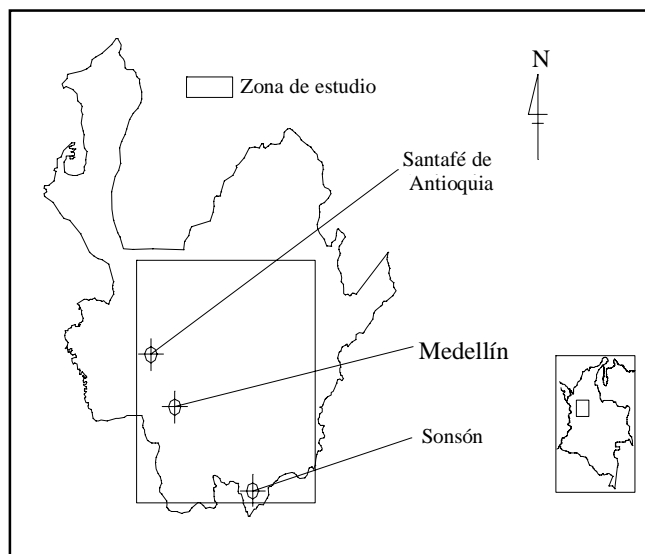


Figura 1. Localización de la zona de estudio

- Formación Barroso (Kslb y Ksvb)
- Formación Penderisco Miembros Urrao y Nutibara (Ksu y Ksn)
- Formación Amagá (Ngas, Pgam, Pgai)
- Formación Combia (Ngc)

En general estas rocas sedimentarias presentan litologías variables desde arcillolitas hasta conglomerados, aglomerados, tobas y en algunos casos se presentan además derrames lávicos y diques. De estas unidades, muchas reposan sobre las rocas metamórficas que componen el núcleo de la Cordillera Central y en algunas se observan efectos térmicos producto de las intrusiones de cuerpos como el Batolito Antioqueño y el Batolito de Sonsón. Las Formaciones Barroso y Penderisco, de afinidad oceánica, constituyen la mayor parte de la Cordillera Occidental.

Rocas metamórficas

Dentro de la zona de estudio, las rocas metamórficas constituyen la litología más abundante. Con base en los numerosos estudios realizados (**Maya et al**, 1995; **González**, 1980; **McCourt et al**, 1984; **Restrepo et al**, 1982) se ha llegado a la conclusión que estas rocas forman el núcleo de la Cordillera Central y constituyen un cinturón con tendencia regional aproximadamente S – N. A raíz de la constante actividad tectónica que se ha desarrollado en esta zona, los buzamientos de los paquetes rocosos son muy variables, tanto en ángulo como en dirección; los efectos dinámicos producto de dicha actividad son también abundantes.

Las rocas metamórficas de la Cordillera Central han sido agrupadas en dos unidades principales:

- Complejo Cajamarca (Pzni, Pz, Pzm, Pzes, Pzev, Pzq, Pza, Pznf, Pznl y Pegr)
- Complejo Arquía (Kica)

La separación de estos dos paquetes metamórficos se ha realizado con base en consideraciones de tipo geológico y geocronológico que muestran diferencias en las condiciones de formación de cada una de ellas. Las rocas que se encuentran dentro de estas unidades varían desde rocas de grado de metamorfismo bajo a medio (metasedimentitas y esquistos) hasta rocas de grado alto a muy alto (anfíbolitas, granulitas y migmatitas).

Rocas ígneas

Debido a su extensión sobresalen principalmente el Batolito Antioqueño y, en menor medida, el Batolito de

Sonsón. En general se trata de cuerpos intrusivos principalmente de afinidad granítica. También se presentan en menor proporción algunos cuerpos máficos y ultramáficos como gabros y dunitas, que corresponden más a emplazamientos tectónicos que a intrusiones propiamente dichas. Las principales unidades de carácter ígneo son:

- Batolito de Sonsón (Jts)
- Diorita de Pueblito (Kidp)
- Batolito de Sabanalarga (Ksts)
- Batolito Antioqueño (Ksta)

La composición mineralógica de estos cuerpos permite clasificarlos en una amplia gama, desde granodioritas hasta cuarzomonzonitas, tonalitas y gabros.

Principales fallas y sistemas de falla.

En los dominios de la Cordillera Central en el departamento de Antioquia se tienen importantes sistemas de falla que afectan ambos flancos de la cordillera. Entre ellos sobresalen el sistema de Fallas de Palestina, que se encuentra en el oriente, y el sistema de Fallas de Cauca – Romeral, que se encuentra en la parte más occidental y que regionalmente separa lo que es corteza continental al este, formada por las rocas metamórficas de la Cordillera Central, y corteza oceánica al oeste, formada por rocas ígneas básicas y ultrabásicas acompañadas de rocas sedimentarias de afinidad oceánica que componen la Cordillera Occidental. Es interesante anotar que la complejidad de las estructuras presentes en gran parte del departamento de Antioquia son un claro reflejo de la continua y prolongada actividad tectónica que se ha desarrollado en la región; actividad que según **Álvarez** (1983), “ha reactivado y en algunos casos reorientado muchas de las estructuras preexistentes”. Las características más importantes de las principales fallas y zonas de falla se resumen a continuación.

- Zona de falla de Palestina: Tiene rumbo N10° - 20°E. Constituye una zona de debilidad de 0.5 a 30 kilómetros de ancho. Las fallas de este sistema que afloran en la zona de estudio son: Palestina, Norcasia, Cocorná, Chupadero y Aquitania, que probablemente se entrelazan en profundidad formando lo que se conoce como “cola de caballo”. La zona es de unos 500 kilómetros de longitud, corta la esquistosidad regional y las rocas comprendidas entre la parte media de la Cordillera Central (Nevado del Ruiz) y la estribación oriental de esta Cordillera (Valle del Magdalena) extendiéndose al norte hasta la Serranía de

San Lucas. Su tasa de movimiento, medido a partir de desplazamientos en superficies de erosión, se estima en 0.2 mm/año.

- Zona de Falla de Cauca – Romeral: La principal zona de debilidad en Colombia se encuentra en la zona de Falla Cauca - Romeral, que junto con sus prolongaciones al norte (por debajo de los sedimentos terciarios de la Costa Atlántica) constituyen la llamada zona de cizallamiento Dolores, la cual se extiende por más de 1000 km desde el Ecuador hasta Barranquilla. Regionalmente la dirección preferencial de este sistema es S – N, variando a NNE y donde sobresalen las fallas Cauca – Almaguer (que corresponde al límite occidental del sistema y que incluye la Falla Sabanalarga), Silvia – Pijao [que corresponde a parte de lo que **Grosse** en 1926, denominó Falla Romeral), y la falla San Jerónimo [que corresponde al límite oriental del sistema y la cual es conocida hacia el sur como falla Aranzazu – Manizales (**Maya et al**, 1995)].
- Falla Cauca - Almaguer: Esta falla del sistema Cauca – Romeral comprende los tramos denominados Sabanalarga y Cauca Oeste (**Page**, 1986, **Maya et al**, 1995). Es una falla inversa con componente sinistral, que desplaza el plutón de Sabanalarga por más de 25 km. Sus principales expresiones geomorfológicas son boquerones, valles angostos y segmentos rectos de corrientes (entre las que se incluye el río Cauca). Al oeste de estas fallas se encuentran rocas verdes cretáceas, mientras que al este se hallan esquistos verdes, neises y rocas graníticas, que muestran en mayor o menor medida efectos dinámicos. También afecta sedimentos terciarios de las Formaciones Amagá y Combia, que la cubren parcialmente en el extremo sur de la zona de trabajo. Los múltiples segmentos de esta falla varían en rumbo de N15°E a N15°W, presentando buzamientos fuertes bien sea al este o al oeste (**Page**, 1986).
- Fallas de Santa Rita: Aunque usualmente son cartografiadas como una sola falla en realidad se trata de dos: la falla Santa Rita Oeste y la Falla Santa Rita Este. La separación entre ambas es de 2 km al sur y 10 km al norte, cerca de Tarazá. Son fallas de bajo grado de actividad.
- Falla Espíritu Santo: Es una de las principales fallas de la Cordillera Central. Se extiende 300 km en dirección noreste a partir de la falla Sabanalarga, cerca de Liborina. En el norte desaparece, enterrada por sedimentos terciarios, aunque muy posiblemente se proyecte hacia el Magdalena a lo largo de la

cuenca del Bajo Cauca. Usualmente es considerada una prolongación del sistema Romeral; sin embargo, tiene diferencias importantes en cuanto a dirección y rocas afectadas.

Otras fallas presentes dentro de la zona de estudio, pero de menor importancia para los objetivos del mismo, son:

- Falla Arma
- Falla Tonusco
- Falla Cañasgordas
- Falla Herradura
- Falla San Ruperto
- Falla Encarnación
- Falla Portachuelo

Marco Tectónico regional.

En la esquina noroccidental de Sudamérica, donde se ubica Colombia, confluyen tres importantes placas tectónicas: Nazca, Caribe y Suramérica, por lo que se considera como una zona de alta sismicidad. La placa de Nazca, que subduce a la Suramericana a lo largo de la zona de Benioff, se mueve a una velocidad entre 40 y 100 mm/año (**Wortel**, 1984) y buza hacia el este en ángulos variables así: 30° al Sur de la latitud 3.5°N, 25° entre las latitudes 3.5°N y 6.5°N, 15° entre las latitudes 6.5°N y 8.5°N, cesando por completo el proceso al Norte de 8.5°N. La placa de Nazca se halla en contacto transcurrente con la placa Caribe, es decir, que sólo se mueve en sentido W - E sin levantarse ni hundirse, por lo que su proceso de subducción termina en cercanías a Panamá. Las placas Suramérica y Caribe se desplazan ambas hacia el oeste, pero la primera lo hace a una tasa mayor (20 mm/año aproximadamente), lo que genera también un movimiento relativo entre ambas. Los resultados de la combinación de estos movimientos y de los esfuerzos que generan son: acortamiento de la corteza acompañado por un levantamiento de las montañas, subsidencia de cuencas, fallamiento y plegamiento.

En el marco global, las rocas de la corteza oceánica (basalto, gabro, grawaca) ocurren en la parte occidental de Colombia (Cordillera Occidental), y las rocas de la corteza continental (granito, neis, arenisca cuarzosa) se presentan en el oriente (Cordilleras Central, Occidental y Llanos). En el Océano Pacífico la discontinuidad de Mohorovicic, entre el manto y las rocas de la corteza está a profundidades de 10 a 20 kilómetros. A lo largo de la margen occidental de Colombia, por debajo de la cordi-

llera del mismo nombre, el Moho es más profundo y varía entre 20 y 30 kilómetros. Por debajo del continente suramericano, el Moho está a profundidades mayores de 25 kilómetros y su punto más profundo (40 a 50 kilómetros) se halla debajo de las Cordilleras Central y Oriental.

Es claro pues que para la esquina noroccidental de Suramérica las fuentes sísmicas más importantes son la zona de subducción de Nazca bajo Sudamérica y las grandes fallas S - N generadas al irse acrecionando distintos terrenos al borde de Suramérica. Se pueden distinguir tres zonas generadoras de sismos: la corteza continental poco profunda, la zona de subducción poco profunda y la zona de subducción profunda, cuya actividad sísmica predomina históricamente. Los mecanismos focales de los sismos tierra adentro sugieren que fueron producidos por fallas inversas con deslizamiento izquierdo (sistema Cauca - Romeral; Page, 1986). La zona de falla de Romeral es la más grande del noroccidente de Colombia y su disposición es subparalela a la zona de subducción costanera.

Integración de la información y modelación.

Con base en la información geológica disponible producto de los estudios realizados anteriormente por otros autores y con los pocos datos geofísicos existentes para esta escala de trabajo, se procedió a realizar una serie de perfiles a partir del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia 1996, escala 1:400.000 y sobre los cuales se fue asignando una forma geométrica coherente, con interpretaciones personales, a cada uno de los cuerpos en profundidad al igual que a las fallas. La Figura 2 ilustra uno de estos perfiles base. El modelo de corteza anisotrópica se exten-

dió hasta una profundidad de 15 km a partir de esta profundidad se tomaron dos capas horizontales isotrópicas cada una con un espesor de 10 km debido a que las condiciones de presión y temperatura existentes en estos rangos de profundidad eliminan prácticamente cualquier anisotropía litológica. En estos perfiles se puede observar cómo el Batolito Antioqueño es la unidad rocosa más sobresaliente y se encuentra intruyendo las rocas metamórficas que forman el núcleo de la Cordillera Central. Para efectos del presente trabajo se asumieron como cuerpos conectados con el Batolito Antioqueño los Stocks de Altavista y Ovejas, considerándolos como facies de borde y que difieren del cuerpo principal debido a reacciones con la roca caja ocurridos al momento de la intrusión o a procesos de diferenciación en alguno de los pulsos magmáticos que dieron origen al cuerpo principal. En la parte occidental, en límites con la Cordillera Occidental, se observa la disposición en forma de cabalgamiento del Complejo Quebradagrande, Complejo Arquía y las Metasedimentitas de Sinifaná (posibles terrenos independientes acrecionados mediante procesos de obducción), cada uno de los cuales se encuentra en contacto fallado dentro de lo que se conoce como el sistema de fallas de Cauca - Romeral. A continuación, en las Tablas 1 y 2, se muestra en resumen cada una de las tendencias con las que se definieron las diferentes fallas y unidades rocosas:

Una vez se tiene elaborado el modelo simplificado de corteza, en el cual los contactos entre las distintas unidades litológicas han sido aproximados a planos, puede procederse a la codificación propiamente dicha del plano de falla. Esta *codificación* consiste en obtener una distribución sobre el plano de falla de los tiempos de llegada de

Tabla 1. Buzamientos y profundidades de las principales fallas de la zona (Buitrago *et al.*, 2001)

Falla	Buzamientos	Profundidad máxima (respecto al nivel de cero)	Observaciones
Fallas Tonusco y Mistrató - Cañasgordas	70°W 40°W 20°W 10°W	3 Km. 13 Km. 20 Km. Indefinida	
Falla Cauca - Almaguer	70°W 40°W 20°W 10°W	3 Km. 13 Km. 20 Km. Indefinida	Para el cálculo de buzamientos aparentes se supone de rumbo S-N
Otras fallas del sistema Cauca - Romeral	70°W 40°W 20°W 10°W	3 Km. 13 Km. 20 Km. Indefinida	
Falla Chupadero	80°E	Indefinida	
Falla Aquitania	80°E	Indefinida	Límite occidental de uno de los intrusivos néisicos

Tabla 2. Actitudes de las principales unidades litológicas de la zona de estudio (Buitrago *et al*, 2001)

Unidad Litológica	Buzamiento de su contacto W	Prof. Máxima (Km)	Buzamiento de su contacto E	Prof. Máxima (Km)	Observaciones
Formación Penderisco	70°W	3	70°W	3	
Miembro Urrao	40°W	13	40°W	13	
	20°W	15	20°W	15	
Formación Barroso y Capa ultramáfica	70°W	3	70°W	3	
	40°W	13	40°W	13	
	20°W	15	20°W	15	
Batolito de Sabanalarga	30°E		37°W		Su profundidad máxima la define la intersección de sus contactos con la Falla Cauca – Almaguer.
Complejo Arquía	70°W	3	70°W	3	
	40°W	13	40°W	13	
	20°W	15	20°W	15	
Metasedimentitas de la Sinifaná	70°W	3	70°W	3	
	40°W	8	40°W	6	
Diorita de Pueblito	70°W	11	37°W	11	Sus contactos son fallados.
	40°W				
Complejo Quebradagrande	70°W	3	70°W	3	Su miembro sedimentario se encuentra en la parte superior, con profundidad máxima de 2 Km.
	40°W	10	40°W	8	
Gabro de San Francisco	70°W	3	70°W	3	
	40°W	8	40°W	8	
Formaciones Amagá y Combia	40°E	2	40°W	2	
Complejo Cajamarca	70°E	15	70°E	15	Incluye esquistos, anfíbolitas, cuarcitas, granulitas y neises.
Batolito Antioqueño	65°E	5	65°W	5	Sus contactos al Norte y al Sur se consideran idénticos, conservando su tendencia a converger en profundidad.
	15°E	14	25°W	14	
	25°E	15	25°W	15	
Batolito de Ovejas y Stock de Altavista	65°E	5	70° E		Su límite al E lo definen las anfíbolitas del Complejo Cajamarca.
	15°E	14		15	
	25°E	15			
Stocks Honda, Buey y Amagá	65°E		65°W		Su profundidad máxima la define el punto de intersección de sus contactos E y W.
Cúpula de La Unión y Stock de Aquitania	65°E		65°W		Su profundidad máxima la define el punto de intersección de sus contactos E y W.
Neises intrusivos	80°E		80°W		Su profundidad máxima la define el punto de intersección de sus contactos E y W.
Formación Abejorral	80°E	2	80°E		Su límite E lo define la falla que limita el neis intrusivo contiguo al W
Batolito de Sonsón	75°E	4	75°E	4	Sus contactos al Norte y al Sur se consideran idénticos, conservando su tendencia a converger en profundidad.
	20°E	6	20°E	6	
	80°E	15	80°E	15	
Formación San Pablo	80°E	2	80°W	2	
Formación San Luis	80°E	2	80°E	2	Su límite Este lo define la Falla Aquitania
Metasedimentitas de Aquitania	80°E	4		6	Su límite Este lo definen las fallas que limitan un neis intrusivo

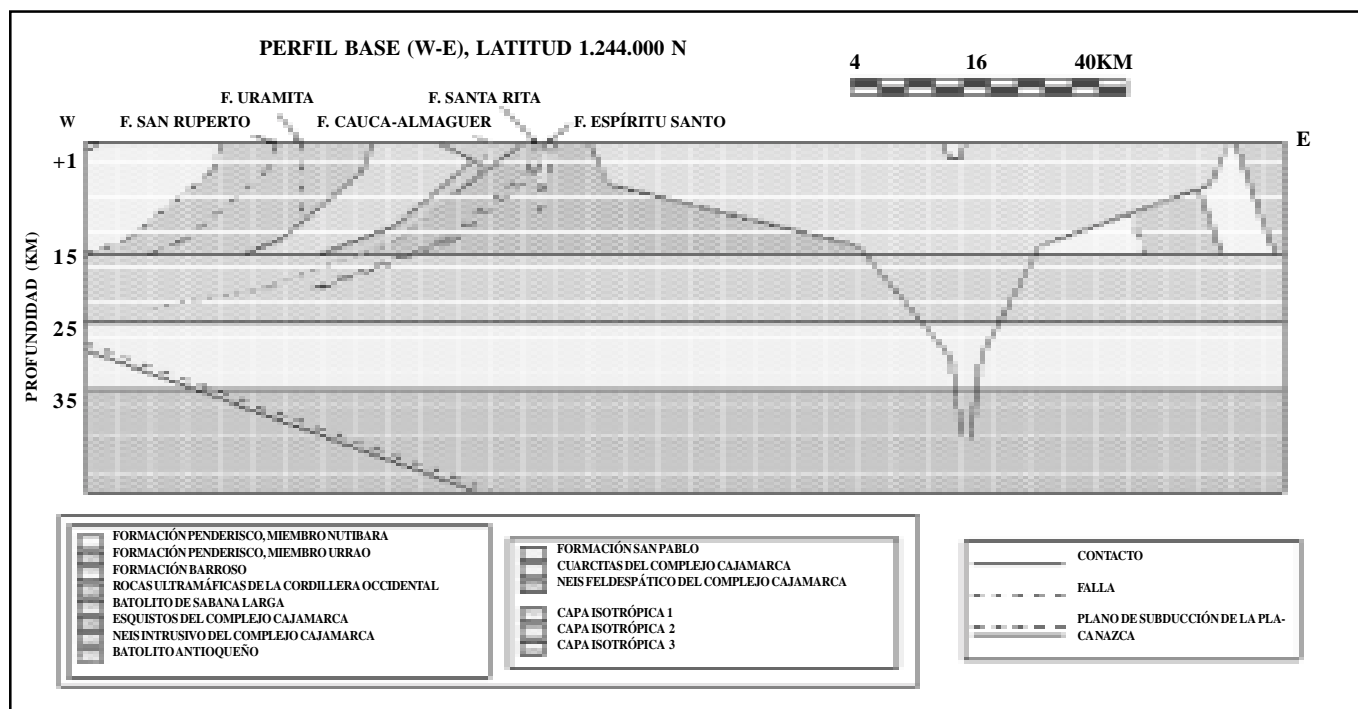


Figura 2. Perfil lito – estructural base, norte del departamento de Antioquia

los rayos sísmicos generados a partir de una serie de puntos o hipocentros distribuidos sobre dicho plano; este proceso se realiza considerando las llegadas de los rayos más rápidos y directos a cada uno de los tres sismógrafos (como mínimo) necesarios para la codificación.

El primer paso consiste en poligonalizar el mapa de formaciones superficiales de la zona en cuestión. Se trata simplemente de aproximar los contactos en superficie a tramos de recta; dichas rectas son el resultado de la intersección entre los planos de contacto de las unidades (o los planos de falla) y un plano horizontal (correspondiente a la superficie). El objetivo de este procedimiento es determinar la extensión superficial de cada una de las litologías presentes en la zona de trabajo y las direcciones predominantes de las principales fallas. En nuestro caso, el nivel de superficie se encuentra a +1.000 msnm, representando un nivel medio o de compensación topográfica. El mapa poligonalizado, que se presenta simplificado en la Figura 3, se construyó con base en el mapa geológico del departamento de Antioquia de Ingeominas 1996, escala 1:400'000.

Con el mapa poligonalizado se procede a elaborar la malla de perfiles lito - estructurales que permitirán codificar la falla en cuestión. Para ello se localizan en planta los

sismógrafos que se usarán (al menos 3). En este caso, debido a la poca densidad de la Red Sismológica Nacional en la zona, sólo se utilizaron dos sismógrafos de dicha red (Santa Helena y Norcasia); el tercer sismógrafo debió suponerse hipotético, ubicado en cercanías al municipio de Maceo (Figura 3). Los perfiles generados a partir de este último sismógrafo cortan las unidades litológicas de forma transversal (en sentido E – W) por lo que su ubicación es óptima. El uso de otros sismógrafos de la Red (por ejemplo, Nevado del Tolima) hubiese aumentado notablemente la dificultad para realizar el procedimiento de codificación debido a su ubicación respecto al plano de falla estudiado.

Con los 3 sismógrafos ubicados en la planta, se definen sobre el plano de falla los hipocentros, a las profundidades designadas y se proyectan a superficie. La unión de cada uno de estos puntos (epicentros) con cada uno de los sismógrafos constituye entonces la malla de perfiles. El trabajo puede simplificarse si los hipocentros se definen a partir del sismógrafo mejor ubicado, de tal manera que en cada perfil a partir de este sismógrafo (en nuestro caso, Maceo) aparezcan los hipocentros correspondientes a cada rango de profundidad.

Debido a la forma asignada a la falla a codificar (inversa de bajo ángulo) las profundidades de trabajo usadas

fueron desde 5 km (hipocentros tipo a) hasta 21 km (hipocentros tipo e), aumentando cada 4 km.

Los perfiles lito - estructurales elaborados (110 en total) reflejan, en mayor o menor medida, el modelo de corteza propuesto. Se destacan, entre otras, las siguientes características:

- Forma convergente hacia profundidad del Batolito Antioqueño.
- Núcleo de la Cordillera Central esencialmente metamórfico (esquistos, granulitas y anfibolitas).
- Carácter obductivo y afinidad oceánica de las rocas que conforman la Cordillera Occidental.
- Anisotropía litológica hasta 15 km de profundidad (condiciones de presión y temperatura correspondientes a metamorfismo de alto grado).

Luego de haber elaborado cada uno de los perfiles definidos para la codificación, se procede al rastreo de los rayos sísmicos más rápidos y directos entre el hipocentro y el sismógrafo, en cada uno de los perfiles realizados. Esto se hace usando un programa de computador (**Chica**, 1999) basado en la ley de Snell, y que usando las velocidades de onda P de cada uno de los medios rocosos involucrados en el perfil determina cuál es el rayo sísmico que llega en menor tiempo al receptor (sismógrafo) e informa qué unidades litológicas atravesó dicho rayo y los ángulos de entrada y de salida en cada una de las interfaces.

En la Tabla 3 se encuentran los datos de velocidad de onda P utilizados para el proceso de codificación, tomados de **Press** (1967) y por **Lay & Wallace** (1995) y que corresponden a promedios de velocidad procedentes de ensayos de laboratorio sobre rocas de diferentes partes del mundo, ya que a nivel local no existe información disponible. Es importante notar que la velocidad asignada depende de la litología representativa del cuerpo, que las presiones de trabajo consideradas fueron de 2 Kb (nivel promedio correspondiente a 6.6 km de profundidad) y que a profundidades mayores de 5 km la velocidad de onda P prácticamente es independiente de los cambios en la presión y temperatura (**Press**, 1967).

Los resultados obtenidos en el rastreo de los rayos se presentan en la Tabla 4. La Figura 4 muestra un perfil con los 5 hipocentros y los rayos sísmicos más rápidos y directos que viajan hasta el sismógrafo estudiado, en este caso, el de Maceo.

Tabla 3. Velocidad de onda P de las principales unidades litológicas en la zona de estudio
(Tomado de **Press**, 1967 y **Lay & Wallace**, 1995)

UNIDAD	LITOLOGÍA	Vp (km./s)
Batolito Antioqueño	Granodiorita	6.44
B. de Sabanalarga	Tonalita	6.43
Diorita de Pueblito	Dorita	6.1
Stocks Adamelíticos	Cuarzomonzonita	6.11
Gabros de Romeral	Gabro	7.06
Cm. Cajamarca	Esquistos	6.87
Cm. Arquía	Esquistos	6.96
Metased. de Sinifaná	Pizarras	5.91
Cuarcitas	Cuarcitas	6.15
Neis Intrusivo	Neis granítico	6.07
Neis Feldespático	Neis	6.06
Grupo El Retiro	Granulitas	7.25
Anfibolitas	Anfibolitas	7.21
Complejo Quebradagrande	Lutitas	3.5
	Basaltos	6.63
Fm. Barroso	Lutitas y basaltos	5.07
Rocas ultramáficas		7.2
Capa Isotrópica 1		7.5

Como se puede observar (Tabla 4), en algunos casos no existe un rayo sísmico más rápido y directo entre el hipocentro y el sismógrafo. Esto se debe básicamente a que ocurren refracciones imposibles al pasar de un medio de menor a uno de mayor velocidad (refracción crítica según el ángulo de incidencia), o a que la forma de los cuerpos litológicos actúa como una barrera que desvía los rayos directos a zonas anteriores o posteriores a la localización del sismógrafo mismo.

Con base en la Tabla 4 pueden construirse 2 tipos de mapas sobre el plano de falla estudiado: mapas de tiempo de llegada de los rayos sísmicos a un receptor (Figura 5) y mapas de diferencias de tiempos de llegada entre dos sismógrafos dados (Figura 6).

La forma de las isóneas en los mapas de tiempos de llegada refleja cierta regularidad en tales valores, mostrando los valores más bajos en cercanías al sismógrafo y un aumento proporcionado del tiempo con la distancia, por lo que las isóneas se curvan y su concavidad apunta hacia el sismógrafo.

Como se observa en dichas figuras, los mapas están elaborados sobre el plano de falla Cauca - Almaguer. Las isóneas corresponden bien sea a tiempos de llegada de las ondas directas al sismógrafo o a diferencias de tiempos de llegada entre dos sismógrafos. Para la localización de un hipocentro dado se deben conocer los tiempos de llegada de la primera onda directa al menos a tres sismógrafos, de manera análoga a los métodos usuales. Con es-

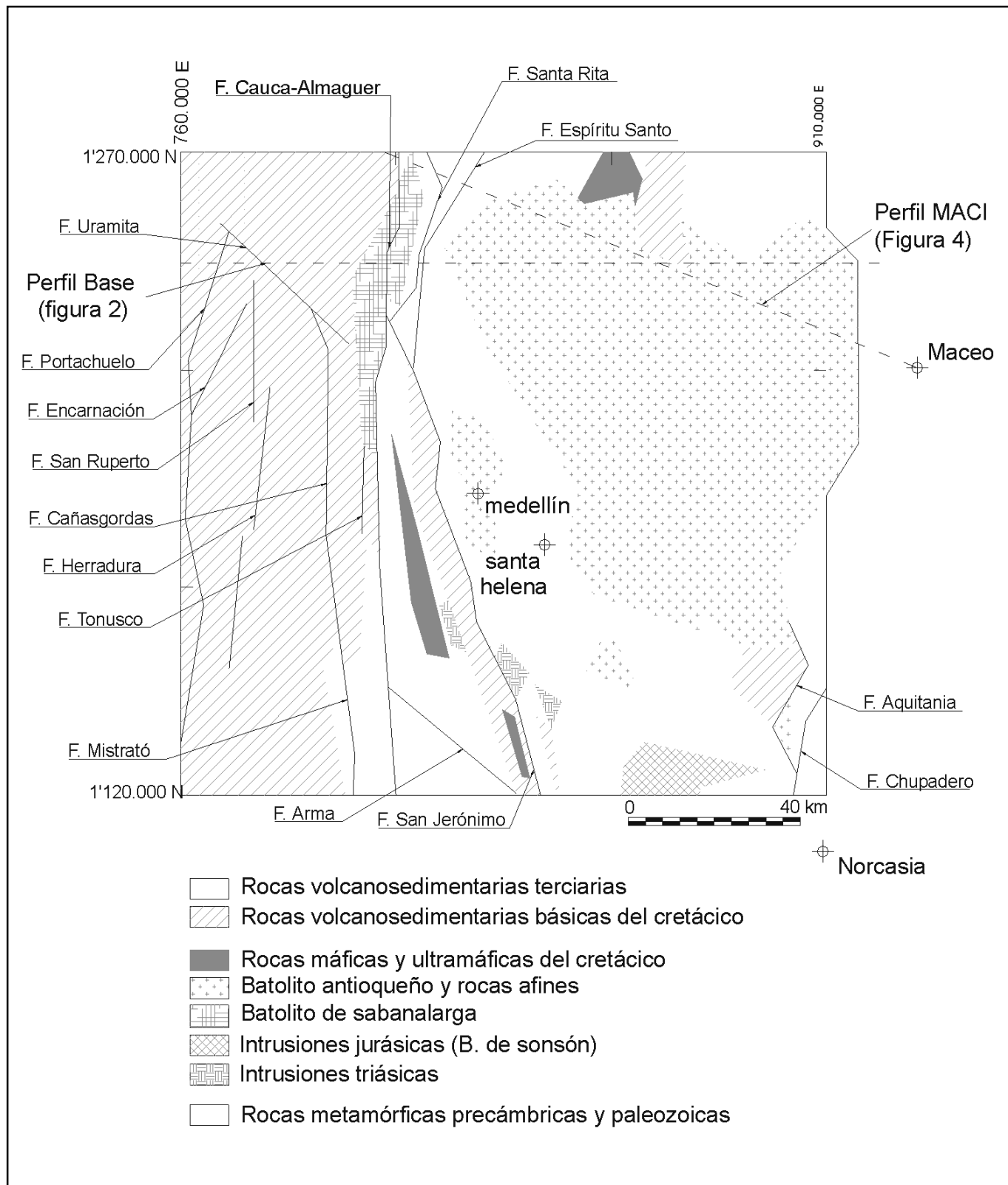


Figura 3. Mapa poligonalizado simplificado del centro del departamento de Antioquia (Modificado de Buitrago et al, 2001)

Tabla 4. Tiempos de llegada (en segundos) de los rayos sísmicos más rápidos y directos a cada uno de los hipocentros analizados. (Buitrago *et al*, 2001)

Hipocentro	HEL	MAC	NOR
1-a	13.99	20.35	29.21
1-b	14.66	20.94	No llega
1-c	No llega	21.63	No llega
1-d	16.2	22.35	No llega
1-e	17.6	23.98	No llega
2-a	12.03	19.67	26.64
2-b	12.84	20.32	No llega
2-c	13.36	21.01	27.62
2-d	14.31	21.58	No llega
2-e	No llega	23.16	No llega
3-a	11.03	19.56	No llega
3-b	11.36	20.18	No llega
3-c	11.83	20.87	No llega
3-d	No llega	21.45	No llega
3-e	No llega	23.00	No llega
4-a	9.37	19.36	No llega
4-b	9.73	19.83	23.69
4-c	10.20	20.65	24.24
4-d	11.24	21.25	No llega
4-e	12.5	22.77	No llega
5-a	8.41	19.65	22.54
5-b	8.86	No llega	22.57
5-c	9.37	20.54	23.16
5-d	10.27	21.56	23.44
5-e	11.62	22.84	No llega

Hipocentro	HEL	MAC	NOR
6-a	19.9	7.11	21.03
6-b	No llega	No llega	21.43
6-c	21.06	8.26	21.76
6-d	21.57	9.38	22.22
6-e	23.02	10.71	No llega
7-a	20.1	6.38	19.81
7-b	No llega	No llega	20.07
7-c	21.44	7.65	20.57
7-d	22.01	8.71	No llega
7-e	23.93	10.35	No llega
8-a	No llega	6.15	18.52
8-b	No llega	6.98	18.86
8-c	21.91	7.6	19.29
8-d	22.51	8.9	19.55
8-e	21.12	10.49	No llega
9-a	No llega	6.6	17.65
9-b	21.86	7.47	17.86
9-c	22.6	No llega	18.33
9-d	23.28	9.41	No llega
9-e	25.02	11.2	No llega
10-a	22.2	No llega	16.44
10-b	22.91	8.63	16.81
10-c	23.74	9.23	17.31
10-d	24.34	10.61	17.73
10-e	26.04	12.29	19.01

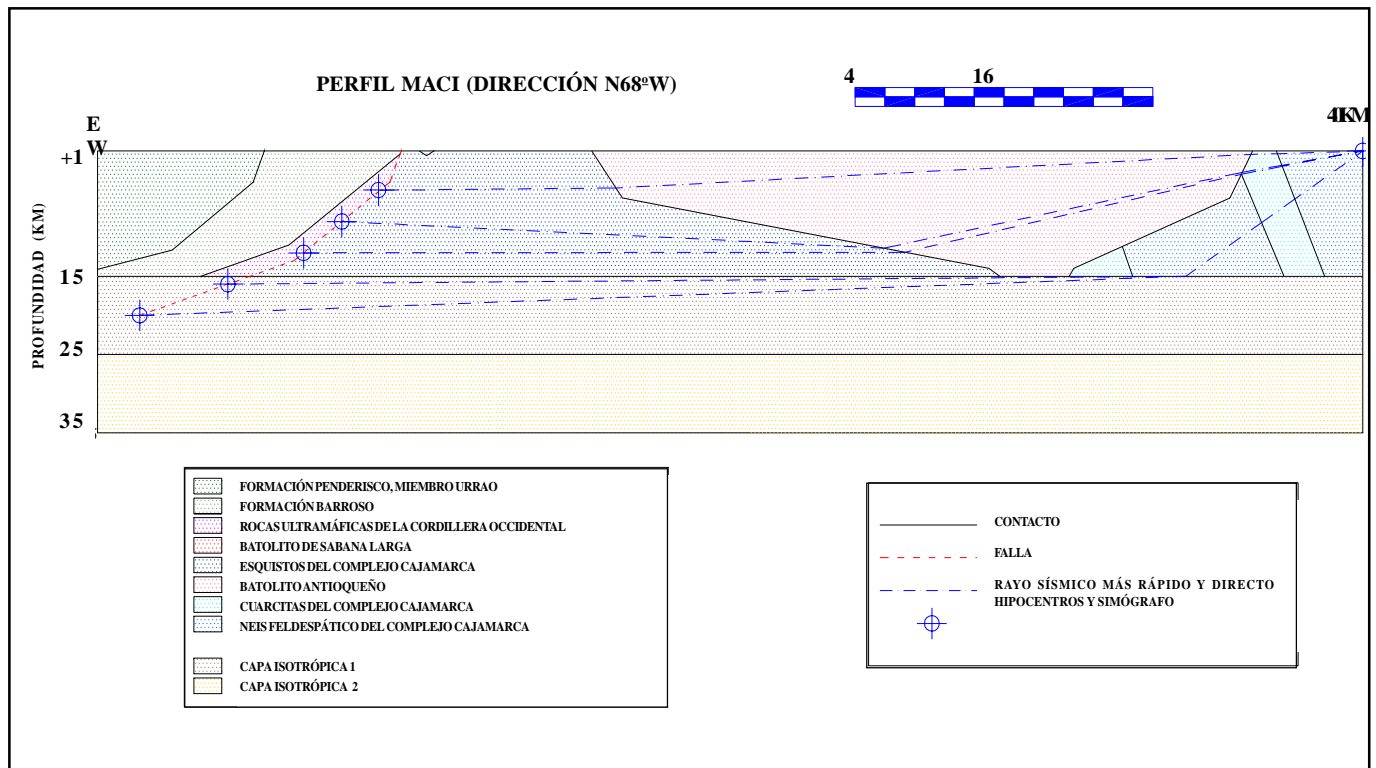


Figura 4. Perfil lito – estructural Maceo 1 (hipocentros “a” a “e”) mostrando los rayos sísmicos más rápidos y directos desde cada hipocentro al sismógrafo (arriba a la derecha).

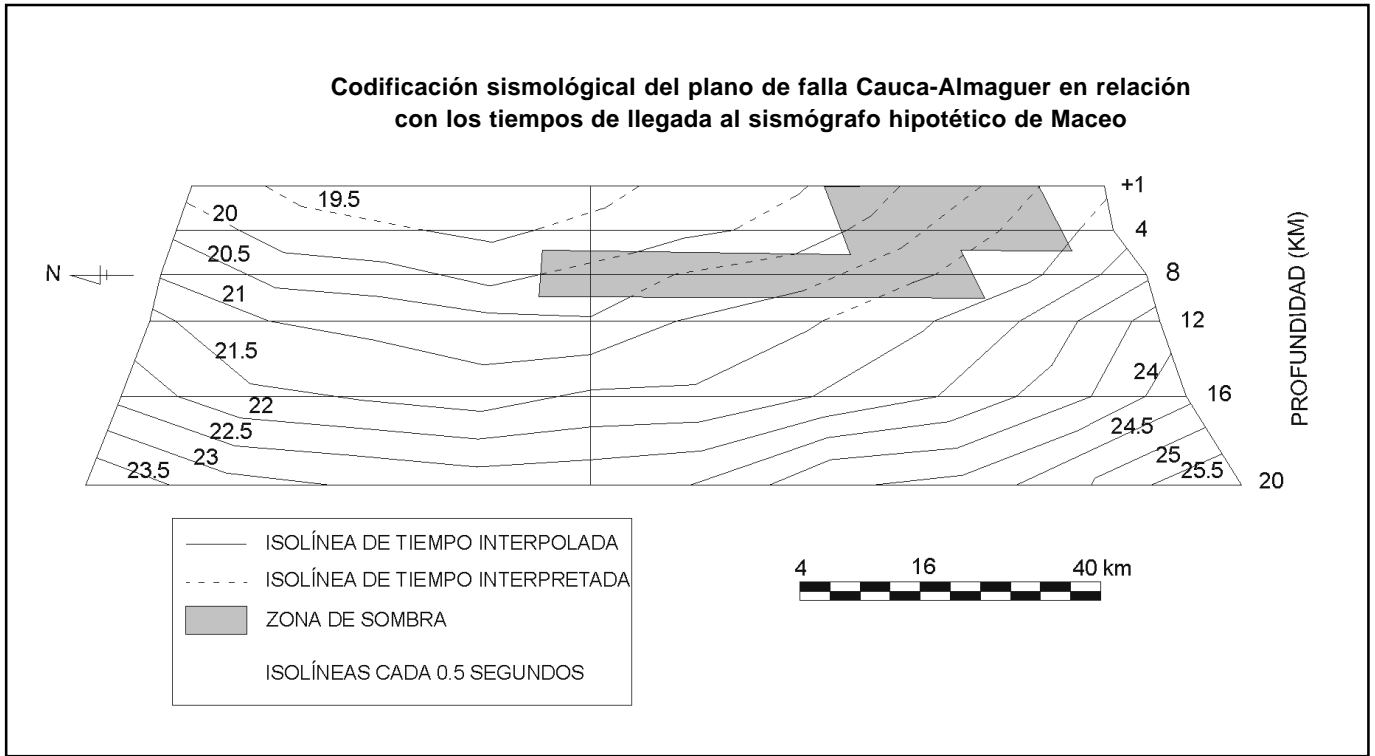


Figura 5. Mapa de tiempos de llegada de los rayos sísmicos al sismógrafo de Maceo.

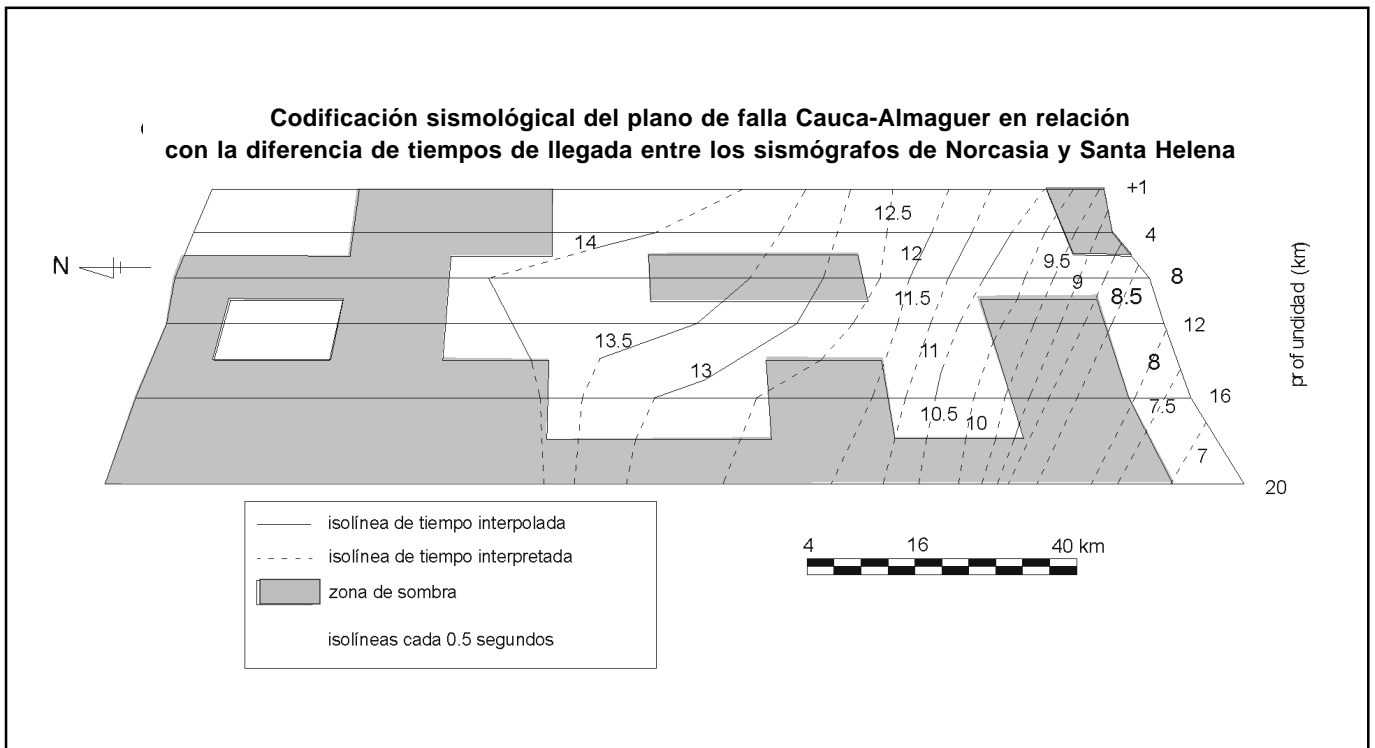


Figura 6. Mapa de diferencias de tiempos de llegada de los rayos sísmicos entre los sismógrafos de Norcasia y Santa Helena.

tos tiempos se calculan las diferencias de tiempo de llegada entre parejas de sismógrafos (tres diferencias para tres sismógrafos). Habiendo elaborado ya los mapas de diferencias de tiempos, puede conocerse la ubicación del hipocentro en el plano de falla al encontrar la intersección entre las isolíneas, como se ilustra en el siguiente ejemplo:

Hora de llegada de la primera señal al sismógrafo de Maceo: 10:00:00 a.m.

Hora de llegada de la primera señal al sismógrafo de Santa Helena: 10:00:11,5 a.m.

Hora de llegada de la primera señal al sismógrafo de Norcasia: 10:00:13,5 a.m.

Si cada una de estas llegadas corresponde a frentes de onda de compresión (ondas P), el método de localización puede aplicarse determinando dos diferencias de tiempos cualquiera, por ejemplo:

$$(Santa Helena - Maceo) = 11,5 \text{ s}$$

$$(Norcasia - Maceo) = 13,5 \text{ s}$$

Al superponer los mapas de diferencias de tiempos (Santa Helena – Maceo) y (Norcasia – Maceo), puede determinarse el hipocentro por el cruce en las isolíneas de tiempos, como lo ilustra la Figura 7. Si se considera tam-

bién la diferencia de tiempo (Norcasia – Santa Helena), la isolínea correspondiente (diferencia de tiempo igual a 2 segundos) intersecta a las dos anteriores aproximadamente en el mismo punto ya determinado como hipocentro. Como este punto está ya definido sobre el plano de falla, se conoce fácilmente su posición (X, Y) y su profundidad.

La comparación de los resultados con datos reales resulta bastante complicada, debido a que la Red Sismológica Nacional es pequeña, limitada, no funciona correctamente de manera permanente y los sismos en ella registrados pocas veces se asocian a una falla en cuestión. Por tal motivo, se procedió a una localización de los hipocentros usando un método convencional y basándonos en los tiempos de llegada anteriormente obtenidos (Tabla 4).

Se trabajó entonces con el modelo usual de capas isotrópicas usado en Colombia, ponderando las velocidades asignadas por 2 caminos distintos: conociendo la profundidad real del hipocentro o suponiendo hipocentros someros (profundidad < 30 km). Se tomaron hipocentros que reportarán llegadas directas a los tres sismógrafos y se usó el método de los círculos alrededor de cada sismógrafo para determinar el epicentro. Los errores obtenidos respecto a la localización propuesta con el método de codificación del plano de falla oscilan entre 28.9 y 105.1 Km. Errores de tal magnitud implican problemas no sólo en cuanto a la localización sino a la correcta asignación

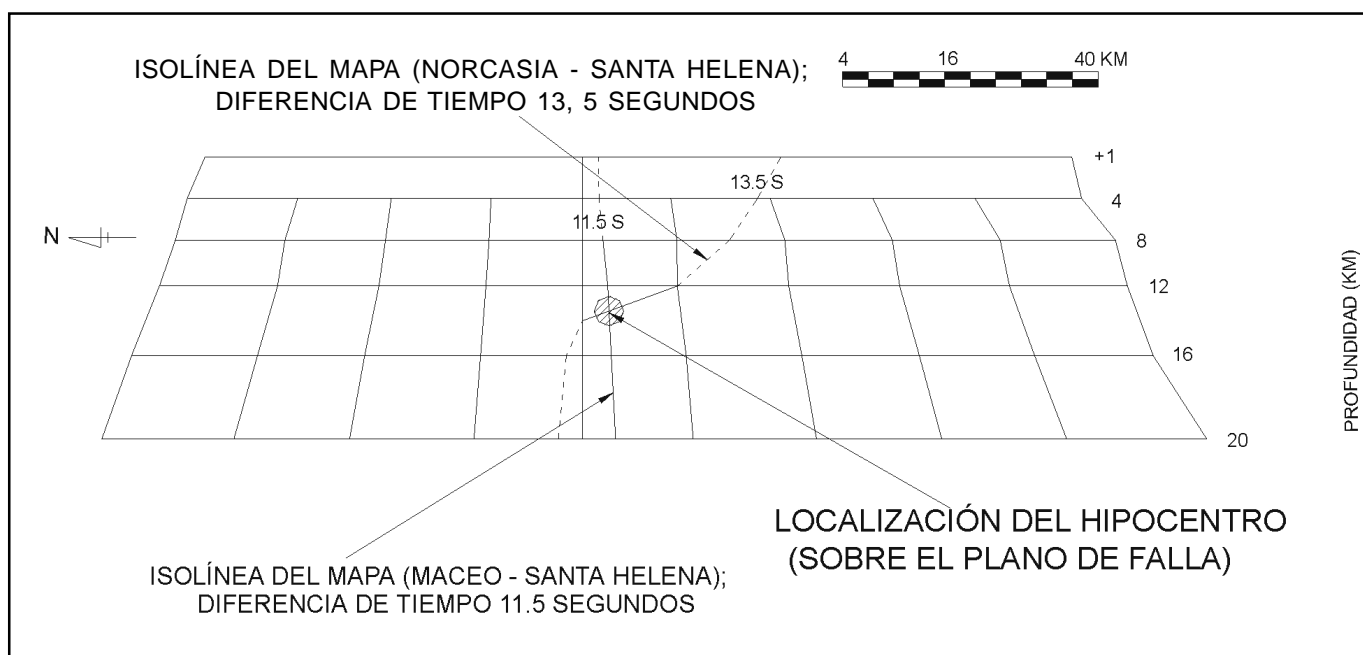


Figura 7. Ejemplo de localización de un hipocentro usando la metodología propuesta

de un sismo a una falla, y por ende a los estudios sísmicos de una zona.

Atenuación de la energía.

En el recorrido de un rayo sísmico entre un foco y la superficie del terreno, la energía que éste porta se va disipando paulatinamente. Si se consideran únicamente las atenuaciones en el rayo sísmico como tal, es necesario distinguir los dos fenómenos principales que las ocasionan: las disipaciones ocurridas durante el recorrido de los rayos en un medio rocoso en particular, considerado como homogéneo e isotrópico (pérdidas de energía debidas a la fricción) y las disipaciones ocurridas en el paso de un medio rocoso a otro.

El comportamiento de las vibraciones asociadas a un rayo sísmico que se propaga en un medio homogéneo e isotrópico, puede asimilarse al de las vibraciones de un sistema masa – resorte con amortiguamiento. El amortiguamiento en las rocas es función de una constante Q, conocida como factor de calidad de la roca (diferente al índice Q usado en geotecnia); valores altos de Q implican atenuaciones pequeñas, y viceversa. La naturaleza de este factor aún no es muy conocida; se cuenta con datos experimentales, derivados de ensayos en donde se mide la fracción de energía que se pierde por ciclo de oscilación, en

diferentes rocas sometidas a vibraciones, sean longitudinales o transversales. En este caso las que resultan de interés son las longitudinales. En general puede decirse que las rocas duras (ígneas y metamórficas de alto grado) son las que menos atenúan, mientras que las rocas blandas (sedimentarias, metasedimentarias y esquistos) presentan los valores más altos de Q (las mayores atenuaciones). La expresión que permite calcular la atenuación de la energía sísmica para un rayo durante su recorrido por un medio rocoso es la siguiente:

$$\frac{M(\tau)}{M_0} = e^{-\pi f \tau} \quad E(\tau) = \frac{M(\tau)^2}{M_0^2}$$

Donde:

- E(τ)/E₀=relación de energías de la onda longitudinal respecto a la energía inicial del rayo sísmico,
- τ = tiempo que tarda el rayo en recorrer determinada roca,
- f = frecuencia de oscilación del sismo,
- M = amplitud de las oscilaciones asociadas a la onda y
- Q = factor de calidad de la roca.

Cuando un rayo que hace parte de un frente de onda longitudinal (P) incide en una frontera entre dos medios rocosos diferentes, tiene lugar una descomposición del rayo (Figura 8), y por tanto una partición de la energía sísmica. Se generan allí dos rayos reflejados y dos refractados, de manera que tanto en el medio de incidencia como en el de refracción aparece un rayo con vibraciones longitudinales (haciendo parte de un frente de onda P) y otro con vibraciones transversales (haciendo parte de un frente de onda S). Esto quiere decir que si una onda P incide en una frontera entre dos medios rocosos diferentes, se generarán tanto ondas P como ondas S, aunque en la mayoría de los casos las ondas longitudinales generadas se quedan con la mayor parte de la energía que portaba la onda longitudinal incidente.

La Figura 9 muestra cómo varía la fracción de energía correspondiente a cada una de las ondas generadas respecto a la energía que portaba la onda incidente. Los subíndices L y T hacen referencia a las ondas longitudinal y transversal refractadas y los subíndices l y t a las ondas longitudinal y transversal reflejadas, respectivamente. Se tomó como ejemplo un cambio de medio (interfaz) que aparece con frecuencia en el caso estudiado (paso de los rayos del Complejo Arquía a las Metasedimentitas de Sinifaná). Se observa de allí que el ángulo de incidencia es un factor fundamental en la distribución de la energía sísmica. Como

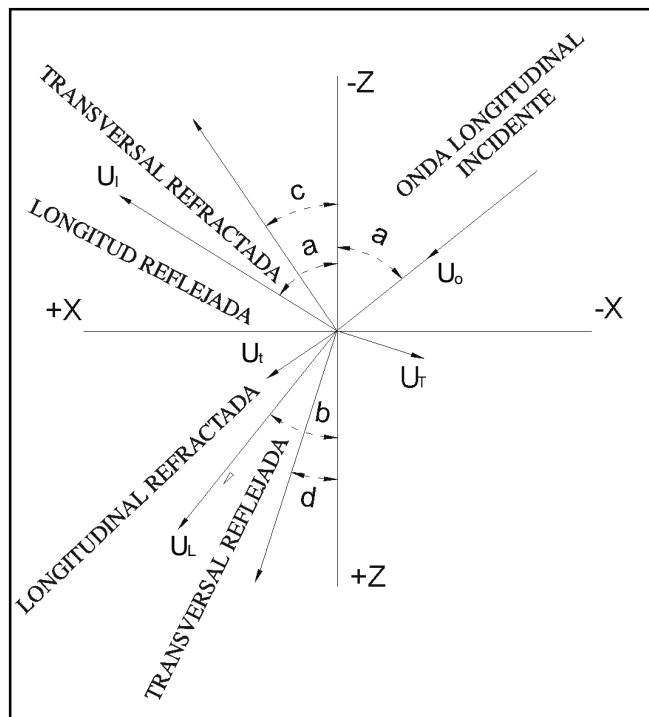


Figura 8. Distintos tipos de onda generados en una frontera, a partir de una onda longitudinal incidente (Tomada de **Jakosky**, 1950).

el método propuesto se ocupa de los rayos más rápidos y directos, es decir, aquellos asociados a ondas longitudinales P y que se derivan de refracciones sucesivas, el coeficiente de interés para los cálculos de la atenuación es E_L/E_0 . El sistema de ecuaciones que permite calcular estas relaciones de energía (para los cuatro rayos generados) se presenta a continuación (tomado de **Jakosky**, 1950).

$$\begin{bmatrix} 1 & -C & -1 & -C' \\ \gamma & 1 & \gamma' & -1 \\ -2\gamma & \gamma^2 - 1 & -2(n'/n)\gamma' & -(n'/n)(\gamma'^2 - 1) \\ \gamma^2 - 1 & 2C & -(n'/n)(\gamma'^2 - 1) & 2(n'/n)C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1/A \\ A_1/A \\ B'/A \\ A'/A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -C \\ -1 \\ 1 - \gamma^2 \\ 2C \end{bmatrix}$$

Donde:

- A = Factor de energía de la onda longitudinal incidente
- A₁ = Factor de energía de la onda longitudinal reflejada

- A' = Factor de energía de la onda longitudinal refractada
- B₁ = Factor de energía de la onda transversal reflejada
- B' = Factor de energía de la onda transversal refractada
- n = Módulo de rigidez del medio 1
- n' = Módulo de rigidez del medio 2

C = Cot(a) C' = Cot(b) γ = Cot(c) y γ' = Cot(d)

Como en nuestro caso nos interesa sólo la atenuación de la energía para un rayo de onda P en sus sucesivas refracciones, la solución que nos es útil es para A'/A, que es equivalente a

$$\frac{E_L}{E_0} = \frac{C' \rho_2 A'^2}{C \rho_1 A^2}$$

Siendo r₁ y r₂ las densidades de los medios de incidencia y refracción, respectivamente.

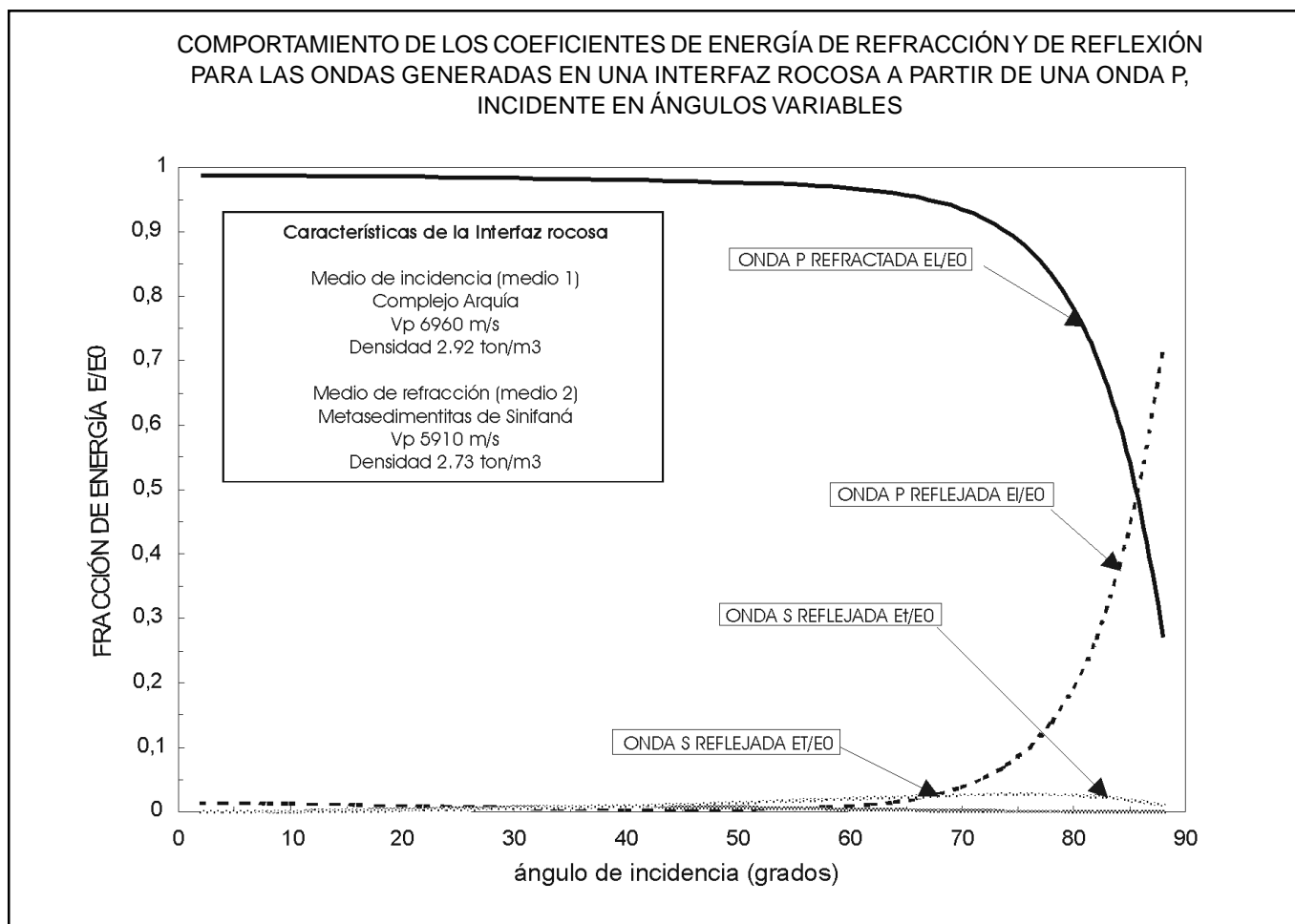


Figura 9. Coeficientes de energía de las distintas ondas generadas en la frontera para cada ángulo de incidencia

Teniendo en cuenta estas dos formas de disipación de energía, puede calcularse la atenuación sufrida por los rayos encontrados entre el foco hipotético y distintos puntos en superficie, ya que es posible conocer el tiempo de viaje de cada rayo en los distintos medios rocosos y el ángulo de incidencia en cada frontera o interfaz. Los valores de Q , que pueden conocerse a partir de datos empíricos, se obtuvieron de **Bradley y Fort (1966)** y **Lay y Wallace (1995)**.

Es necesario entonces, elaborar una malla de receptores hipotéticos en superficie. Dicha malla se diseñó de forma radial, con centro en el epicentro hipotético; se definieron siete líneas radiales separadas entre sí 20° y los receptores se ubicaron cada 16 km a lo largo de ellas. Con la ayuda de un programa de computador (**Buitrago et al, 2001**), se calcularon las atenuaciones totales sufridas por los distintos rayos sísmicos encontrados. Se calculó así, para cada rayo, el factor de energía E_L/E_0 , que cuantifica la relación entre

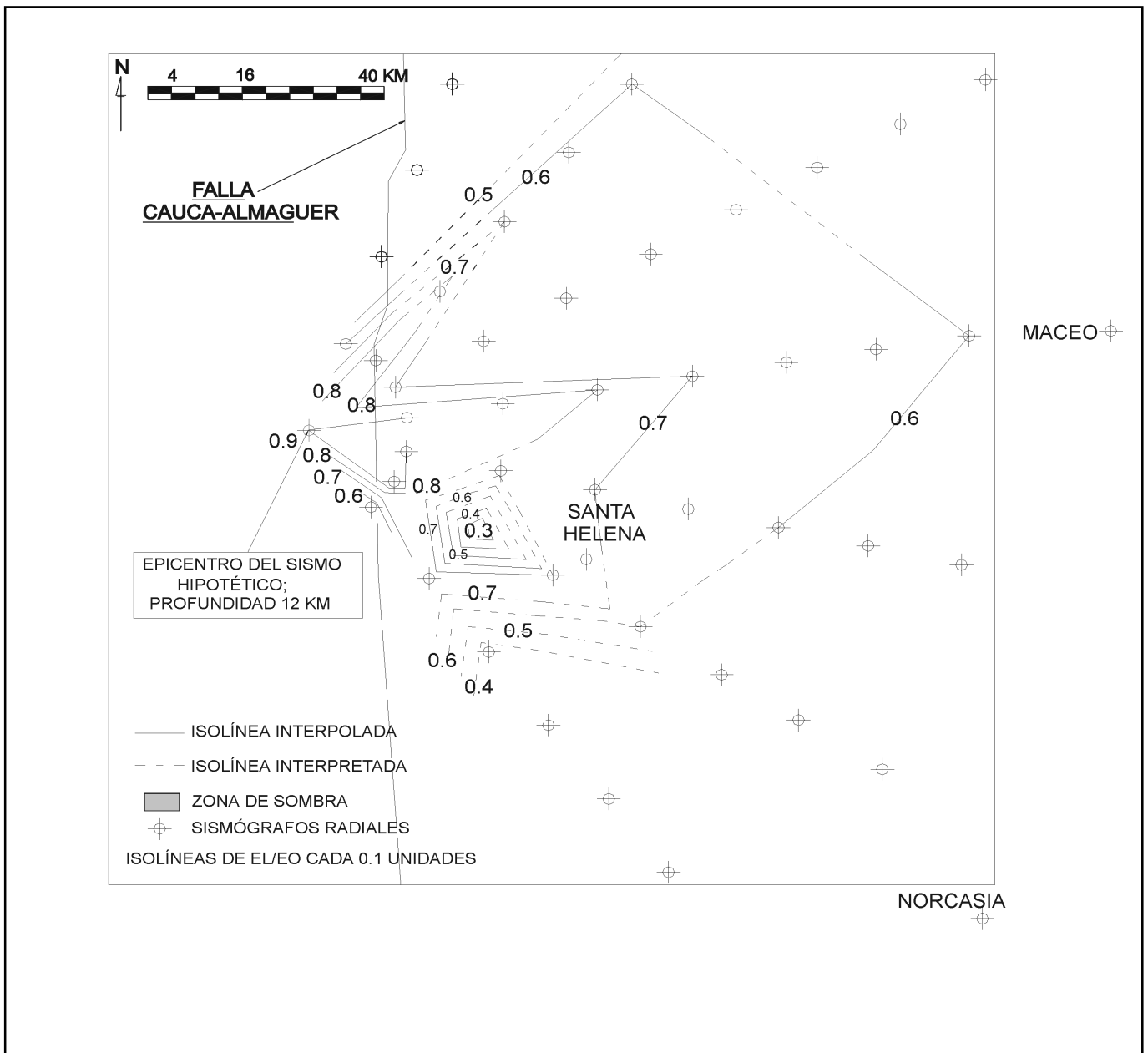


Figura 10. Mapa en planta de isovalores de atenuación de la energía para un sismo hipotético generado a 12 kilómetros de profundidad

la energía que porta el rayo en el momento de alcanzar la superficie del terreno y la asociada al mismo en el instante en el que se genera el sismo en el hipocentro. Este factor debe ser siempre menor que la unidad, atendiendo al principio de conservación de la energía. Si a cada receptor hipotético que se defina en superficie se le asigna el factor de energía correspondiente al rayo que llega hasta allí, puede hacerse una interpolación lineal para elaborar un mapa en planta de isovalores de atenuación de la energía, para los rayos directos que, partiendo de un foco hipotético, lleguen a un punto en superficie dentro del cuadrante estudiado. Este mapa se presenta en la Figura 10 y permite observar las regiones sobre las cuales se dan las mayores atenuaciones en términos de energía (recordar que también se pueden dar en términos de desplazamientos de las partículas del medio). Las zonas de sombra corresponden, nuevamente, a sitios donde no se reportan llegadas de las ondas directas, debido a refracciones imposibles y a configuraciones geométricas que, unidas a los contrastes de velocidad de las ondas P entre dos medios, impiden la llegada del rayo más rápido y directo a determinado sector.

El patrón de las líneas de isovalores de atenuación de la energía resultó bastante irregular, obteniéndose que *la atenuación de la energía portada por los rayos sísmicos no es una función directa de la distancia recorrida por ellos*. Parece ser más determinante el ángulo de incidencia con que éstos llegan a las interfaces encontradas. Aunque las distancias recorridas sean pequeñas, bastan unas pocas refracciones con altos ángulos de incidencia (recordar que se miden respecto a la normal a la interfaz) para que la atenuación sea bastante grande. En la figura 10 puede verse que en recorridos relativamente cortos hay rayos que alcanzan valores de E_L/E_0 cercanos a 0.5 (altas atenuaciones) y en recorridos mucho más largos las atenuaciones son menores ($E_L/E_0 > 0.5$).

En la Figura 10 también puede observarse que los gradientes de la atenuación de la energía son mayores en zonas relativamente cercanas al foco sísmico, lo cual refleja de una u otra forma, la mayor complejidad geológica de esta zona (Zona de falla Cauca – Romeral). Más hacia el este, las distancias entre isolíneas son mucho mayores, indicando una menor complejidad, ya que es una zona donde predominan el Batolito Antioqueño y las rocas metamórficas que conforman el núcleo de la Cordillera Central. También hay que destacar que el buzamiento hacia el oeste de las unidades asociadas a la zona de falla Cauca – Romeral, facilita que los ángulos de incidencia de los rayos provenientes del hipocentro planteado sean grandes (mayores de 75°), y por lo tanto las atenuaciones serán también grandes.

Conclusiones

- La codificación de planos de falla constituye una poderosa herramienta para mejorar los procedimientos en cuanto a ubicación de focos sísmicos, reduciendo el error involucrado.
- Los mapas de codificación, con sus zonas de sombra, son altamente dependientes de la geometría propuesta para las unidades geológicas. Por ello es necesario, si se quiere monitorear constantemente una falla y llegar a una buena codificación, tener un conocimiento lo más exacto y confiable posible de la distribución espacial de los cuerpos geológicos y sus prolongaciones en profundidad.
- El hecho de que sea imposible que los rayos sísmicos buscados lleguen a algunos sitios en superficie, no implica que allí no se sienta el movimiento. Simplemente quiere decir que las ondas percibidas en estos sitios no están asociadas con el rayo sísmico derivado de refracciones sucesivas (el más rápido y directo). Este hecho podría comprobarse obteniendo registros sismográficos de los sitios en cuestión y analizando los tipos de onda a los cuales podría corresponder la primera señal detectada (serían ondas secundarias).
- Es necesario replantear la manera como se están ubicando las fuentes sísmicas en nuestro país, ya que existe una gran incertidumbre en la ubicación de éstas; además, se deben rebatir los modelos de corteza homogéneos y las velocidades con las cuales se trabajan.
- Los modelos de capas isotrópicas y homogéneas considerados usualmente tienen una validez limitada. Para la ubicación de sismos muy lejanos su utilidad es evidente, puesto que esta clase de sismos viajan más por el manto que por la corteza. Sin embargo, para estudios locales, estos modelos comienzan a perder precisión. Ignorar las diferentes velocidades y litologías, así como la forma de las unidades geológicas, puede inducir errores muy grandes en la localización de focos, en su asignación a una fuente determinada y en otros aspectos de la caracterización de una zona sísmica.
- El modelo de capas horizontales usado para Colombia es bastante conservador con respecto a los valores de velocidad asignados a las diferentes capas (velocidades muy bajas). Este fenómeno se observa principalmente en la Cordillera Central, cuyo núcleo metamórfico alcanza velocidades cercanas a 7

km/s, muy por encima de los valores que arroja la ponderación mediante el modelo de capas (cerca nos a 6 km/s). Resulta claro que no pueden elaborarse modelos de sismicidad para la Cordillera Central involucrando materiales de otras regiones geológicamente diferentes (Cordillera Occidental, Cordillera Oriental, entre otros).

- Las pérdidas de energía de las ondas sísmicas no sólo dependen de la distancia al foco. También dependen en gran medida del número de refracciones que hayan ocurrido y, especialmente, de los ángulos de incidencia en cada una de las fronteras entre medios rocosos diferentes. Por esta razón pueden haber trayectos cortos con grandes pérdidas y trayectos largos con pérdidas pequeñas.
- Pese a que la zona estudiada no es muy activa sísmicamente comparada con otras en el país, el sistema Cauca – Romeral constituye un contraste brusco entre litologías muy diferentes, por lo que la aplicación en éste del método de codificación sismológica está justificada como experiencia académica.

Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a los asesores del trabajo de grado, profesores Humberto González, Oswaldo Ordóñez y Mario Felipe Londoño (Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín), así como a los jurados del mismo, profesores Manuel R. Villarraga y Kenneth R. Cabrera, por las sugerencias y aportes realizados.

Bibliografía

- Álvarez, J.**, 1983. Geología de la Cordillera Central y del Occidente Colombiano y Petroquímica de los Granitoides Meso-Cenozoicos. En: Boletín Geológico. Ingeominas. Vol. **26**(No. 2.): 1983. pp. 1-175.
- Bradley, J.J., Fort, A.n.**, 1966. Internal Friction in Rocks. En: S.P. Clark, Jr. (Editor). Handbook of Physical Constants. Geological Society of America. Memories 97. pp. 195- 221.
- Buitrago, J., Monsalve, G., Morales, J.**, 2001. Codificación Sismológica de un Segmento de la falla Cauca – Almaguer y sus Aplicaciones en el Departamento de Antioquia. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. pp. 1-146.
- Chica S., A.** 1999. Codificación Sismológica de planos de falla. Informe escrito enviado para su aprobación a la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. pp. 1-111.
- 2001. Codificación Sismológica de Planos de Falla. Una propuesta metodológica. En: revista DYNA, **129**: Marzo, 2001. pp. 19–35.
- Grosse, E.** 1926. Mapa Geológico de la parte occidental de la Cordillera Central de Colombia entre el río Arma y Sacaoyal, escala 1:50.000. El Terciario Carbonífero de Antioquia. Berlín.
- González, H.** 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). En: Boletín Geológico. Ingeominas. Vol. **23** (No. 1): 1980. pp. 1-174.
- 1996. Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Geología, recursos minerales y amenazas potenciales. Memoria Explicativa. Ingeominas. pp. 1-213.
- Jakosky, J.J.**, 1950. Exploration Geophysics. TRIJ Publishing Co. USA. pp. 1-1195.
- Lay, T. Wallace, T.C.**, 1995. Modern Global Seismology. Academic Press. U.S.A. pp. 34 – 114.
- Maya, M., González, H.**, 1995. Unidades Litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. En: Boletín Geológico Ingeominas. Vol. **35** (No. 2-3): pP. 43 – 53.
- McCourt, W., Aspden, J. A., Brook, M.**, 1984. New Geological and Geochronological Data for the Colombian Andes: Continental Growth by Multiple Accretion. En: Journal of the Geological Society of London, **141**. pp. 831-845.
- Page, W.**, 1986. Geología sísmica y sismicidad en el noroccidente colombiano. ISA – INTEGRAL. Woodward & Clyde consultants. Medellín.
- Press, F.**, 1966. Seismic Velocities. En: S.P. Clark, Jr. (Editor). Handbook of Physical Constants. Geological Society of America. Memory 97. p. 195- 221.
- Restrepo, J., Toussaint, J.**, 1982. Metamorfismos Superpuestos en la Cordillera Central de Colombia. V Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires. pp. 1-8.
- Wortel, M. J. R.**, 1984. Spatial and temporal variations in the Andean subduction zone. Journal of the Geological Society of London, **141**, pp. 783-793.

BALANCE GEOQUÍMICO PARA LA CUENCA ALTA DEL RÍO MEDELLÍN, CORDILLERA CENTRAL (ANTIOQUIA, COLOMBIA)

por

Juan Carlos Osorio¹, Jorge E. López-Rendón² & Michel Hermelin¹

Resumen

Osorio JC., JE. López-Rendón & M. Hermelin: Balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín, Cordillera Central (Antioquia, Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 71-84. 2003. ISSN 0370-3908.

El balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín – Porce (Antioquia) se obtuvo a partir de ensayos químicos y físicos en muestras de agua lluvia y de escorrentía recolectadas aproximadamente cada 15 días entre el 04/07/00 y el 16/02/01. Se encontró un equilibrio en las concentraciones de los iones en el río Medellín tanto en la temporada seca como en la húmeda. Se estimó que la escorrentía aporta el 88% de los principales sólidos disueltos que salen de la cuenca (H_2CO_3 , SiO_2 , Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+), que el orden de movilidad relativa es: $Ca > Mg > SiO_2 > Na > K$ y que el porcentaje de Mg disuelto duplica los promedios mundiales para aguas que drenan rocas plutónicas y metamórficas. La tasa de meteorización de la sílice fue de ~138 kg/ha/año, y de ~48 kg/ha/año para la suma de los principales cationes mayores disueltos.

Palabras clave: Balance geoquímico, precipitación, escorrentía, sólidos disueltos, movilidad relativa, meteorización, alta montaña.

Abstract

The solute budget in the upper Medellín – Porce river catchment (Colombia) was obtained through chemical and physical water analyses (rainfall and runoff). Samples were taken every two weeks between 04/07/00 and 16/02/01. Balance was carried out for the dissolved ion concentrations in surface waters averaging rainy and dry seasons values. We estimated that runoff contributes with 88% of the principal dissolved solids that flow out of the catchment (H_2CO_3 , SiO_2 , Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} ,

¹ Grupo de Geología Ambiental, Departamento de Geología, Universidad EAFIT, Apartado Aéreo 3300, Medellín, Colombia. jcosorio@neptuno.eafit.edu.co & hermelin@eafit.edu.co

² Suministros de Colombia S.A., Investigación y Desarrollo, Apartado Aéreo 4899, Medellín, Colombia. jlopez@sumicol.com

K⁺); Relative mobility is Ca > Mg > SiO₂ > Na > K. The percentage of dissolved Mg in the Medellín River duplicated the world average for rivers draining plutonic and metamorphic rocks. A chemical weathering rate estimate of ~138 kg/ha/yr was derived for the SiO₂ budget and of ~48 kg/ha/yr for the sum of major dissolved cations.

Key words: Solute budget, rainfall, runoff, dissolved solids, relative mobility, weathering, high mountain.

Introducción

Los elementos químicos se presentan en todas las etapas del ciclo hidrológico como gases atmosféricos, partículas de polvo o aerosoles alrededor de los cuales se condensan las gotas de lluvia y/o como elementos en suspensión o disueltos dentro del agua de escorrentía. Estos elementos son introducidos en las cuencas hidrográficas por medio de la precipitación o liberados de las rocas por los procesos de meteorización de las mismas.

El balance geoquímico es el resultado de comparar la composición química de las aguas naturales que salen de una cuenca con la de las aguas lluvias. Al determinar un balance geoquímico se pueden establecer, entre otros, la procedencia de los elementos y compuestos, el material que los suministra, las tasas a las que varían sus concentraciones, sus relaciones mutuas y lo que controla su presencia en una determinada cuenca.

En Colombia se han hecho pocos intentos por estudiar e interpretar los procesos de meteorización química mediante la elaboración de balances geoquímicos. De éstos, sólo se han publicado los resultados de **Geale & Hermelin** (1988) quienes determinaron tasas de meteorización para cuatro cuencas localizadas al oriente del departamento de Antioquia.

Con estos datos cuantitativos obtenidos en la zona de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, para tasas de meteorización en la zona ecuatorial húmeda a más de 2.000 m de altura sobre el nivel del mar, se espera contribuir al conocimiento de la evolución y del funcionamiento de los geoecosistemas del trópico húmedo de montaña.

Área de estudio

La zona de estudio está localizada en la Cordillera Central de Colombia, a unos 30 km al sur de Medellín (Antioquia), en la parte más alta de la cuenca del río Medellín – Porce; tiene un área de 1.055 ha e incluye las cuencas de las quebradas La Vieja, La Moladora, El Tesoro y Santa Isabel (Figura 1). La altitud varía entre 2.000 y 3.050 msnm, la temperatura media es de 16°C y la precipitación

es superior a los 2.500 mm/año. Estas condiciones la ubican en la zona de vida de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB) (**Espinal**, 1977). El río Medellín en esta zona se clasifica como de orden 5 (**Strahler**, 1957).

La cobertura vegetal del área está conformada por un mosaico de vegetación en diferentes estados sucesionales: El bosque secundario ocupa cerca del 70% del área, seguido por rastrojo bajo y alto (~22%), pastos (~5%) y plantaciones forestales (~3%) (**Montoya**, 2001).

Más del 80% del área está constituida por esquistos paleozoicos, que incluyen esquistos cuarzo-sericíticos, cuarzo-biotíticos, cuarzo-moscovíticos y cuarcitas. Los esquistos cuarzo-sericíticos son los más abundantes, por lo que se asigna este nombre a toda esta unidad litológica (**Restrepo et al.**, 1981; **Noreña & Patiño**, 1984).

Por otra parte, los suelos en la zona de estudio pertenecen a la Asociación Tequendamita y se clasifican como Placandept y la mayoría Dystrandept (**Aguilar & Loaiza**, 2001). El material parental de estos suelos corresponde a depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas, esquistos y neis (**IGAC**, 1979).

Metodología

El balance geoquímico se elaboró a partir de ensayos químicos y físicos en muestras de agua lluvia tomadas según la metodología de **Hornung et al.** (1986) en la Estación Aula Ambiental de la reserva ecológica del Alto de San Miguel, y en muestras de escorrentía superficial tomadas en la denominada Estación Río Medellín 2 (Figura 1). Los muestreos se realizaron aproximadamente cada 15 días a lo largo del período comprendido entre el 4 de julio de 2000 y el 16 de febrero de 2001. Se efectuaron 14 sesiones de muestreo en estas dos estaciones y se evaluaron 14 parámetros: pH, temperatura, potencial Redox, conductividad, alcalinidad, nitrato, sílice, dureza total, dureza cálcica, sodio, potasio, magnesio, aluminio, hierro total y sólidos totales. Nueve de estos parámetros se utilizaron para calcular el balance geoquímico.

Los resultados de precipitación se obtuvieron en un pluviómetro instalado en el Aula Ambiental del Instituto

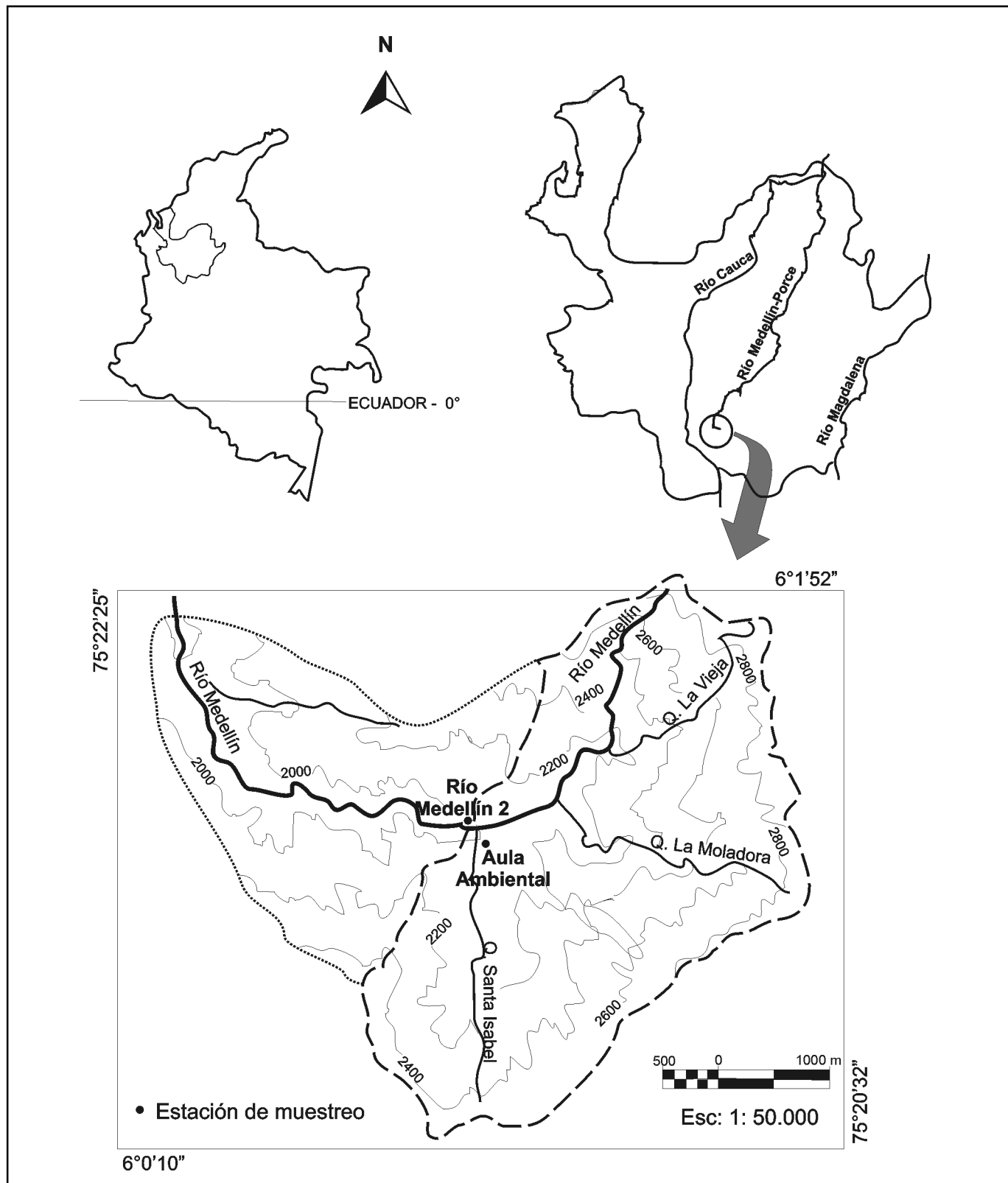


Figura 1. Localización del área de estudio

Mi Río. El caudal del río Medellín se determinó para cada evento de muestreo mediante el método del flotador y la velocidad se corrigió con un factor de 0,7.

En cada sitio de muestreo de agua de escorrentía se midieron con un equipo portátil el pH, el potencial Redox y la temperatura del agua. El mismo día del muestreo de campo, en los laboratorios de la Universidad EAFIT se midió la conductividad y la alcalinidad (titulación con ácido clorhídrico) de todas las muestras recolectadas y el pH de las muestras de agua lluvia.

Las muestras analizadas en la Universidad EAFIT no fueron filtradas y permanecieron refrigeradas hasta que todos los ensayos químicos se hubiesen realizado. Los cationes y aniones principales se determinaron según métodos estándar (APHA, AWWA & WPCF, 1985), excepto la sílice y el nitrato que se determinaron mediante la utilización de dos kits reducción Molibdato – Sulfito y Reducción – Diazotación respectivamente. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los métodos analíticos utilizados y los límites de detección.

En el laboratorio de aguas de Cornare (Corporación Autónoma Regional Rionegro - Nare) localizado en Santuario (Antioquia) se realizaron los ensayos de aluminio, sodio y potasio. Para estos ensayos, las muestras se filtraron en la Universidad EAFIT el mismo día del muestreo y se llevaron a Cornare debidamente refrigeradas generalmente al siguiente día.

Además de los parámetros estadísticos básicos para las diferentes variables determinadas, se efectuaron análisis de correlación y de regresión multivariada. En estos análisis se incluyeron, además de los componentes químicos, las variables pH, conductividad, temperatura, caudal y precipitación.

La información obtenida en las estaciones de muestreo Aula Ambiental y Río Medellín 2, se analizó inicialmente

en forma cualitativa; así, se identificaron los valores máximos y mínimos por cada variable, los valores anómalos, la presencia de tendencias en el comportamiento de los parámetros y las posibles relaciones existentes entre las distintas variables evaluadas en una misma estación.

Posteriormente se elaboró el balance geoquímico para la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel con base en la metodología propuesta por Williams (1983); se identificaron los mayores sólidos disueltos según el balance geoquímico para el área de estudio y se compararon con los promedios mundiales.

Finalmente se establecieron las tendencias en el comportamiento de los iones durante los períodos secos y lluviosos. También se determinó la tasa de meteorización para algunos de los mayores sólidos disueltos y su movilidad relativa, para luego comparar estos resultados con los obtenidos en otras investigaciones.

Resultados y discusión

Ecuación para balance geoquímico

Para la elaboración del balance geoquímico en la zona de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel se utilizó la Ecuación de Continuidad (1), en la cual la salida de solutos de la cuenca (generalmente en forma de escorrentía superficial) es igual a la entrada a partir de la atmósfera más el cambio que se produce en el almacenaje. La diferencia entre las entradas y salidas representa la generación o remoción del elemento dentro de la cuenca (Williams, 1983; Drever, 1997).

Salida de solutos = Solutos a partir de la atmósfera + solutos a partir de la meteorización +/- solutos a partir de la biomasa +/- intercambio iónico (Drever & Clow, 1995). (Ecuación 1)

Tabla 1. Límites de detección para equipos y protocolos utilizados.

PARÁMETRO	METODOLOGÍA	LÍMITE DE DETECCIÓN
pH	pH metro	0,01
Temperatura	Termómetro	0,1° C
Conductividad	Conductímetro	0,01 µS/cm
Alcalinidad	Titulación ácido clorhídrico (0,1N)	3,05 - 0,31 mg H ₂ CO ₃ /l
Hierro Total	Fenantrolina	0,02 mg/l
Dureza Cálctica	Titulación Edta	0,4 mg Ca /l
Dureza Total	Titulación Edta	1 mg de CaCO ₃
Nitrato	Reducción – Diazotación (Kit)	0,01 mg/l
Sílice	Reducción Molibdato – Sulfito (Kit)	0,5 mg/l
Aluminio	Colorimétrico Eriocromocianina	0,003 mg/l
Sodio	Absorción atómica	0,06 mg/l
Potasio	Absorción atómica	0,48 mg/l

Para calcular el balance geoquímico según la metodología propuesta por **Williams** (1983) en la cuenca Narrator (Dartmoor, Inglaterra), se hacen las siguientes dos suposiciones:

- La precipitación total ("bulk precipitation") es la única entrada significativa al sistema y el drenaje es la única salida. Esta suposición generalmente subestima la adición de elementos vía depositación seca a la cuenca (**Eriksson**, 1955; **Miller & Miller**, 1980; **Dollard et al.**, 1983 en **Hornung et al.**, 1986), lo que puede causar que en el balance geoquímico se sobrevalore el aporte de sólidos disueltos originados por la meteorización de la roca parental y posteriormente, a partir de los resultados de dicho balance, se estimarían tasas de meteorización química más altas que las reales para la zona de estudio.
- El cambio en la composición química del agua debido a la biomasa y al intercambio iónico en el almacenamiento: Se puede despreciar esta suposición, ya que los resultados de estudios edafológicos (**Aguiar & Loaiza**, 2001) y de cobertura vegetal (**Montoya**, 2001), muestran que en la cuenca alta del río Medellín la biomasa está en crecimiento y los suelos están prácticamente agotados; en consecuencia, los suelos aparentemente no tienen la capacidad de suministrar los nutrientes que necesita la biomasa para su desarrollo, por lo que la mayor parte de esta necesidad deberá ser sustentada por los nutrientes generados a partir de la descomposición de la hojarasca. Este es un proceso de reciclaje de nutrientes similar al que ocurre en los suelos de la cuenca inferior del Amazonas (**Went & Stark**, 1968; **Herrera et al.**, 1978 en **Stallard & Edmond**, 1983).

Con lo anterior se considera que al seguir la metodología propuesta por **Williams** (1983) no se está incurriendo en errores significativos al aceptar que las variables biomasa e intercambio iónico de la Ecuación 1 que involucran cambios en el almacenamiento se puedan despreciar. **Williams** (1983) tiene en cuenta las entradas a la cuenca a través de la precipitación y calcula el balance geoquímico con base en la ponderación de las concentraciones para cada elemento con respecto a la cantidad de precipitación y el caudal.

Finalmente, la ecuación utilizada para calcular el balance geoquímico es la siguiente:

$$\text{Balance Geoquímico} = \text{Entradas (Precipitación total)} - \text{Salida (Escorrentía superficial)}. \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Entradas de Solutos (Precipitación)

La precipitación puede ser en forma de lluvia, condensación de neblina o bruma y por depositación seca que es tomada directamente por la vegetación o la humedad del follaje (**Drever & Clow**, 1995).

Para calcular las entradas para el balance geoquímico se utilizó un promedio obtenido para cada evento de muestreo, a partir de la sumatoria del producto de la concentración encontrada para un elemento determinado y la precipitación acumulada durante 15 días de muestreo (Estación Aula Ambiental), dividido por la precipitación total para el periodo de estudio (Ecuación 3).

$$\text{Entrada} = \frac{\sum C_i * V_i}{\sum V_i} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

donde:

C_i : Es la concentración obtenida para un determinado elemento en cada evento de muestreo de agua lluvia.

V_i : Es la precipitación acumulada durante 15 días de muestreo.

Con base en los registros obtenidos para la Estación Aula Ambiental y utilizando la Ecuación 3, se calcularon las entradas a la cuenca, con las que posteriormente se obtuvo el balance geoquímico (Tabla 4).

Datos de precipitación obtenidos entre septiembre de 1984 y marzo de 2001, en la estación del IDEAM La Salada (municipio de Caldas, departamento de Antioquia) localizada aproximadamente 4 km al norte de la zona de estudio, indican la presencia anual de dos periodos lluviosos, de abril a junio y de septiembre a noviembre y dos periodos menos lluviosos, de diciembre a febrero y de julio a agosto (**IDEAM**, 2001). Por su parte, los datos pluviométricos tomados en el Aula Ambiental de la reserva ecológica del Alto de San Miguel, muestran un total mínimo de lluvia acumulada para los 8 meses muestreados de 1.813 mm.

Los valores de pH encontrados variaron entre 3,76 y 6,53, con un valor promedio del orden de 4,6 (Tabla 2). En la mayor parte del planeta, es de esperarse que bajo las condiciones actuales de contaminación el agua lluvia presente generalmente un pH ligeramente menor de 5,7 (**Klusman**, 1996 en **Langmuir**, 1997). En el presente estudio se registraron dos valores relativamente bajos de pH (3,76 y 4,04), posiblemente originados por eventos extremos de contaminación atmosférica. Esta hipótesis ya había sido propuesta por **Cadavid et al.** (2000) quienes suponen que sobre el Alto de San Miguel circulan, a

intervalos de tiempo variables, masas de aire contaminadas procedentes del Valle de Aburrá.

En la Tabla 2 también se presentan los promedios de las concentraciones de soluto en la precipitación total. Se observó que los solutos dominantes son el bicarbonato y el calcio. Por su parte, los sólidos totales disueltos obtenidos a partir de la suma de bicarbonato, sílice, calcio, sodio, magnesio y potasio en el agua lluvia tienen un valor promedio de 3,4 mg/l, con un intervalo de variación entre 0,97 y 4,8 mg/l.

Salida de Solutos (Escorrentía)

Para calcular las salidas en el balance se utilizó un promedio similar al utilizado para las entradas (Ecuación 3). Este promedio se obtuvo, para cada evento de muestreo, a partir de la sumatoria del producto de la concentración encontrada para un elemento determinado y el caudal medido en el momento de la toma de muestra (Estación Río Medellín 2), dividido por la descarga total para el periodo de estudio (Ecuación 4).

$$\text{Salida} = \frac{\sum C_i * V_i}{\sum V_i} \quad (\text{Ecuación 4})$$

donde:

C_i : Es la concentración obtenida para un elemento determinado en cada evento de muestreo.

V_i : Es el caudal medido en la Estación Río Medellín 2.

Con base en los registros obtenidos para la Estación Río Medellín 2 y utilizando la Ecuación 4, se calcularon las salidas de la cuenca, con las que posteriormente se obtuvo el balance geoquímico (Tabla 4).

El agua tomada como muestra en la Estación Río Medellín 2 presentó una temperatura promedio de 15,9°C, una conductividad de 2 mS/cm y un pH de 7,2 (Tabla 2). Este último valor se encuentra en el intervalo normal para aguas superficiales no contaminadas, 6,5 a 8,5 (Hem, 1985).

La sílice es el sólido disuelto más abundante, los cationes están dominados por el calcio y los aniones por el bicarbonato. Estos resultados son similares a los encontrados para la mayoría de aguas dulces del mundo, cuyos iones dominantes son calcio y bicarbonato (Langmuir, 1997).

Los sólidos totales disueltos (H_2CO_3 , SiO_2 , Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} y K^+) en el agua de la Estación Río Medellín tienen un valor promedio de aproximadamente 31,2 mg/l y un intervalo de variación entre 25,7 y 34,2 mg/l.

Los resultados de los análisis estadísticos de correlación lineal y regresión multivariada no indicaron correlación significativa entre las variables químicas y físicas evaluadas en este estudio.

Influencia del caudal sobre la concentración iónica

El agua de los ríos proviene tanto de la precipitación directa como del flujo base generado por agua subterránea que se infiltra directamente en el canal y del agua de escorrentía que llega al drenaje durante o después de la precipitación. Dicha escorrentía tiene generalmente un corto tiempo de residencia en la zona insaturada del suelo, al igual que un breve contacto con la vegetación (Hem, 1985).

Por lo tanto, se espera que la composición química del agua en la Estación Río Medellín 2 durante las épocas secas esté totalmente controlada por la composición del

Tabla 2. Concentraciones promedio de soluto en la precipitación total ("bulk precipitation") y en el agua de escorrentía.

Parámetro	Unidades	Precipitación Total (Estación Aula Ambiental)		Agua de Escorrentía (Estación Río Medellín 2)	
		Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo
Conductividad	µS/cm	0,6	0,02-1,01	2,0	1,27-2,32
pH		5,0	3,76-6,53	7,3	6,72-7,61
Bicarbonato		2,3	0,0-3,05	15,9	11,59-19,52
Nitrato		0,34	0,04-0,79	0,64	0,40-1,19
Sílice		0,14	0,02-0,30	10,9	9,69-11,60
Calcio		0,65	0,0-1,2	2,6	2,00-3,21
Magnesio		0,0	0,0	0,43	0,0-0,73
Sodio		0,293	<0,06- 0,861	1,03	0,467-1,953
Potasio		0,164	<0,06-0,769	0,36	0,141-0,514
Aluminio		0,022	0,003-0,050	0,065	0,013-0,291
Hierro		0,044	0,00-0,190	0,125	0,00-0,170
Sólidos totales		16	0,0-40	33	0-66

flujo base, mientras que en la temporada de lluvias las concentraciones estarán controladas por la composición química de la precipitación directa y del flujo base, además del aporte del agua de escorrentía.

Durante el período estudiado, el caudal observado en la Estación Río Medellín 2 presentó tres tendencias (Figura 2a). De julio a finales de agosto se presenta una variación entre 452 y 608 l/s; entre finales de agosto y principios de noviembre se registran los valores más altos de caudal, 717 a 848 l/s; y desde principios de noviembre y hasta febrero, cuando terminó el muestreo, se observa una disminución de los caudales desde 416 hasta 214 l/s. Por otra parte no se observó una correlación significativa entre precipitación y caudal para los datos disponibles (Figura 2b).

De manera similar, no se encontró una correlación significativa entre caudal y concentraciones iónicas, a lo largo del período muestreado. En la Figura 3a se observa que la sumatoria de cationes (TZ⁺) no varía mucho (en promedio 218 µeq/l) y sólo tiene un ligero incremento en concentración hacia el final del muestreo, lo cual coincide con la época de menor caudal; la correlación entre estas dos variables es muy baja (Figura 3b).

Tabla 3. Relaciones entre los componentes principales en solución y en la roca parental (Esquistos sericiticos).

Relación $K^+ / K^+ + Na^+$		Relación $Mg^{2+} / Mg^{2+} + Ca^{2+}$	
En Roca	En Agua	En Roca	En Agua
0,75	0,31	0,91	0,18

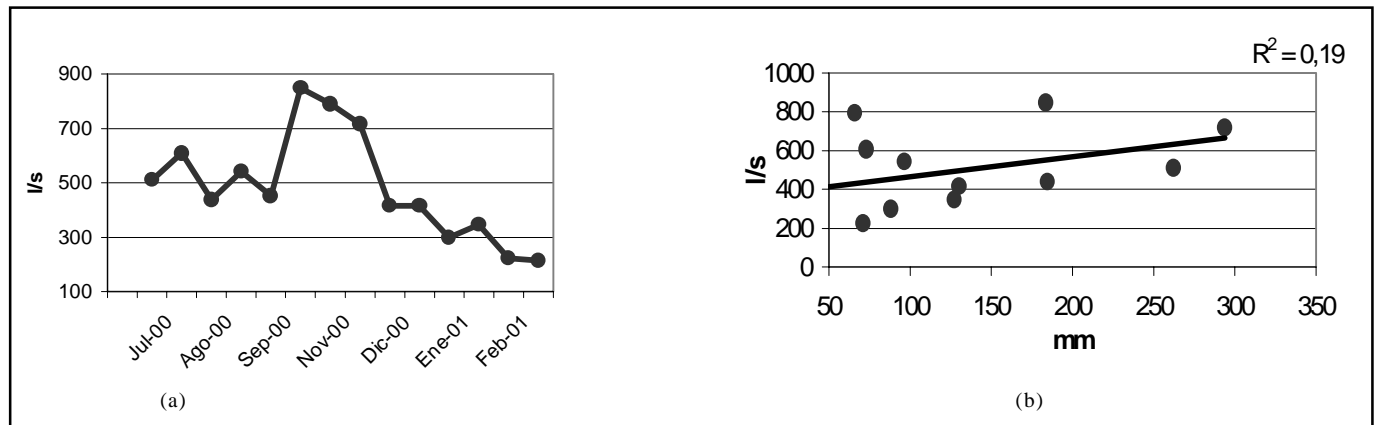


Figura 2. (a) Caudal en la Estación Río Medellín 2. (b) Correlación entre el caudal en la Estación Río Medellín 2 y los datos de precipitación según el pluviómetro localizado en la Estación Aula Ambiental.

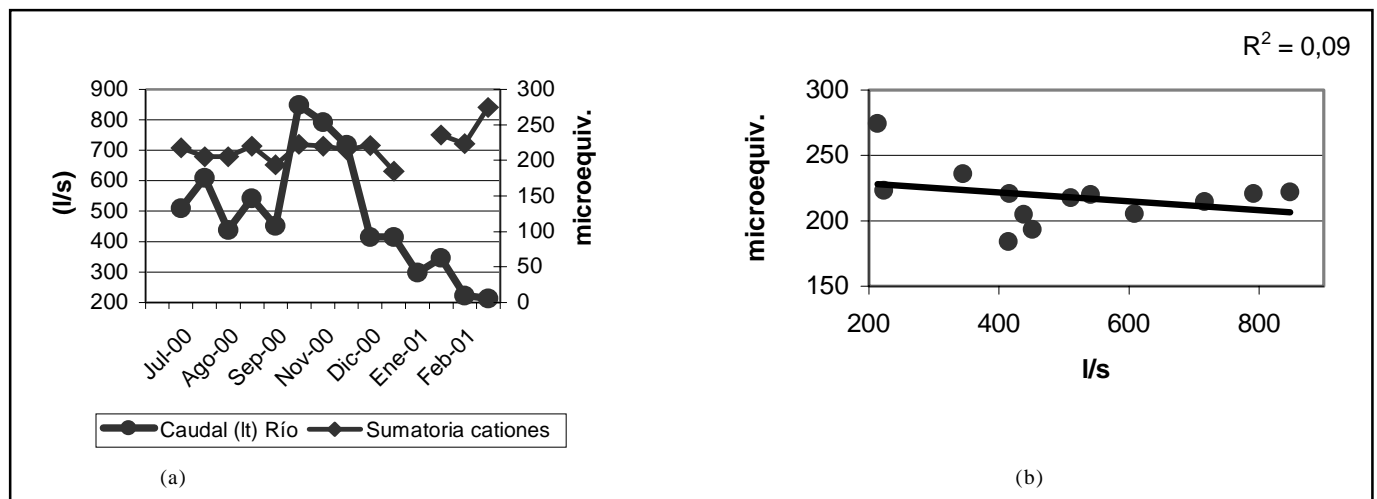


Figura 3. (a) Comportamiento del caudal en la Estación Río Medellín 2 vs la sumatoria de cationes (TZ⁺) y (b) correlación entre ambos parámetros.

Tabla 4. Balance Geoquímico calculado en la Estación Río Medellín 2.

Parámetro	Conductividad μS/cm	Bicarbonato	Nitrato	Sílice	Ca (mg/l)	Mg	Na	K	Al	Fe
Entrada Neta	0,80	2,47	0,29	0,14	0,62	0,00	0,28	0,12	0,02	0,06
Salida Neta	1,82	13,26	1,14	9,59	2,33	0,52	0,99	0,45	0,16	0,24
Balance	-1,02	-10,79	-0,85	-9,45	-1,71	-0,52	-0,71	-0,33	-0,13	-0,19

La concentración de la sílice, aunque presenta dos valores pico bajos, muestra una tendencia general a permanecer relativamente uniforme (Figura 4a) y así como en el caso de la sumatoria de cationes exhibe una muy baja correlación con el caudal (Figura 4b).

La concentración del ión bicarbonato es aparentemente poco variable, presentándose un incremento hacia el final del período de muestreo (Figura 5a). Esta tendencia en comportamiento no se correlaciona con las variaciones encontradas en el caudal (Figuras 5a y 5b).

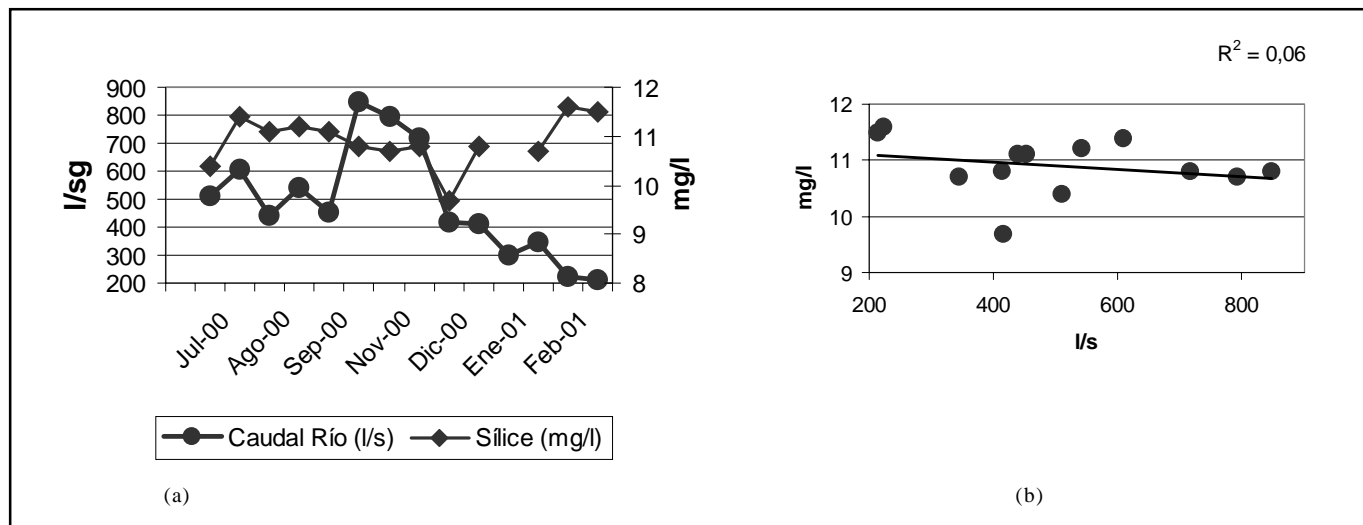


Figura 4. (a) Comportamiento del caudal en la Estación Río Medellín 2 vs sílice y (b) Correlación entre ambos parámetros.

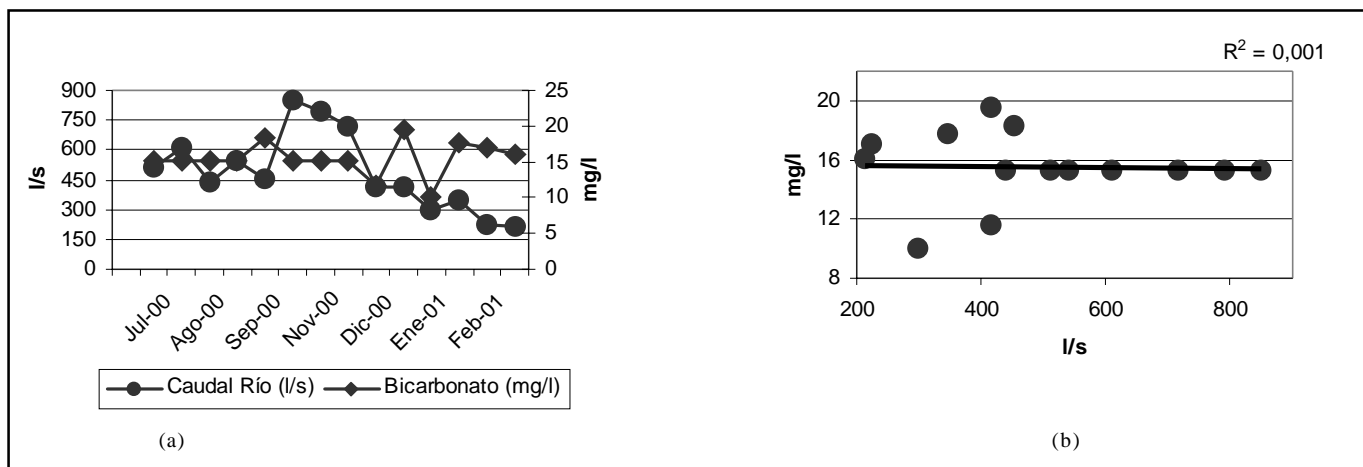


Figura 5. (a) Comportamiento del caudal en la Estación Río Medellín 2 vs bicarbonato y (b) Correlación entre ambos parámetros.

Así como para la sílice, la concentración de bicarbonato tiende a presentar una variabilidad relativamente pequeña durante la mayor parte del muestreo. Hacia el final del muestreo exhibe una variación algo significativa; sin embargo esta variación no se correlaciona con un cambio significativo en el caudal (Figura 5).

De esta manera, las concentraciones de los principales sólidos disueltos estudiados en la cuenca alta del río Medellín permanecieron prácticamente uniformes durante el período de muestreo, independientemente de temporadas con alta o baja precipitación. Este comportamiento parece indicar que esta cuenca está autoequilibrada, es decir, que las concentraciones no presentan disminución ni aumento significativos con las variaciones en el caudal.

Condiciones de equilibrio de la cuenca

Para que se haya presentado un aparente autoequilibrio en la cuenca alta del río Medellín, las concentraciones de los principales sólidos disueltos aportados por agua de escorrentía y por flujo base al caudal total debieron haber sido similares a lo largo del período muestreado, independientemente de temporadas con alta o baja precipitación y de las variaciones del caudal.

Para explicar la forma como la escorrentía adquiere la carga iónica necesaria para mantener las concentraciones constantes en el río Medellín, a pesar de que exista un exceso de descarga, se propone la hipótesis de **Cleaves et al.** (1970), donde sólo la precipitación que cae directamente sobre el agua de la quebrada ejerce una acción de dilución, y la precipitación que cae en el resto de la cuenca moviliza sales solubles tomadas a partir de los árboles, hojarasca y el horizonte A del suelo. De esta manera se elevan rápidamente las concentraciones dentro de las quebradas durante los eventos de inundación o de exceso de escorrentía.

Las fuentes para el magnesio y potasio pueden ser biológicas, ya que cuando la hojarasca es lavada por la lluvia se pueden liberar estos elementos y ser llevados a las quebradas, mientras que cuando se dan las condiciones de flujo base estos iones son almacenados como sales solubles en la parte superior del perfil del suelo y no contribuyen a la composición del agua de las quebradas (**Cleaves et al.**, 1970).

Por otra parte, también debe considerarse la removilización de iones introducidos por la precipitación seca. Esta removilización es subvalorada la mayoría de las veces, ya que los dispositivos utilizados para muestrear no tienen la capacidad de retener cantidades representativas del material particulado y de aerosoles que sí pueden ser rete-

nidos por la vegetación en una zona boscosa como la de San Miguel. En efecto, las variaciones de pH entre el promedio con el cual llega el agua lluvia en el Alto San Miguel (5,0) y el valor promedio del pH para el agua del río (7,3), aparentemente indican que hay una ganancia de elementos que neutralizan el agua lluvia al entrar en contacto con la vegetación, el suelo y/o la roca parental.

Relaciones entre la composición química del agua y la litología de la cuenca

Los valores obtenidos para las relaciones $K^+/(K^++Na^+)$ y $Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Ca^+)$ en el agua del río Medellín son mucho menores que para los esquistos cuarzo-sericíticos que componen la cuenca (Tabla 3). Esto indica que la carga catiónica del agua del río Medellín, comparada con la composición de las rocas de la cuenca, está enriquecida en Na^+ con respecto a K^+ y en Ca^+ con respecto a Mg^{2+} . Estos resultados son similares a los encontrados por **Stallard & Edmond** (1983) en la cuenca del Amazonas para ríos que drenan rocas silíceas en terrenos donde el factor limitante para la erosión es la tasa de meteorización.

Si los procesos de erosión que remueven el material meteorizado son más rápidos que los procesos que lo generan, entonces la erosión está limitada por la tasa de meteorización y en este caso hay menor tiempo para que los productos físicos de la meteorización reaccionen con el agua subterránea y con el suelo, ya que apenas estén parcialmente meteorizados serán removidos (**Stallard y Edmond**, 1983).

Teniendo en cuenta estas observaciones, se encuentra que aparentemente la tasa de erosión de los productos solubles de la meteorización química en el Alto de San Miguel está limitada por la velocidad de generación de dichos productos.

El enriquecimiento en Na y Ca puede deberse a que el Mg y el K son utilizados como nutrientes por el bosque secundario, a que se encuentran en la estructura interna o son absorbidos por arcillas y/o a que en las rocas félsicas e intermedias se da un mayor remoción sobre los minerales constituidos por Ca y Na (**Stallard & Edmond**, 1983).

Balance geoquímico para el río Medellín en la Estación 2

En la cuenca del Alto San Miguel, al igual que en muchas otras estudiadas mediante balances geoquímicos (**Cleaves, et al.**, 1970; **Stallard & Edmond**, 1983; **Reynolds et al.**, 1987; **Geale & Hermelin**, 1991), se encuentra que predomina la salida de los cationes principales, del bicarbonato y de la sílice.

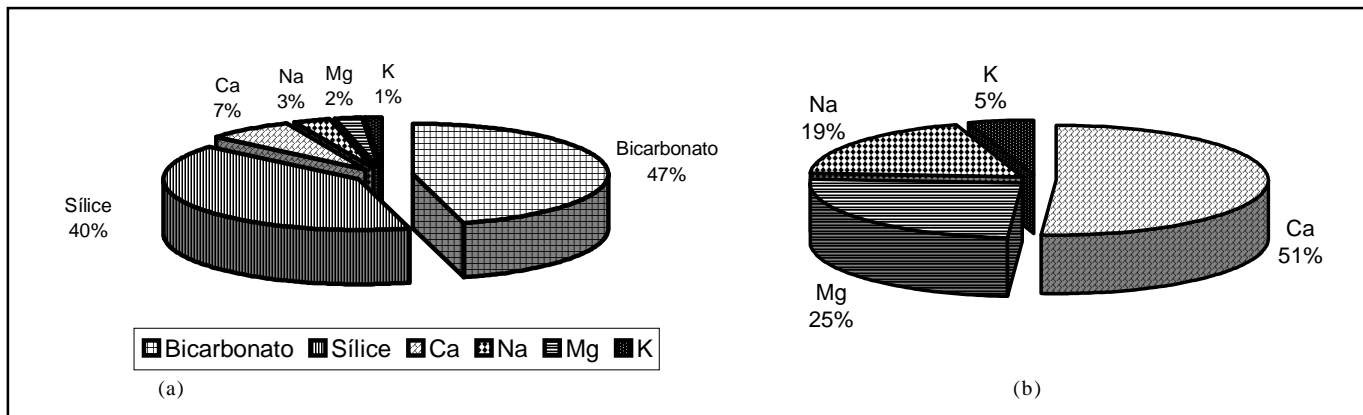


Figura 6. (a) Principales sólidos disueltos según balance geoquímico (a partir de datos en mg/l) y (b) Abundancia de los principales cationes según el balance geoquímico (a partir de los datos en mequivalentes/l)

En la Tabla 4 se observa que es mayor la cantidad de solutos que salen del área de estudio por medio de la escorrentía, que la cantidad de solutos que entraron originalmente en la lluvia. Así, al calcular el porcentaje de solutos que son aportados por el agua de escorrentía al balance geoquímico, se encuentra que éste corresponde a un 88% del total de sólidos disueltos (H_2CO_3 , SiO_2 , Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+) que salen de la cuenca. Esto parece indicar que la meteorización de la roca parental origina la mayor parte de los iones disueltos; sin embargo, es posible que algo de ese porcentaje sea aportado por la precipitación seca; aunque la magnitud de dicho aporte no se pudo cuantificar con la metodología utilizada en esta investigación.

Los datos del balance geoquímico también muestran que los sólidos disueltos están dominados por sílice, los cationes por calcio, y los aniones por bicarbonato (Figura 6a), la abundancia de los cationes principales en mequivalentes/l es $Ca > Mg > Na > K$ (Figura 6b).

Comparación de los resultados del balance geoquímico con otros promedios en el mundo: Con base en la distribución porcentual de los cationes mayores según el balance geoquímico (Figura 6b) y al utilizar la clasificación de Meybeck (1986) para aguas que drenan rocas plutónicas y metamórficas en Francia, se encuentra que las aguas en la Estación Río Medellín 2 son cálcicas, siendo $Ca > Mg > Na > K$.

El calcio, sodio, magnesio y potasio en el área de estudio constituyen el 51, 19, 25 y 5 % respectivamente del total de los cationes principales después de la corrección por el aporte atmosférico (Figura 6b). Al comparar estos valores con los porcentajes promedios obtenidos a escala mundial para estos elementos (57, 27, 11 y 5% respecti-

vamente) en rocas plutónicas y metamórficas (Meybeck, 1987), se observa que el porcentaje de K en la zona de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es similar, los porcentajes de Ca y Na se reducen y el porcentaje de Mg se duplica (Figura 7).

Para Meybeck (1987), el orden en el que las rocas liberan cationes por meteorización es: Evaporitas > R. Carbonatadas > R. Volcánicas > R. Detríticas no calcáreas > R. Plutónicas > R. Metamórficas. Según este orden propuesto, las rocas plutónicas y metamórficas, que conforman la litología en la cuenca alta del río Medellín, son las que menos facilidad tienen para liberar cationes. A escala mundial se tiene un promedio de 270 mequivalentes/l para la sumatoria de los cationes mayores a partir de rocas metamórficas (Meybeck, 1987), mientras que en la cuenca estudiada el promedio es aún más bajo (167 mequivalentes/l).

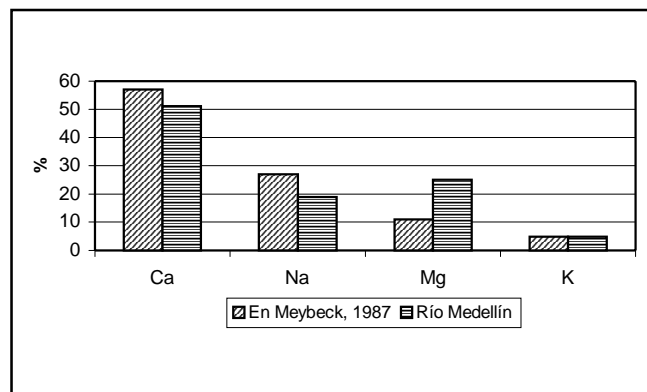


Figura 7. Comparación de los promedios mundiales para la sumatoria de los principales cationes (TZ^+) (Meybeck, 1986) con respecto a los resultados del balance geoquímico en el río Medellín.

Tasas de meteorización

Las tasas de meteorización para los sólidos mayores disueltos en el río Medellín en kg/ha/año (Tabla 5), se determinaron con la Ecuación 5, al suponer las concentraciones encontradas en el balance geoquímico como las promedio en el río Medellín a lo largo del año:

$$T_m = \frac{C_s * Q * 31.536}{A} \quad (\text{Ecuación 5})$$

donde:

T_m: Tasa de meteorización para el elemento seleccionado (en kg/ha/año).

C_s: Concentración promedio anual de uno de los sólidos que sale de la cuenca, a partir del balance geoquímico (mg/l).

Q: Caudal promedio anual, con base en los registros realizados en la Estación Río Medellín 2 (0,49 m³/s).

A: Área de la cuenca en estudio (1055 ha)

De acuerdo con lo ilustrado en la Tabla 5, la salida de los cationes mayores es de ~48 kg/ha/año y la de la sílice es de ~138 kg/ha/año.

Debido a la metodología inicialmente utilizada para evaluar la alcalinidad, es posible que la tasa de remoción

de bicarbonato para la zona de estudio esté subvalorada. Sin embargo al comparar con los datos de **Livingston** (1963), en los que la tasa promedio de remoción anual de bicarbonato a escala mundial para el área continental es de cerca de 190 kg/ha y para Norte América es de cerca de 150 kg/ha, se encuentra que la tasa promedio anual encontrada en la zona de estudio (158 kg/ha) está dentro del intervalo normal.

Comparación de tasas de meteorización: Se comparan a continuación las tasas de meteorización química encontradas para las rocas de la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel (esquistos predominantemente) (Tabla 5) con las tasas de meteorización obtenidas por **Geale & Hermelin** (1991) para rocas del Batolito Antioqueño (granodioritas y cuarzdioritas) en cuatro cuencas hidrográficas localizadas en la vertiente oriental de la Cordillera Central al NE de Medellín (Tabla 6), las tasas determinadas por **Williams** (1983) para la cuenca Narrator en Dartmoor (Inglaterra) para granitos, y las tasas de meteorización encontradas por **Reid et al.** (1981), para granitos y neises en la cuenca Glendye (Escocia) (Tabla 7).

Las tasas de meteorización química derivadas con base en sílice, Ca, Mg, Na y K en la zona de Reserva Ecológica del Alto San Miguel corresponden en promedio aproximadamente al 34, 26, 36, 15 y 19%, respectivamente, con relación a las tasas registradas para estos mismos elemen-

Tabla 5. Resultados del balance geoquímico y de las tasas de meteorización para los mayores sólidos disueltos.

Parámetro	Alcalinidad Bicarbonato(mg/l)	Sílice (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)
Balance Geoquímico	10,79	9,45	1,71	0,52	0,71	0,33
Salida de la cuenca kg/ha/año	158	138,4	25	7,6	10,4	4,8

Tabla 6. Características generales y tasas de meteorización química para cuatro cuencas hidrográficas localizadas sobre el Batolito Antioqueño, determinadas por **Geale & Hermelin** (1991).

Cuenca	Precipitación (*) (mm/año)	Altura Promedio (m.s.n.m)	Sílice	Ca	Mg	Na	K
			kg/ha/año				
Río Tafetanes	4656	2050	370,3	79,3	20,7	51,5	28,7
Río Calderas	4656	1900	279,3	62,6	14,5	48,7	24,7
Quebrada Jaguas	3565,6	1150	599,8	159,7	33,5	106,6	33,5
Quebrada Juanes	4605,5	750	354,7	85,4	18	64,65	20,2

*Datos promedio 1984 – 1987 (Himat)

Tabla 7. Características generales y tasas de meteorización química para la cuenca Glendye en Escocia, localizada sobre granitos y neises (Reid et al, 1981) y para la cuenca Narrator en Inglaterra, localizada sobre granitos (Williams, 1983).

Cuenca	Precipitación (mm/año)	Altura m.s.n.m	Sílice	Ca	Mg	Na	K
			kg/ha/año				
Glendye	1375	542	82,4*	17	5	9	2,9
Narrator	1628	234	92,5	11,4	2,3	6,7	3,1

* En Williams (1983)

tos en rocas del Batolito Antioqueño. Para estas rocas, el orden en que decrecen las tasas de meteorización en las cuatro cuencas es: Sílice > Ca > Na > K > Mg; en tanto que el orden para la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es: Sílice > Ca > Na > Mg > K. Así, estas dos regiones se diferencian en las tasas de meteorización del K y del Mg; en la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel la tasa de meteorización del Mg es superior del K.

El orden en que decrecen las tasas de meteorización de la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es similar al encontrado por Reid et al. (1981) para la cuenca Glendye (Tabla 7), que está subyacida principalmente por granito (74%) y neis (26%).

Las tasas de meteorización química derivadas con base en sílice, Ca, Mg, Na y K en Glendye corresponden aproximadamente al 28, 68, 66, 87 y 60%, respectivamente, con relación a las tasas registradas para estos mismos elementos en la zona de Reserva Ecológica del Alto San Miguel. Así, se encuentra que la tasa de meteorización química para esquistos determinada en la zona de Reserva está relativamente más cercana a la tasa a la que se meteorizan granitos y neises en Escocia, que a la tasa a la que se meteorizan dioritas y granodioritas en el Oriente Antioqueño.

Movilidad relativa

Con base en la fórmula de Feth et al. (1964) se puede calcular la movilidad relativa de un elemento por medio de la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{Tm}{Pr} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

donde:

Mr: Movilidad relativa de un elemento i.

Tm: Tasa de meteorización para el elemento i (en kg/ha/año).

Pr: Porcentaje del elemento i en la roca fresca.

Al aplicar la Ecuación 6, el orden de movilidad relativa para los principales sólidos disueltos en la zona de

Reserva Ecológica en el Alto San Miguel es: Ca > Mg > Sílice > Na > K, mientras que en Glendye, Narrator y en las cuatro cuencas sobre Batolito Antioqueño, el orden de movilidad es:

Glendye	Ca	>	Mg	>	Na	>	Sílice	>	K
Narrator	Ca	>	Na	>	Mg	>	Sílice	>	K
R. Calderas	Na	>	K	>	Ca	>	Sílice	>	Mg
R. Tafetanes	Na	>	K	>	Ca	>	Sílice	>	Mg
R. Jaguas	Na	>	Ca	>	K	>	Sílice	>	Mg
R. Juanes	Na	>	Ca	>	K	>	Sílice	>	Mg

De manera similar a lo observado para las tasas de meteorización, el orden de movilidad relativa encontrado para la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es más semejante al orden para la cuenca Glendye (Escocia) que para las otras cuencas.

Conclusiones

Los suelos en la cuenca alta del río Medellín aparentemente no tienen la capacidad de suministrar los nutrientes que necesita la biomasa para su desarrollo, lo que causa que se presente en la zona de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel un proceso de reciclaje de nutrientes similar al que ocurre en los suelos de la cuenca inferior del Amazonas.

Los registros de pH obtenidos en el presente estudio parecen confirmar la hipótesis según la cual sobre el Alto de San Miguel circulan, a intervalos de tiempo variables, masas de aire contaminadas procedentes del Valle de Aburrá.

Las concentraciones de los principales sólidos disueltos estudiados en la cuenca alta del río Medellín permanecieron prácticamente uniformes durante el período de muestreo, lo que parece indicar que esta cuenca está autoequilibrada, es decir, que las concentraciones no pre-

sentan disminución ni aumento significativos con las variaciones en el caudal.

Las aguas del río Medellín en la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel son alcalinas, la sílice es el sólido disuelto más abundante; los cationes están dominados por el calcio y los aniones por el bicarbonato. Estos resultados son similares a los encontrados para la mayoría de aguas dulces del mundo.

La carga catiónica del agua del río Medellín, comparada con la composición de las rocas de la cuenca, está enriquecida en Na^+ con respecto a K^+ y en Ca^+ con respecto a Mg^{2+} .

Aparentemente la tasa de erosión de los productos solubles de la meteorización química en el Alto de San Miguel está limitada por la velocidad de generación de dichos productos.

En el balance geoquímico se observó que es mayor la cantidad de solutos que salen del área de estudio en la escorrentía que la cantidad de solutos que entraron originalmente en la lluvia. Así, se estimó que la escorrentía aporta el 88% de los principales sólidos disueltos que salen de la cuenca (H_2CO_3 , SiO_2 , Ca^{+2} , Na^+ , Mg^{+2} , K^+). Esto parece indicar que la meteorización de la roca parental origina la mayor parte de los iones disueltos.

La sumatoria total promedio de cationes en las aguas del río Medellín, zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, es inferior a los promedios mundiales. Por su parte, al comparar los porcentajes en que se encuentran los cationes principales en las aguas del río Medellín, después de realizada la corrección por el aporte atmosférico, con los porcentajes promedios obtenidos a escala mundial para ríos que drenan rocas plutónicas y metamórficas, se observa que el porcentaje de K en la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es similar, que los porcentajes de Ca y Na se reducen y que el porcentaje de Mg se duplica.

La tasa de remoción de bicarbonato para la zona de estudio es de ~158 kg/ha/año, la de la sílice es de ~138 kg/ha/año y la de los cationes mayores es de ~48 kg/ha/año. Estas tasas se acercan más a las obtenidas para la meteorización química de granitos y neises en Escocia que a las obtenidas para granodioritas y cuarzdioritas en el Oriente Antioqueño.

El orden de movilidad relativa para los principales sólidos disueltos en la zona de Reserva Ecológica del Alto de San Miguel es: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Sílice} > \text{Na} > \text{K}$, y es similar al orden encontrado en la cuenca Glendye (Escocia).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Colciencias, Instituto Mi Río y Universidad EAFIT por patrocinar esta investigación. Igualmente a CORNARE, y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Aguilar, E. & Loaiza, J.**, 2001. Monitoreo de los Procesos Geomorfológicos y Estudio del Balance Hidrológico y Geoquímico en el Área de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, Municipio de Caldas, Departamento de Antioquia. Informe interno: Edafología, Universidad EAFIT, Medellín, 27p.
- APHA, AWWA & WPCF**, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater (16th edition). Port City Press, Baltimore, 1268p.
- Cadavid, N; Arroyave, R; Herrán, J; Medina, J; Ossa, C; Saldarriaga, G & Valencia, G.**, 2000. Caracterización Físicoquímica de la Precipitación en el Centro de Antioquia. Informe Final. CORANTIOQUIA – Universidad EAFIT, Medellín, 41p.
- Cleaves, E; Godfrey, A. & Bricker, O.**, 1970. Geochemical balance of a small watershed and its geomorphic implications. Geological Society of American Bulletin, **81**: 3015-3032.
- Drever, J.**, 1997. The Geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, 436p.
- Drever, J. & Clow, D.**, 1995. Weathering rates in catchment. In A. White and S. Brantley (Eds.), Chemical weathering rates of silicate minerals. Mineralogical Society of America, Washington, p 463-483.
- Espinal, S.**, 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección Agrológica. Bogotá D.E. **23** (11): 238p.
- Feth, J; Robertson, C. & Poltzer, W.**, 1964. Sources of mineral constituents in waters from granitic rocks, Sierra Nevada, California and Nevada: U.S.G.S Water Supply Paper 1535 – I, 70p.
- Geale, B. & Hermelin, M.**, 1988. Influencia de la meteorización química en la composición de las aguas superficiales del Batolito Antioqueño. En J. Valdiri, (Ed.), II Simposio Colombiano de Hidrogeología. Memorias. Bogotá, p 129-150.
- Geale, B. & Hermelin, M.**, 1991. Meteorización química del Batolito Antioqueño en la zona de San Carlos, Departamento de Antioquia. Universidad EAFIT. Departamento de Geología. Medellín, 121p.
- Hem, J.**, 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (3rd Edition). U.S.G.S. Water Supply Paper 2254.
- Hornung, M; Adamson, J; Reynolds, B. & Stevens, P.**, 1986. Influence of mineral weathering and catchment hydrology on drainage

- water chemistry in three upland sites in England and Wales. *Journal of the Geological Society, London*, **143**: 627 - 634.
- IDEAM**. Registros pluviométricos Estación La Salada (Caldas, Antioquia), 1983-2001.
- IGAC**, 1979. Suelos del Departamento de Antioquia. Subdirección agrícola, Bogotá, 1557p.
- Langmuir, D.**, 1997. *Aqueous environmental geochemistry*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 600p.
- Livingston, D. A.**, 1963. Chemical composition of rivers and lakes, data of geochemistry (6th edition): U.S. Geol. Survey Professional. Paper – 440 - G, P. G1 – G64.
- Meybeck, M.**, 1986. Composition chimique naturelle des eaux courantes françaises: Strasbourg. *Sci. Géol. Bull.*, **39**: 3-77.
- Meybeck, M.**, 1987. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *American Journal of Science*, **287**: 401-428.
- Montoya, M.**, 2001. Monitoreo de los procesos geomorfológicos y estudio del balance hidrológico y geoquímico en el área de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, Municipio de Caldas, Departamento de Antioquia. Informe interno: Algunos aspectos sobre la cobertura y la vegetación de la Reserva Alto de San Miguel, Universidad EAFIT, Medellín, 8p.
- Noreña, J. & Patiño, J.**, 1984. Estudio de las rocas metamórficas en la parte sur del municipio de Caldas – Antioquia. Trabajo de grado ingeniería de geología, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 154p.
- Reid, J; Macleod, D. & Cresser, M.**, 1981. The assessment of chemical weathering rates within an upland catchment in North-East Scotland. *Earth Surface Processes and Landforms*, **6**: 447-457.
- Restrepo, J; Toussaint, J; González, H. & Linares, E.**, 1981. Datación de metasedimentos del grupo Ayurá – Montebello. *Boletín de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*, Nos. 5-6, p 33 - 37.
- Reynolds, B; Hornung, M. & Stevens, P.**, 1987. Solute budgets and denudation rate estimates for a Mid – Wales catchment. *CATENA*, **14** (1 y 2): 13 - 23.
- Stallard, R. & Edmond, J.**, 1983. Geochemistry of the Amazon. 2. The influence of the geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*, **88** (C14): 9671-9688.
- Strahler, A.**, 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Trans.* **38** (69): 913-920.
- Williams, A.** 1983. Solute pathways in the Narrator catchment, Dartmoor. Ph.D. Thesis. Department of Geographical Sciences, Plymouth Polytechnic, England, 374p.

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL Y TALLAS DE LAS LARVAS DE TRES ESPECIES DE LUTJÁNIDOS EN EL ÁREA NORTE DEL CARIBE COLOMBIANO

por

María Isabel Criales-Hernández¹, Édgar Arteaga² & Luis Manjarrés

Resumen

Criales-Hernández M., E. Arteaga & L. Manjarrés: Distribución espacio-temporal y tallas de las larvas de tres especies de lutjánidos en el área norte del Caribe colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 85-91. 2003. ISSN 0370-3908.

A partir de los datos obtenidos de la longitud estándar (LS) de 190 larvas de la familia Lutjanidae, se trató de hacer una aproximación de la localización de los sitios de desove, observando la distribución de las larvas, las cuales presentaron aglomeración entre Dibulla y Manaure en el nororiente del Caribe colombiano. También se lograron establecer tres picos de desove en los meses de julio, octubre y mayo cuando concurren las larvas de las tallas de tamaño menor entre 2.26 y 4.36 mm de L.S. Por último, del total de larvas encontradas en esta familia se pudieron identificar tres especies (*Lutjanus synagris*, *L. analis* y *Rhomboplites aurorubens*).

Palabras clave: Lutjanidae, distribución larval, ictioplancton, desoves, Caribe colombiano.

Abstract

Distribution and sizes of larvae are described and analyzed based on information obtained from the standard length (S.L) of 190 identified larvae of the fish family Lutjanidae. An approach to the localization of the spawning places was made, observing the distribution of the larvae, which presented agglomeration between Dibulla and Manaure in the northwest Colombian Caribbean. It was also possible to establish three spawning peaks in the months of July, October and May, when

¹ Inpa Colombia. Cra. 8 No. 26B-39 Santa Marta. Fax: 5(54) 4212721. maicry@lycos.com

² propargos@celcaribe.net.co

the smaller larvae were present (size between 2.26 and 4.36 mm S.L.). We could identify three species, *Lutjanus synagris*, *Lutjanus analis* and *Rhomboplites aurorubens*, between all the lutjanid larvae found.

Key words: Lutjanidae, larval distribution, ichthyoplankton, spawning, Colombian Caribbean.

Introducción

El análisis de las condiciones larvarias es de gran utilidad para entender los mecanismos que controlan el agrupamiento de las especies, en el presente caso, las de la familia Lutjanidae en el área norte del Caribe colombiano. Los peces marinos generalmente tienen una mortalidad alta durante sus estadios tempranos de desarrollo, lo cual afecta el tamaño de la población de los adultos (Lasker, 1981). Por eso es importante tener en cuenta el índice de declinación larval; este valor suministra una idea del potencial de biomasa que puede estarse agrupando de larvas a juveniles y estimar la cantidad de adultos que pueden estar disponibles ya que estos estimativos dan una idea de la nueva cohorte (García-Borbón *et al.*, 1993).

Los estados larvales de los lutjánidos son extremadamente similares, por lo cual es difícil distinguir las especies y se complica aún más en los estadios más tempranos de desarrollo. A pesar de ello se han hecho descripciones completas de algunas especies como *Rhomboplites aurorubens*, *Lutjanus campechanus*, *L. chrysurus*, *L. griseus*, *L. synagris* y *L. analis* (Clarke *et al.*, 1997). Esta información es la base para la identificación de las larvas recolectadas en el campo.

Hasta la fecha, la información disponible sobre las larvas de esta familia en el área se limita a la proveniente de los cruceros efectuados, con frecuencia semestral, por el programa de pesca INPA-VECEP entre 1997 y 1998; estos cruceros permitieron mostrar la ubicación de sitios de desarrollo larval de la familia Lutjanidae en el norte del Caribe colombiano, estableciendo registros iniciales de abundancias en sus primeros estadios de desarrollo. (Arteaga & Criales-Hernández, 2001)

El presente estudio utilizó las muestras recolectadas en campo durante los cruceros INPA-COLCIENCIAS/LUTJA efectuados entre junio de 2000 y junio de 2001. Los análisis de las muestras suministraron información referente a la distribución de tallas y estadios de desarrollo de las larvas de lutjánidos en el área norte del Caribe colombiano. El objetivo de este trabajo fue el de complementar la información relativa a estadios larvales de la familia Lutjanidae, suministrando las descripciones morfo-

métricas y determinando los sitios donde se encuentran las larvas de *Lutjanus analis*, *L. synagris* y *Rhomboplites aurorubens* en el área nororiental del Caribe colombiano, información que puede estar disponible para el desarrollo pesquero y sirve como base para apoyar las medidas de ordenamiento de este recurso en el área.

Material y métodos

El área de estudio se extendió desde el nororiente de Santa Marta en el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) hasta el noroccidente de Manaure (entre los meridianos 72° 41' y 74° 06' W) en la franja comprendida entre las 6 y las 18 mn de la línea de costa (Figura 1).

La estacionalidad climática del sector se encuentra bajo la influencia de la circulación atmosférica de los vientos alisios y el desplazamiento norte-sur de la zona de convergencia intertropical (Pujos *et al.*, 1986). En general, se presentan cuatro estaciones a lo largo del año: una época seca mayor (SMY) entre diciembre y abril, en la cual la frecuencia y velocidad de los vientos alisios del noreste son notables y en la que aparecen condiciones de surgencia frente a los departamentos del Magdalena y La Guajira, seguida por la época húmeda menor (HMN) en los meses mayo-junio y seca menor (SMN) en julio-agosto, respectivamente; por último, la época húmeda mayor (HMY), que va de septiembre a noviembre, con predominio de vientos dirección sur-sureste, que actúan con el debilitamiento de los alisios (Blanco, 1988; Bula-Meyer, 1990).

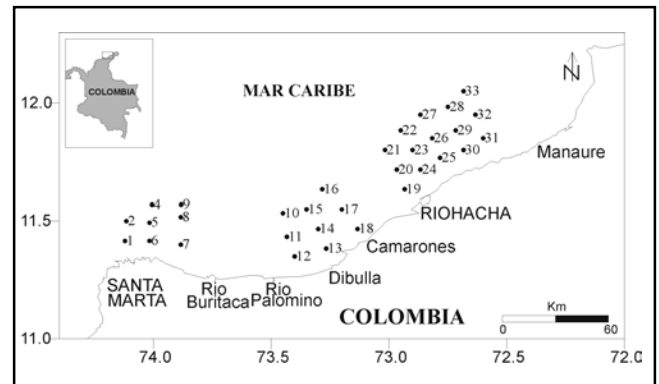


Figura 1. Estaciones de muestreo utilizadas durante las campañas INPA-COLCIENCIAS/LUTJA durante el período 2000-2001.

La masa de agua del área de estudio es afectada por dos tipos de corrientes estacionales: las superficiales y la ascensional. Entre las primeras se destacan la corriente Caribe con dirección este-oeste, cuando los vientos alisios y la surgencia están presentes, y la contracorriente Colombia, con dirección oeste-este, presente durante las épocas húmedas, cuando los vientos alisios y la surgencia están débiles o ausentes. La segunda es la surgencia de aguas profundas de temperatura menor (21–24° C) y alta salinidad (36.5-37.2), cuya intensidad aumenta durante la época seca y tiende a desaparecer durante la época húmeda (Bula-Meyer, 1990).

Las estaciones fueron 30 en total, se ubicaron sobre una serie de líneas perpendiculares a la línea de costa, hasta las 18 mn y espaciadas 6 mn. Estas estaciones se distribuyeron en tres grupos así: 1) en la zona del PNNT región de Santa Marta, 2) en la zona de Palomino-Camarones y 3) en la zona de Manaure- Riohacha. La ubicación de las estaciones obedeció a una selección previa de las zonas de mayor concentración de larvas de lutjánidos, hecha con base en el análisis de las muestras recolectadas en las seis campañas de evaluación de recursos INPA/VECEP/UE efectuadas entre 1995 y 1998 (Vergara, 1997; Arteaga & Criales-Hernández, 2001).

Para la recolección de las muestras en cada estación se realizaron arrastres de tipo doble oblicuo, de acuerdo con la metodología de Smith & Richardson (1979), desde la superficie hasta los 100 m de profundidad o, en el caso de estaciones someras, a partir de un espacio de seguridad aproximado de 10 m sobre el fondo. En los arrastres se empleó una red tipo Bongo de 45 cm de diámetro, provista con dos mallas de 300 micras de poro y contadores de flujo mecánicos Hydrobios, para determinar el volumen de agua filtrada. El material biológico se fijó en agua de mar con formol al 10% neutralizado con tetraborato de sodio. En el laboratorio las larvas de interés se separaron, cuantificaron y almacenaron en formol neutralizado al 5%. La abundancia de larvas en cada estación fue estandarizada a número de individuos por cada 10 m², aplicando la metodología de Smith & Richardson (1979).

La identificación de las larvas de *Lutjanía synagris*, *L. analis* y *Rhomboplites aurorubens* se basó en los caracteres morfológicos expuestos por Laroche (1977), Romero (1989), Richards *et al.* (1994) y Clarke *et al.* (1997), para dichas especies. Adicionalmente, se efectuaron mediciones de la longitud estándar (LS) mediante un analizador de imágenes AXIOVISION de Carl Zeiss y se indican en milímetros, la cual es sinónimo de la longitud notocordal para las larvas en estadíos de preflexión y flexión. La abundancia y el porcentaje de captura se determinaron por rangos de talla para cada mes de muestreo y se calculó el coeficiente instantáneo de declinación de la abundancia con base en la distribución de frecuencias de LS, igual a la metodología empleada por García-Borbón *et al.* (1993).

Resultados

Un total de 190 larvas de lutjánidos, recolectadas durante el estudio, presentaron un rango de tallas entre 2.26–9.87 mm de longitud estándar, el mayor número de larvas 71.05% se encontró en el intervalo de tallas entre 2.46-3.66 mm que corresponden a estados iniciales de desarrollo (preflexión) (Figura 2). La distribución en las tallas de lutjánidos permitió estimar el coeficiente instantáneo de declinación larval de 0.853 con una sobrevivencia del 42%, como se observa en la figura 3. La distribución larval fue aglomerativa, sin embargo el sector comprendido entre Manaure y Camarones es el único que presenta larvas en todas las tallas. Se identificaron larvas de lutjánidos durante los once meses de muestreo, pero las capturas mayores estuvieron en los meses de julio (8 larvas), octubre (10), noviembre (10) y mayo (8), en su mayoría ejemplares con tallas inferiores a 4 mm.

En la identificación de especies se encontraron 16 larvas de *Lutjanía analis* durante los meses de julio, octubre, noviembre y mayo, catorce de *L. synagris* y cinco de *Rhomboplites aurorubens* en los meses de octubre, abril y mayo para estas dos especies (Tabla 1, Figura 5). *L. synagris* presentó abundancias entre 1.2 y 14.3 larvas/

Tabla 1. Resultados de la identificación de larvas de lutjánidos y los caracteres clave para la separación

Especie	Estadío	No. larvas capturadas	L.S (mm)		Presencia del gran melanóforo	No. de melanóforos postanales ventrales	Espinas preoperculares aserradas
			Mínimo	Máximo			
<i>L. analis</i>	Preflexión	16	3.3	2.5	Sí	15 - 18	No
<i>L. synagris</i>	Preflexión	14	3.0	2.2	Sí	18 - 20	No
<i>R. aurorubens</i>	Preflexión	2	5.8	4.8	No	2-3	Sí
	Flexión	1					
	Postflexión	2					

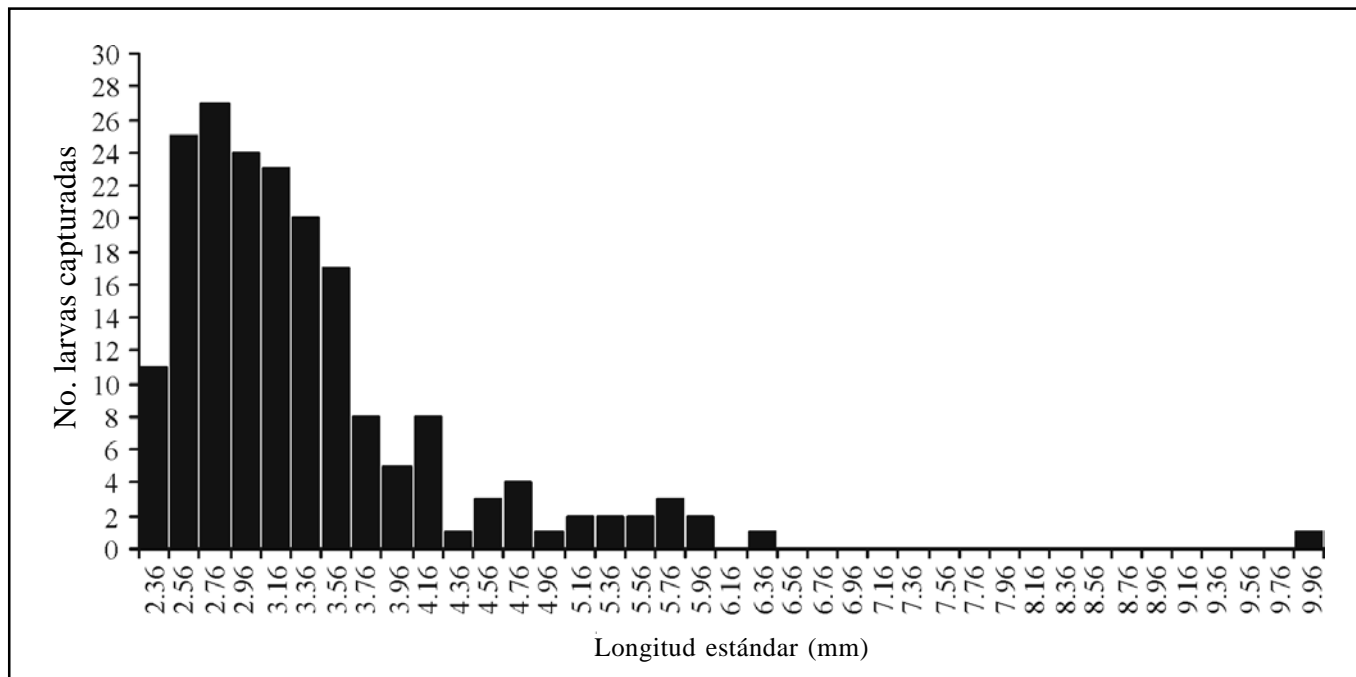


Figura 2. Variación de la longitud estándar (LS) en las larvas de la familia Lutjanidae durante el período 2000-2001.

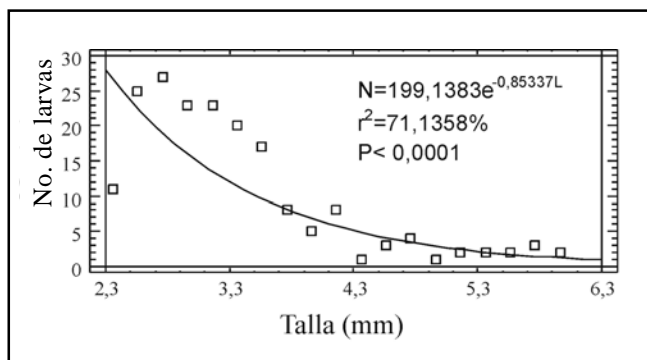


Figura 3. Línea de tendencia de declinación en el número de lutjánidos por marca de clase de longitud estándar.

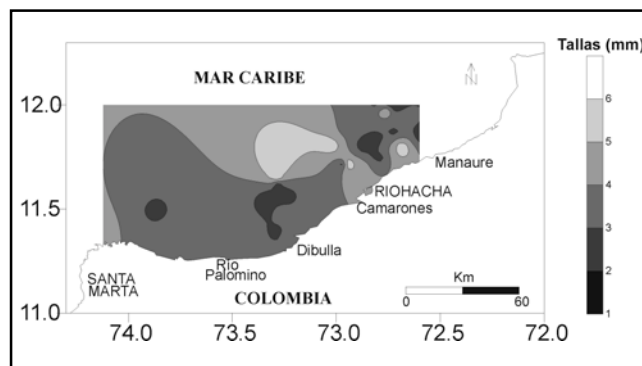


Figura 4. Distribución de frecuencia de tallas de larvas de lutjánidos en el período 2000-2001 (todos los cruceros combinados).

10m², *L. analis* registró abundancias entre 0.7 y 27.1 larvas/10m² y *R. aurorubens* de 6.2 y 22.4 larvas/10m² localizadas en el sector Riohacha-Manaure (Figura 6).

Discusión

Con respecto a la distribución de tallas observadas en las larvas de *Lutjanus synagris*, *L. analis* y *Rhomboplites aurorubens* de la familia Lutjanidae, durante el período de estudio, se encontró una presencia permanente en la captura de larvas menores de 4.00 mm de LS, sugiriendo la ocurrencia de desoves a lo largo de la mayor parte del

año; sin embargo, estas frecuencias fueron mayores durante los meses de mayo, julio y octubre. Este comportamiento coincide con lo descrito por **De Nogales (1974)** y **Erhardt & Meinel, (1977)**, donde los lutjánidos desovan todo el año y tienen picos en determinadas épocas del año en la región de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona.

En las larvas de *Lutjanus synagris* y *L. analis* los resultados reflejaron picos de desoves evidenciados por larvas de tamaños pequeños (menores a 4.4 mm de LS), durante los meses de mayo y octubre, con la diferencia de

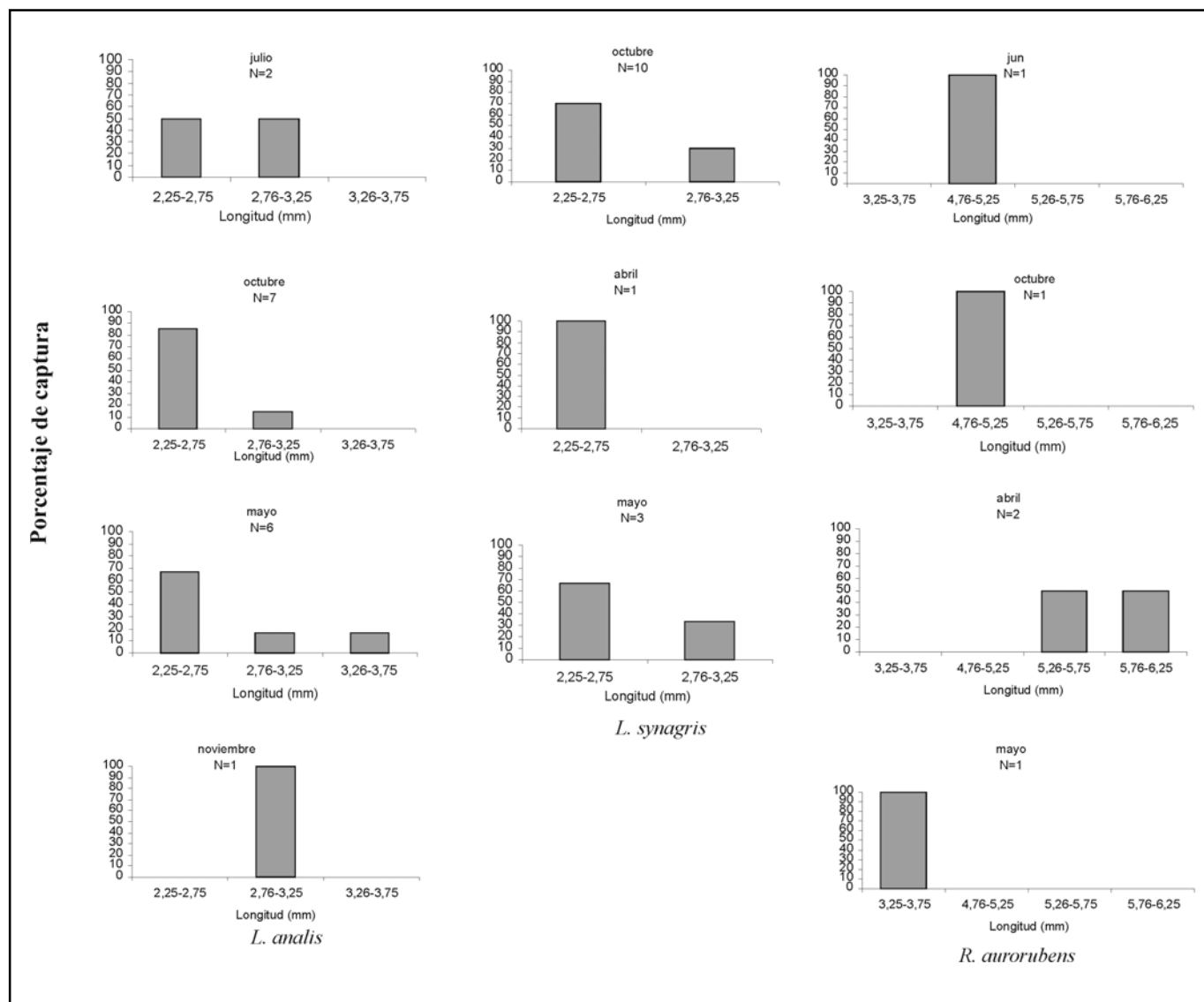


Figura 5. Variación del porcentaje de larvas capturadas de *L. synagris*, *L. analis* y *R. aurorubens* en el nororiente del Caribe colombiano. N= número de larvas.

que su presencia no es permanente a lo largo del año, presentándose en cuatro de los once meses de muestreo para el caso de *L. analis* y en tres de once en el caso de *L. synagris*. Estos resultados coinciden parcialmente con los de **Arévalo** (1996) quien observó desoves en los adultos de *L. analis* para los meses de octubre y noviembre. En cuanto a *L. synagris*, **Beese** (1972) encontró que los desoves ocurren entre enero y marzo, lo que explicaría la presencia de larvas de esta especie en abril, aunque con una abundancia larval muy baja (6.8 larvas/10m²), con respecto a los valores más altos que aparecieron en el mes de octubre (33.8 larvas/10m²).

El valor estimado de sobrevivencia fue del 42%. Estos análisis de crecimiento larval se hacen con base en la frecuencia de tallas y sirven para dar una estimación de la sobrevivencia larval, pero **Health** (1992) precisa que no se debe desconocer el error debido a la inmigración, emigración, mortalidad dependiente de la talla y selectividad de la talla por el tamaño del poro de malla. Por eso este resultado debe ser complementado con los estudios de análisis de madurez gonadal en los adultos para hacer una estimación más real de la sobrevivencia larval. Sin embargo, esto sugiere un punto de partida como primer registro para esta familia en el área de estudio y debe

continuar haciéndose para comparar la fluctuación de la abundancia larval en el sitio a fin de obtener resultados que permitan colaborar con las medidas de ordenamiento pesquero.

Como lo expone **Vergara (1997)**, las larvas de lutjánidos tienen una amplia distribución en el área norte del Caribe colombiano; el presente estudio lo confirmó en sus resultados; sin embargo, se observa una tendencia aglomerativa de las larvas en un 90% en la zona comprendida entre Manaure y Dibulla, como se observa en la figuras 4 y 6. **Allen (1985)** y **Leiss (1987)** coinciden en decir que las larvas del género *Lutjanus* son más comunes en aguas costeras de la plataforma; son raras, en cambio en

aguas oceánicas o sobre el talud, donde son reemplazadas por las de los géneros *Etelis* y *Pristipomoides*. Esto explicaría la escasez de larvas en las estaciones del PNNT que estaban localizadas fuera del área de las bahías y en la caída del talud. **Erhardt & Meinel (1977)** mencionan que los juveniles de *L. analis* son comunes en aguas de poca profundidad, lo que explicaría por qué la mayoría de las larvas se encontraron entre Manaure y Dibulla, donde la plataforma es amplia y somera.

En cuanto a la identificación de las especies se presentaron complicaciones con las larvas de *Lutjanus synagris* y *L. analis*, debido a las siguientes razones: 1) La gran mayoría de larvas obtenidas presentaron longitudes menores de 4 mm, por lo que muchas de las características diagnósticas, aún no se han manifestado, 2) Son muy pocas las especies de lutjánidos a las que se les conocen las características de su desarrollo larval, 3) No se debe desconocer el gran número de especies de lutjánidos registradas para esta área (**Acero et al., 1986; Acero, 1993**), lo que aumentaría la dificultad en la identificación debido a que los individuos muestran una gran similitud en sus características morfométricas y merísticas. Lo expuesto crea incertidumbre en cuanto al grado de certeza en la identificación de estas larvas; sin embargo, y de acuerdo con **Clarke et al. (1997)**, existen características que hacen posible distinguir las larvas de *L. synagris* y *L. analis* desde estadios muy tempranos (preflexión), tales como el número de melanóforos post-anales ventrales al pedúnculo caudal, y la presencia, entre éstos, de un melanóforo de gran tamaño. Para el presente trabajo se establecieron como larvas de *L. synagris* y *L. analis* aquellas que exhibían las características mencionadas, asumiendo que esos atributos no se presenten en las otras especies de lutjánidos, a las que aún no se les conocen los estadios larvales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los pescadores de las lanchas pargueras de Taganga por su colaboración durante el desarrollo de las campañas de ictioplancton, y a nuestros compañeros del Proyecto y de la oficina del INPA en Santa Marta, por su apoyo y colaboración durante el desarrollo del trabajo. Gracias al profesor Arturo Acero y a la Dra. Guerly Ávila por las correcciones al texto. Esta investigación fue posible mediante la financiación del INPA-COLCIENCIAS (Código 3135-09-550-98).

Bibliografía

Acero, A. 1993. Una nueva mirada a los peces comerciales del Caribe continental colombiano. An. Inst. Invest. Mar Punta Betín 22: 129-135.

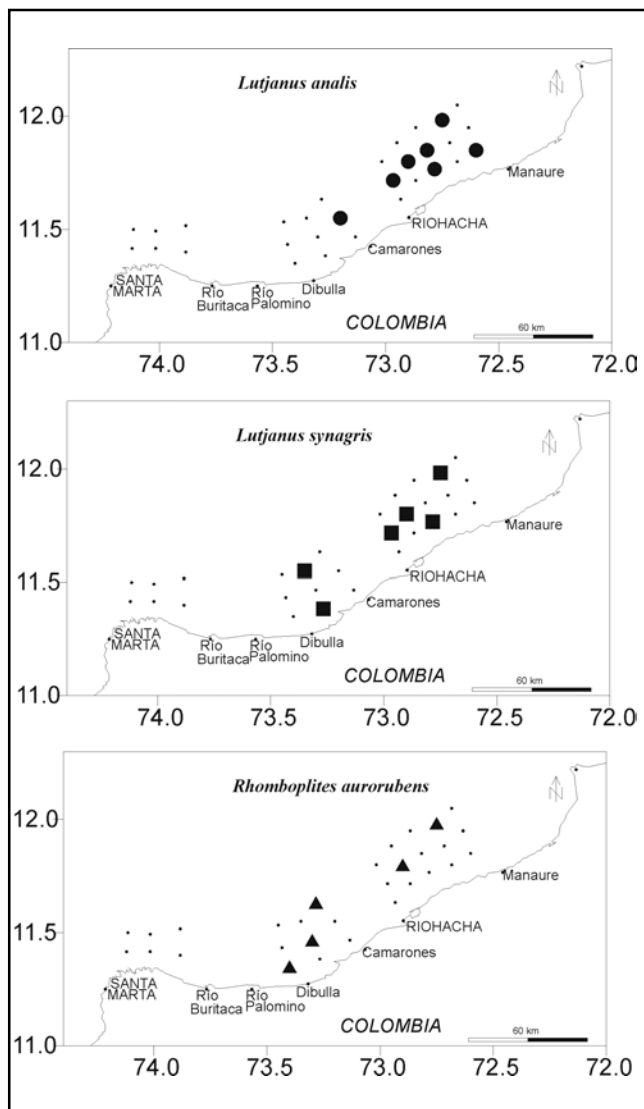


Figura 6. Distribución de las larvas de *L. synagris*, *L. analis* y *R. aurorubens* en el área de estudio durante el período 2000-2001

- Acero, A., R. Álvarez-León & J. Garzón.** 1986. Peces comerciales del Caribe colombiano, sin incluir los de las islas, cayos y bajos del Caribe occidental (Propuesta para la unificación de sus nombres vernaculares). Inf. Museo del Mar 31:15 p.
- Allen, G.R.** 1985. FAO species catalogue. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date FAO Fish. Synop. (125) Vol 6. 208 p.
- Arévalo, J.** 1996. Caracterización trófica y reproductiva de las poblaciones de *Lutjanus analis* (Cuvier, 1828) y *L. synagris* (Linnaeus, 1758) en el Parque Nacional Natural Tayrona (Caribe colombiano). Tesis de grado Univ. Jorge Tadeo Lozano. Bogotá 65 p.
- Arteaga E. & Criales-Hernández M.I.** 2001. Distribución y abundancia de larvas de la familia Lutjanidae, en el área norte del Caribe colombiano. En Resúmenes IX Colacmar San Andrés Isla sept. 16-20 2001. 398 p.
- Beese, G.** 1972. Results of trapfishery in the Ensenada de Chengue with special reference to *Lutjanus Synagris* and *L.analis*. Div. Pesq. Inderena 5(3):1-9
- Blanco, J.A.** 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis M.Sc. Univ. Nal. Colombia, Bogotá. 50 p.
- Bula-Meyer, G.** 1990. Oceanografía. En: Jimeno, M.J. (ed) Caribe colombiano. Fondo FEN Colombia. Bogotá: 100-114.
- Clarke, M. E., M. L. Domeier & W. A. Laroche.** 1997. Development of larvae and juveniles of the mutton snapper (*Lutjanus analis*), lane snapper (*Lutjanus synagris*), and yellowtail snapper (*Lutjanus chrysurus*). Bull. Mar. Sci, 61(3): 511-537.
- De Nogales, C.** 1974. Contribución al estudio biológico pesquero del pargo chino *Lutjanus synagris* en el Caribe colombiano. Tesis de grado Univ. Jorge Tadeo Lozano. Bogotá 58 p.
- Erhardt, W. & W. Meinel.** 1977 Beiträge zur Biologie von *Lutjanus analis* (Cuvier & Valenciennes, 1828) (Lutjanidae, Perciformes, Pisces) an der Kolumbianischen Atlantikküste. Inst. Revue ges. Hydrobiol. 62(1):161-171.
- García-Borbón, J.A., R.M. Olvera & J.L. Cerecedo.** 1993 Biomasa reproductora del Antonino (*Decapterus punctatus*) y distribución y abundancia larval de carángidos en la zona económica exclusiva mexicana del Golfo de México. Ciencia Pesquera (9): 73-87.
- Health, M.R.** 1992. Field investigations of the early life stages of marine fish. Vol. 28 Academic Press. Londres 133 p.
- Laroche, W.A.** 1977. Description of larval and early juvenile vermilion snapper, *Rhomboplites aurorubens*. Fish. Bull. 75(3): 547-554.
- Lasker, R.** 1981. Marine fish larvae. Morphology, ecology, and relation to fisheries. Washington Sea Grant Program.
- Leiss, J.M.** 1987 Reviv of the early life history of tropical groupers (Serranidae) and snappers (Lutjanidae). In: J.J. Polovina y S. Talston (ed). Tropical snappers an groupers: biology and fisheries management. Westview press, USA: 189-237.
- Pujos, M.; J. Pagliardini, R.; Steer, G.; G. Vernet & O. Weber.** 1986. Influencia de la contracorriente norte colombiana para la circulación de las aguas de la plataforma continental: su acción sobre la dispersión de los efluentes en suspensión del río Magdalena. Bol. Cient. CIOH (6): 3-15.
- Richards, W.J., K.C. Lindelman, J.L. Shultz, J.M. Leis, A. Ropke, M.E. Clarke & B.H. Comyns.** 1994. Preliminary guide to the identification of the early life history stages of Lutjanid fishes of the western central Atlantic. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFSC-345. 49 p.
- Romero, M.** 1989. Descripción de las larvas y los primeros estadios juveniles de la bíaiba *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) (Pisces, Lutjanidae). Rep. de Invest. Inst. Ocean. 1: (1-11)
- Smith, P. E. & S. L. Richardson.** 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Tec. Pesca. 175: 107 p.
- Vergara, A. R.** 1997. Distribución, abundancia y diversidad de larvas peces demersales comerciales en la zona nerítica frente al departamento de La Guajira, Caribe colombiano. Tesis M. Sc, Univ. Nal Colombia. Bogotá, 171 p.

DISPERSIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE LAS ESPECIES DE MANGLE DEL RÍO RANCHERÍA EN EL PERÍODO DE MÁXIMA FRUCTIFICACIÓN

por

Luisa Fernanda Lema Vélez¹, Jaime Polanía², Ligia Estela Urrego Giraldo³

Resumen

Lema LF., J. Polanía & LE. Urrego: Dispersión y establecimiento de las especies de mangle del río Ranchería en el período de máxima fructificación. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 93-103. 2003. ISSN 0370-3908.

A partir de propágulos marcados se estudiaron los patrones de dispersión y establecimiento de las tres especies dominantes en los manglares del delta del río Ranchería, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa*. Estos manglares son bosques de porte bajo inmersos en una matriz de Bosque Seco Subtropical, Bosque Espinoso Subtropical y el casco urbano del municipio de Riohacha. Se encontraron relaciones significativas entre el número de propágulos anclados por especie, el tiempo, la distancia al sitio de liberación y los sitios de anclaje finales. Los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* salieron del ecosistema antes de transcurridas dos semanas, mientras que una proporción de *R. mangle* permaneció y logró establecerse durante los dos meses del estudio. El pastoreo de ganado caprino afectó la germinación de los propágulos, especialmente de *A. germinans* y *L. racemosa*. Los procesos de predación contradijeron el modelo dominancia-predación. El 30% de los propágulos de *A. germinans* fueron consumidos en el árbol por larvas de la familia Pyralidae. Las plantas de *Batis maritima* son estructuras efectivas para retener propágulos y los de *R. mangle* permanecieron en mayor número y durante más tiempo en el ecosistema.

Palabras clave: *Batis maritima*, *Pyralidae*, dispersión, germinación, establecimiento, depredación, mangle.

¹ Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

² Universidad Nacional de Colombia Sede San Andrés. Carretera Circunvalar de San Luis Free Town 52-44, San Andrés Isla, Colombia. jhpolanv@dnic.unal.edu.co Tel. & fax: 57-8-5133310.

³ Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Apartado 568.

Abstract

Dispersion and establishment patterns of *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, and *Laguncularia racemosa*, at the Ranchería river were studied using marked propagules. These mangroves are small, and surrounded by subtropical dry forest, subtropical thorn forest and the city of Riohacha. Significant relationships were found between the number of propagules retained and species, time, distance to release site, and retention structure. *Avicennia germinans* and *L. racemosa* propagules left the ecosystem within two weeks while a portion of *R. mangle* propagules remained during the two months study and were able to settle. Goat predation affected mainly the propagules, especially of *A. germinans* and *L. racemosa*. Predation did not follow the current dominance-predation model. A pre-dispersion consumption of 30% of *A. germinans* propagules by Pyralidae larvae was also documented. *Batis maritima* plants were the most effective structures that retain propagules of the three species and *R. mangle* propagules remained in greater quantities and for longer periods in the ecosystem.

Key words: *Batis maritima*, Pyralidae, dispersion, germination, recruitment, predation, mangrove.

Introducción

Los manglares representan el borde marítimo entre las comunidades terrestres y las praderas de pastos marinos y los arrecifes coralinos, motivo por el cual estarán entre los primeros ecosistemas en experimentar el cambio en el nivel del mar predicho bajo escenarios de cambio climático global (Davis *et al.* 1994). La comprensión de la ecología de las especies que conforman el ecosistema de manglar, además de proporcionar información útil para eventuales acciones de restauración, como las que han sido propuestas en años recientes (Ensminger 1997; Elster 1998) puede ser un aporte fundamental para hacer pronósticos relacionados con el incremento en el nivel del mar. Numerosos trabajos han abordado el tema de la dispersión y la regeneración de las especies de mangle y los factores que las afectan en Australia (Clarke 1993; McGuinness 1997), Nueva Zelanda (Osunkoya y Creese 1997), Kenya (Dahdouh-Guebas *et al.* 1998), Belice (Farnsworth y Ellison 1993; McKee 1995a, 1995b) y otros lugares del mundo (Smith, 1987; Smith *et al.* 1989; Robertson *et al.* 1990; Patterson *et al.* 1997). Todos ellos, de alguna manera, han seguido el marco de los resultados clásicos de Rabinowitz (1978a, 1978b, 1978c) en Panamá sobre propiedades de dispersión, mortalidad y crecimiento temprano de propágulos y plántulas de mangle y la comunidad ha llegado a un cierto consenso en cuanto a que se requieren estudios detallados para explicar cómo interaccionan los factores abióticos y bióticos para estructurar las comunidades del manglar.

En Colombia, las necesidades de recuperación de la Ciénaga Grande de Santa Marta han motivado las investigaciones de Ensminger (1997) y Elster (1998) sobre po-

sibilidades de regeneración y de Schubert (1998), que incluyó la dispersión de propágulos y su importancia para el proceso de rehabilitación del sistema. En la península de La Guajira se considera urgente determinar la calidad del ambiente y proponer medidas de gestión para los recursos naturales donde las condiciones climáticas son extremas (Contraloría, 1997; Sánchez-Páez *et al.* 1997), particularmente en su capital, Riohacha, donde el manglar representa un auténtico patrimonio paisajístico y biológico (Contraloría, 1997). Por ello Lema (2000) efectuó el estudio de la dispersión de las especies de mangle en un sector del delta del río Ranchería y encontró que hay mayor fructificación en época de lluvias, pero la mayoría de los propágulos se pierden después de su liberación, mientras que Díaz (2001) halló que la insolación y las lluvias son factores importantes para la regeneración y que las densidades de las plántulas son mayores bajo los árboles más desarrollados y en mejor estado fitosanitario.

En este estudio se reproducen los patrones y mecanismos de dispersión y establecimiento de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* y *Laguncularia racemosa* y de los factores que pueden influir sobre ellos en el Valle de los Cangrejos, delta del río Ranchería; se establecen relaciones entre la morfología de los propágulos, los sitios de anclaje, el tiempo requerido para el mismo, así como la influencia del nivel del agua y la dirección de la corriente sobre el lugar de anclaje, como aporte para el conocimiento del ecosistema y posibles actividades de recuperación.

Área de estudio

El delta del río Ranchería se ubica a 72°50' long. Oeste y 11°30' lat. Norte (fig. 1). La planicie deltaica se en-

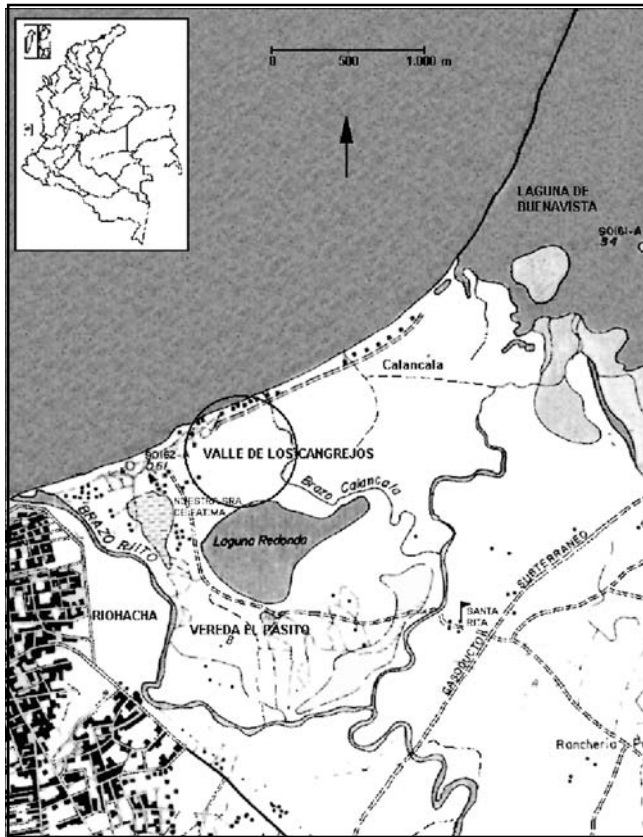


Figura 1. Delta del río Ranchería. El círculo señala el sitio donde se realizaron los ensayos (tomado de la Cartas IGAC 83-A y 83-B, 1994, escala aproximada 1:28700).

cuenta en una transición entre las zonas de vida bs-ST y me-ST, según la clasificación de Holdridge, posee una precipitación media anual de 554 mm con distribución bimodal y un pico máximo entre septiembre y octubre; la temperatura media anual es 27°C, con el período más cálido entre junio y agosto; la humedad relativa media anual es del 73% y la evaporación media de 2.293 mm a⁻¹ (HIMAT, 1994).

La descripción del bosque aparece detallada en Vásquez (2000), mientras que en el área inundable externa al manglar se encuentran abundantemente *Elaeocalis acutangula* (Cyperaceae) y *Leptochloa cf. uninervia* (Poaceae).

Métodos

Prueba de viabilidad - Antes de las pruebas de campo definitivas, para determinar el posible efecto de la pintura sobre la flotabilidad y viabilidad natural de los propágulos, se emplearon 60 propágulos de cada especie,

30 pintados y 30 sin pintar, que fueron inmersos o irrigados, según fuese el caso, con solución salina a 10%. Para *A. germinans* la prueba se realizó con propágulos pintados sobre los cotiledones, cuyo pericarpio había sido removido, contra un control con pericarpio y sin pintar.

Dispersión - Las pruebas de campo se realizaron entre octubre y noviembre de 1999, cuando la precipitación y fructificación en el área son máximas (Ángel 2001). En el área de inundación periódica del delta se liberaron en la corriente, sobre el límite continental del manglar, 400 propágulos de cada una de las tres especies, marcados con pintura aerosol fosforescente, en dos pruebas con 200 propágulos cada una. La posición de los propágulos liberados fue registrada diariamente durante diez días y luego semanalmente, hasta que el número permaneció constante durante cuatro semanas consecutivas. Los sitios de anclaje, la dirección de la corriente, la salinidad, el nivel del agua, marcas de depredación y el establecimiento de plántulas fueron registrados, así como la germinación de propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* (la de *R. mangle* no fue registrada con el fin de no afectar su anclaje).

Establecimiento - Se sembraron 400 propágulos marcados con pintura aerosol fosforescente de cada especie bajo el dosel del manglar y otros 400 en un sitio desnudo, en dos pruebas con 200 propágulos cada una. Los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* se colocaron sobre el suelo, mientras que los de *R. mangle* fueron sembrados enterrando sus hipocótilos aproximadamente 3 cm en el suelo. Diariamente se registró la germinación o pérdida de propágulos durante los primeros diez días y luego semanalmente hasta cuando todos germinaron o se perdieron por depredación o desplazamiento. En los sitios de siembra se determinó la textura del suelo y, semanalmente, el nivel y salinidad del agua y la temperatura y salinidad del suelo.

En total se emplearon 1.200 propágulos maduros de cada especie, que se tomaron directamente de los árboles; aquellos perforados o picoteados se separaron y contaron. Sólo los propágulos en buen estado se pintaron con aerosol fosforescente, con el fin de distinguir la muestra de los demás propágulos del área y facilitar su hallazgo. En el caso de *A. germinans* fue necesario remover el pericarpio antes de aplicar la pintura para que ésta se conservara el tiempo suficiente.

Se consideraron establecidos los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa*, cuyos cotiledones y primordios foliares estuvieran erguidos, soportados sobre las raíces emergidas. Se contabilizaron como plántulas las que pre-

sentaban expansión cotiledonar. En el caso de *R. mangle* los propágulos establecidos y con expansión foliar fueron rotulados como plántulas.

Correlaciones - Las diferencias en el comportamiento de los propágulos pintados y sin pintar se corrigieron empleando regresión simple. Las interdependencias entre la distancia recorrida, el día a partir del lanzamiento y la especie se determinaron a partir de un análisis de varianza de tres vías. Todas las pruebas estadísticas se realizaron con Statgraphics Plus para Windows 3.0™.

Resultados y discusión

Efecto de la pintura - La pintura aerosol fosforescente no alteró la flotabilidad de los propágulos de *Rhizophora mangle*, redujo la de los de *Avicennia germinans* y aumentó la de los de *Laguncularia racemosa*. El porcentaje de propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* que mantienen su flotación tras la aplicación de pintura y aquellos que no recibieron pintura resultaron significativamente diferentes (nivel de confianza del 95%) en pruebas pareadas para media, mediana y rango (fig. 2). Los propágulos de *R. mangle* con y sin pintura tuvieron un comportamiento idéntico durante los 30 días de la prueba.

Es posible que la pérdida de la flotabilidad de los propágulos de *A. germinans* se deba a la remoción del pericarpio y a la aplicación de pintura directamente sobre los cotiledones, al aumentar la densidad del conjunto. Un efecto inverso se observa en *L. racemosa*, que posee un pericarpio lignificado (inerte) esponjoso, al cual debe su flotabilidad,

por lo cual parece que la pintura impermeabiliza el propágulo y prolonga así su permanencia en superficie. La falta de diferencias en el comportamiento de los propágulos de *R. mangle* puede deberse a su prolongado período natural de flotabilidad, hasta de más de 100 días según **Rabinowitz** (1978a), o a que el tejido del hipocótilo, sobre el cual cae la pintura, es bastante lignificado.

La germinación fue ligeramente más rápida en propágulos pintados de *A. germinans* y *R. mangle* y más lenta en propágulos de *L. racemosa*, sin que se notaran diferencias significativas en el tiempo de máxima tasa de germinación (fig. 3).

Rabinowitz (1978a) hizo pruebas semejantes de flotabilidad, germinación y supervivencia con propágulos de *L. racemosa* y *A. germinans* en Panamá y encontró efectos significativos en el anclaje de la primera, pero no en la segunda. Sin embargo, se da a entender que la pintura fue aplicada sobre el pericarpio (el cual se pierde rápidamente) y no sobre los cotiledones. También observó que el 100% de propágulos de *A. germinans* permanecían flotando durante 82 días de prueba (**Rabinowitz** 1978a), mientras que en el presente estudio la flotabilidad nunca alcanzó tal valor, ni siquiera en los primeros días. La mediana de flotación de **Rabinowitz** (1978a) para *L. racemosa* fue de 31 días, mientras que aquí en 33 días de prueba no se alcanzó a obtener la mediana y en el día 31 la flotabilidad fue del 62% en propágulos pintados y de 76% en los no pintados. Los períodos de flotabilidad para *R. mangle* obtenidos en este estudio no difieren de los observados en Panamá.

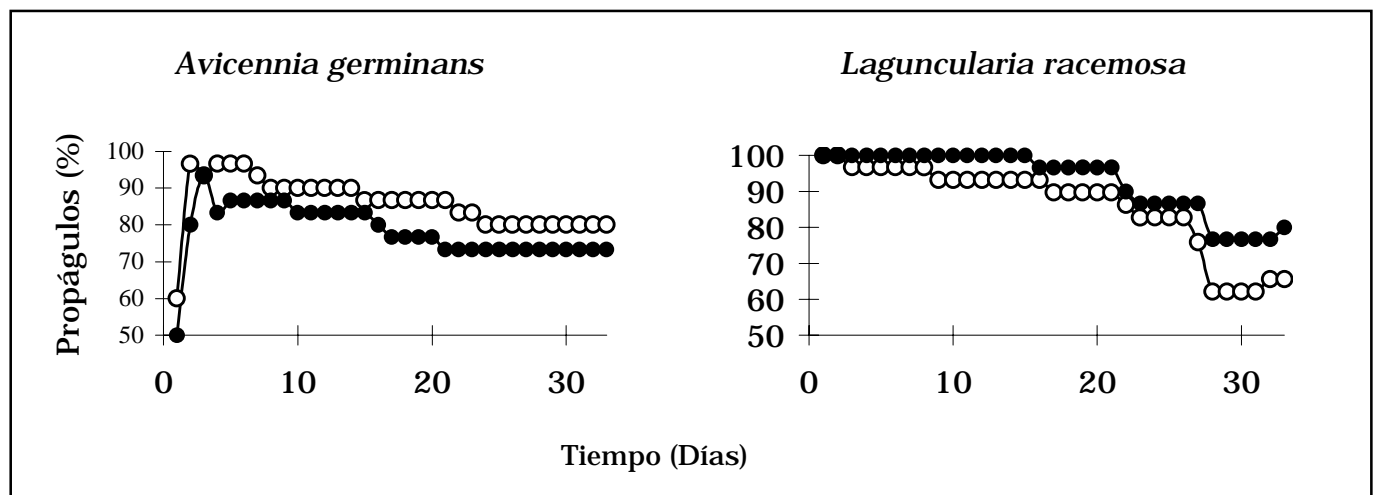


Figura 2. Porcentaje de propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* que flotaron en el tiempo (en días) en las pruebas de efecto de pintura. Los puntos llenos representan los propágulos pintados y los vacíos los propágulos sin pintar.

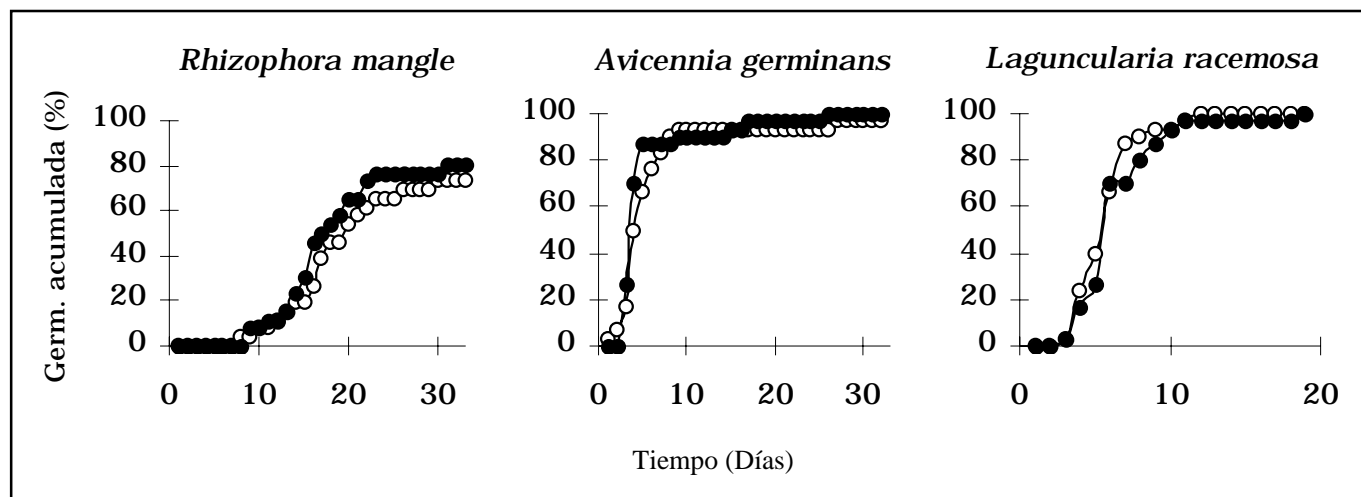


Figura 3. Porcentaje de germinación acumulada para tres especies de mangle vs. tiempo (en días) en las pruebas de efecto de pintura. Los puntos llenos representan los propágulos pintados y los vacíos los propágulos sin pintar.

Como estas pruebas se realizaron en condiciones controladas, debe advertirse que los valores aquí obtenidos no representan lo que sucede en campo. En consecuencia, la dispersión de *R. mangle* se procesó directamente, mientras que los datos de las demás especies fueron modificados de acuerdo con las regresiones lineales mostradas en la tabla 1.

Retención - El 92% de los propágulos fue retenido en masas de *Batis maritima*, que se constituyó en el principal sitio de anclaje, superando notoriamente a ramas y neumatóforos (fig. 4). Así mismo, *B. maritima* posee características que favorecen la permanencia por más tiempo de los propágulos y en dichas masas se establecieron los dos únicos propágulos que enraizaron (de *R. mangle*).

Se observó que los árboles pequeños del área siempre crecen en medio de praderas de *B. maritima*, lo cual sugiere un papel de especie nodriza (que protege del sol, pérdida de agua y alto calentamiento a los propágulos y plántulas en el proceso de establecimiento), sin descartar que la elevación del terreno juegue algún rol adicional, por sufrir menos inundaciones. Por lo demás, las plántulas que crecen en cursos de agua adyacentes pueden sufrir daño mecánico constante por el paso de canoas.

Schubert (1998) en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) también describió asociaciones de *B. maritima* y *Sesuvium portulacastrum* para la dispersión y distribución de propágulos y se refiere a registros de crecimiento incremental de plántulas de *A. germinans* asociadas con

Tabla 1. Regresiones para corrección del efecto de la pintura empleada en las pruebas de campo sobre flotabilidad y germinación de los propágulos en tres especies de mangle entre octubre y noviembre de 1999 en el delta del río Ranchería.

FSP: Flotabilidad sin pintura
FCP: Flotabilidad con pintura

GSP: Germinación sin pintura
GCP: Germinación con pintura.

Factor	Función	Valor P	Coef. Correlac.	R ²	Error Estándar
Flotabilidad <i>A. germinans</i>	FSP = 17,8846 + 0,870726 FCP	0,0000	0,9109	82,9667	3,0813
Flotabilidad <i>L. racemosa</i>	FSP = -38,6001 + 1,34326 FCP	0,0000	0,9730	94,6688	2,8786
Germinación <i>A. germinans</i>	GSP = -0,16727 + 0,970384 GCP	0,0000	0,9799	96,0215	5,9654
Germinación <i>L. racemosa</i>	GSP = 3,25582 + 1,00622 GCP	0,0000	0,9927	98,5482	5,0730
Germinación <i>R. mangle</i>	GSP = -0,853382 + 0,880788 GCP	0,0000	0,9929	98,5832	3,6136

S. virginicus. Observó que *B. maritima* retuvo casi todos los propágulos de *R. mangle*, mientras que los más pequeños de *L. racemosa* no fueron sujetados (Schubert 1998) y registró mayores tasas de supervivencia de *R. mangle* en sitios dominados por *S. portulacastrum*, la cual forma conjuntos análogos a los de *B. maritima*.

Los neumatóforos y las ramas sirvieron como sitios de retención temporales, puesto que mantuvieron propágulos de *L. racemosa* y *A. germinans* hasta el día cinco y de *R. mangle* hasta el día diez (fig. 4). Estos propágulos sólo permanecieron en el sitio uno o dos días y luego continuaron su recorrido para ser retenidos más adelante por alguna otra estructura o salir del ecosistema. Para los propágulos retenidos por ramas fue especialmente crítico el nivel del agua, dado que cualquier descenso en él significó la pérdida del asimiento.

Cuando el nivel del agua permaneció estable varios días, se desarrollaron algas de los géneros *Lyngbya* (Cyanophyta) y *Spirogyra* (Chlorophyta), que envolvieron los propágulos más pequeños (*A. germinans* y *L. racemosa*), y los retuvieron sobre diversas estructuras (troncos, ramas de árboles, neumatóforos o plantas de *B. maritima*). A medida que el nivel del agua varió, las algas perdieron su capacidad de retener los propágulos. Clarke (1993) menciona resultados que indican que la presencia de algas en el sitio, favorece la retención de propágulos.

Dispersión. El número de propágulos anclados es función de la especie, el tiempo y la distancia al sitio de liberación. La retención de los propágulos de las especies difiere significativamente en el tiempo y a lo largo del cauce del río (tabla 2). Los resultados de Rabinowitz (1978c) en Panamá y McKee (1995b) en Belice coinciden con los del presente estudio en cuanto al papel de la morfología de los propágulos en su dispersión: mientras

que los de *A. germinans* y *L. racemosa*, de tamaño reducido y forma más o menos ovoide, se pierden del ecosistema antes de dos semanas, los de *R. mangle*, grandes y alargados, permanecieron en el lugar por un mes o más y un pequeño porcentaje (1%) se estableció al final.

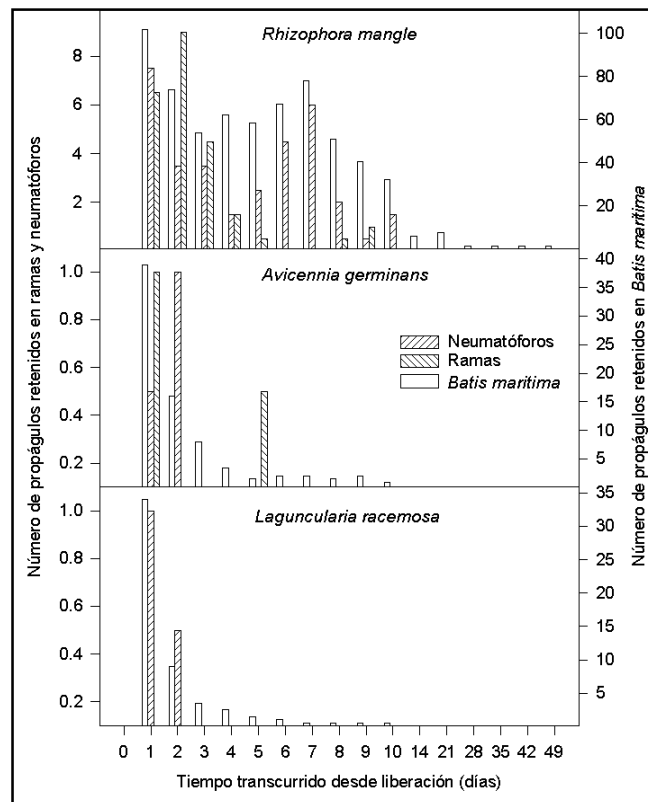


Figura 4. Número de propágulos retenidos de tres especies de mangle en diferentes estructuras entre octubre y noviembre de 1999 en el delta del río Ranchería.

Tabla 2. Análisis de varianza para Log (Cantidad de propágulos + 1).

Fuente	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrada	Razón F	Valor P
Efectos principales					
Distancia	53,5917	10	5,35917	22,25	0,0000
Especie	97,9258	2	48,9629	203,30	0,0000
Día	107,116	15	7,14107	29,65	0,0000
Interacciones					
Distancia – Especie	90,4944	20	4,52472	18,79	0,0000
Especie – Día	47,6122	30	1,58707	6,59	0,0000
Residuales	219,651	912	0,240845		
Total (corregido)	632,522	989			

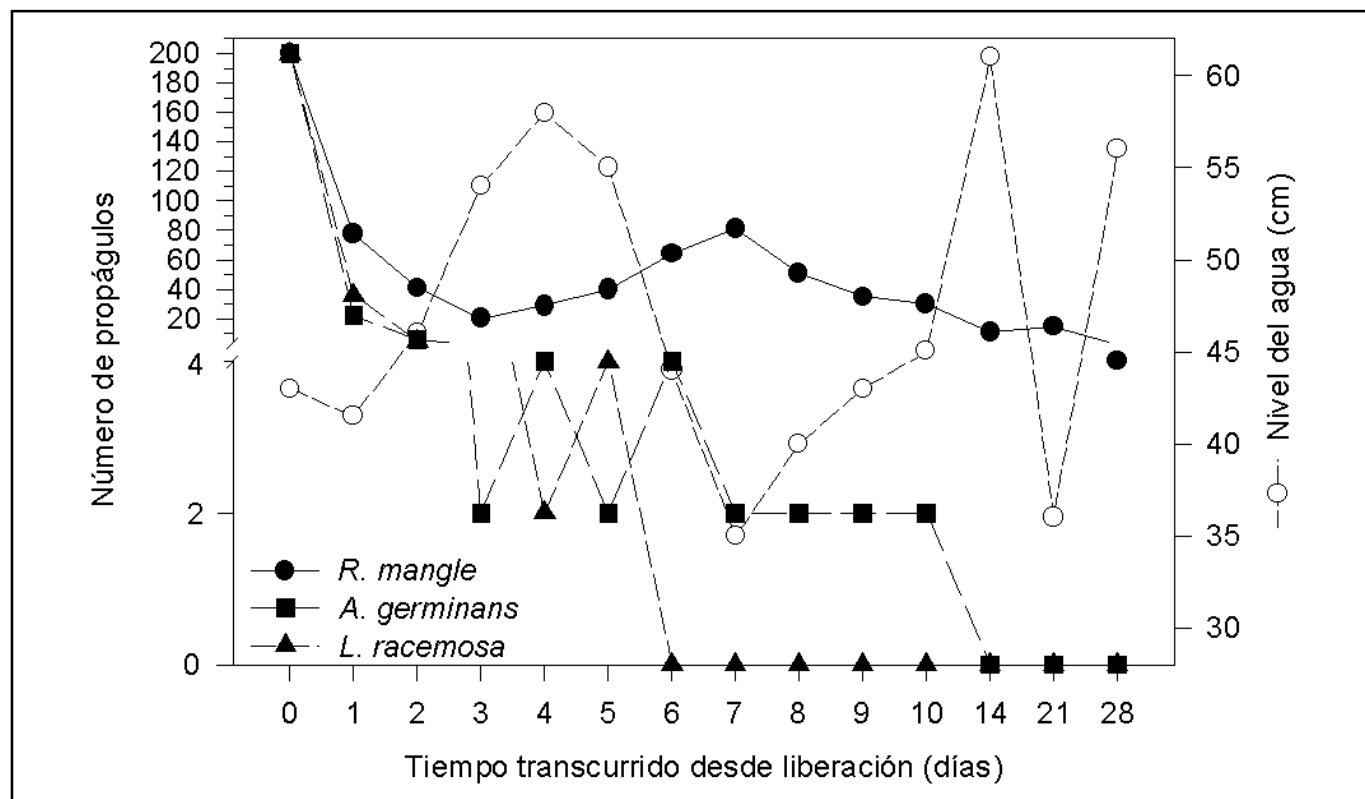


Figura 5. Propágulos de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* sobrevivientes entre octubre y noviembre de 1999 en el delta del río Ranchería, con respecto al tiempo de registro. Los mayores números de propágulos en los días 6 y 7 se deben a la reducción del nivel del agua y la posibilidad de contar los retenidos en plantas de *B. maritima*.

El número de propágulos acumulados en el tiempo de *A. germinans* y *L. racemosa* no fue significativamente diferente, pero sí el de los de *R. mangle* con respecto a las dos especies anteriores (tab. 3). La figura 5 muestra el número de propágulos encontrados y el nivel del agua durante el tiempo de registro. Para la segunda semana no se hallaron más propágulos de *A. germinans* ni de *L. racemosa* mientras que los de *R. mangle* permanecieron todo el tiempo de estudio. Dos propágulos de *R. mangle* presentaron expansión foliar y, por lo tanto, se consideraron establecidos en los días 28 y 35. El mayor número de propágulos en los días 6 y 7 (fig. 5) se debe a que el nivel del agua bajó y permitió observar aquellos retenidos en las partes bajas de los tallos de plantas de *B. maritima*.

No se hallaron diferencias significativas entre propágulos de *L. racemosa* y *A. germinans* con relación a las distancias recorridas, pero sí las hubo entre *R. mangle* y las dos anteriores (Tab. 4). Los propágulos de *R. mangle* son retenidos principalmente cerca del sitio de liberación, mientras que los de *L. racemosa* y *A. germinans* se disper-

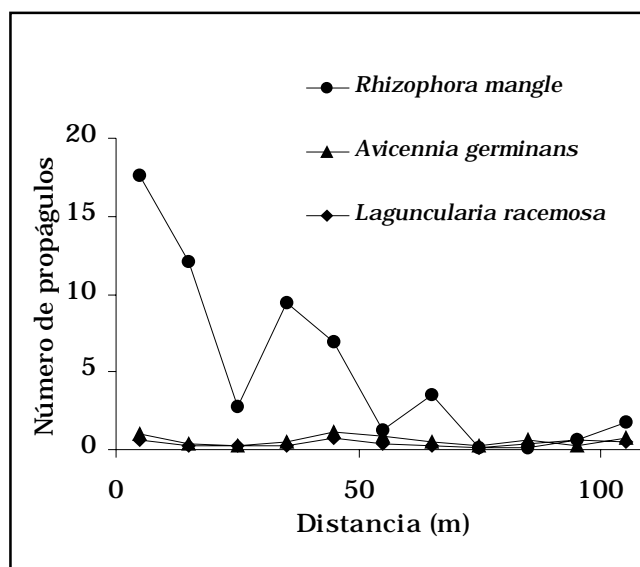


Figura 6. Promedio de propágulos de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* retenidos vs. distancia al sitio de lanzamiento entre octubre y noviembre de 1999 en el río Ranchería. El rango con marca de clase 105 incluye todos los propágulos retenidos más allá de los 100 m.

Tabla 3. Prueba de rangos múltiples para el número de propágulos retenidos de cada especie de mangle vs. tiempo (en días) en el delta del río Ranchería entre octubre y noviembre de 1999. Se empleó el método de mínima diferencia significativa de Fisher (nivel de confianza del 95,0%).

Especie	Observaciones	Media	Grupos homogéneos
<i>L. racemosa</i>	16	3,4375	X
<i>A. germinans</i>	16	4,9375	X
<i>R. mangle</i>	16	42,3125	X

Contraste	Diferencia	Límites +/-
<i>A. germinans</i> – <i>L. racemosa</i>	1,5	16,0731
<i>A. germinans</i> – <i>R. mangle</i>	*-37,375	16,0731
<i>L. racemosa</i> – <i>R. mangle</i>	*-38,875	16,0731

* Denota diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 4. Prueba de rangos múltiples para el número de propágulos retenidos de cada especie de mangle vs. distancia al sitio de lanzamiento en el delta del río Ranchería entre octubre y noviembre de 1999. Método de mínima diferencia significativa de Fisher (nivel de confianza de 95,00%).

Especie	Observaciones	Media	Grupos homogéneos
<i>L. racemosa</i>	330	0,330303	X
<i>A. germinans</i>	330	0,475758	X
<i>R. mangle</i>	330	4,09697	X

Contraste	Diferencia	Límites +/-
<i>A. germinans</i> – <i>L. racemosa</i>	-0,145455	0,750537
<i>A. germinans</i> – <i>R. mangle</i>	*-3,62121	0,750537
<i>L. racemosa</i> – <i>R. mangle</i>	*-3,76667	0,750537

* Denota diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95,0%.

saron a lo largo del cauce (fig. 6). **Elster** (1998) también encontró tasas de establecimiento de *R. mangle* superiores a las de *A. germinans* y *L. racemosa* en la CGSM y señaló que las últimas tenían dificultades para arraigar bajo condiciones de inundación, que no afectaban a la primera. Bajo esas mismas condiciones, los propágulos de *A. germinans* como de *L. racemosa* presentaron tasas de supervivencia mayores que las de los de *R. mangle*.

Todos los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* que permanecieron retenidos por más de una semana y algunos de *R. mangle* quedaron atrapados en ramas de *B. maritima*. La desecación por insolación y la reducción del nivel del agua de los propágulos redujo la viabilidad, especialmente en las dos primeras especies, como ya lo había señalado **Elster** (1998) para la CGSM.

Las observaciones en el delta del Ranchería contradicen las de **Rabinowitz** (1978b, 1978c) con respecto a la zonación del manglar como resultado de la dispersión de los propágulos más pequeños hacia zonas más altas o, al menos, indican que no es aplicable a bosques de ribera, en los cuales los más grandes no son arrastrados por la corriente fuera del ecosistema y se establecen en partes altas. La figura muestra la distribución homogénea a lo largo del curso de agua de los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa*, mientras la mayoría de los de *R. mangle* son retenidos cerca del sitio de lanzamiento. En consecuencia, los propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa* se dispersarán lejos del parental, mientras que los de *R. mangle* permanecerán cerca de él.

Predación y germinación. Los propágulos de *R. mangle* alcanzaron máxima germinación entre los días 5 y 10.

Rabinowitz (1978a) obtuvo tasas máximas de germinación de propágulos de *R. harisonii* inmersos en agua entre los días 30 y 40. El pico máximo para *L. racemosa* fue el día 8, coincidiendo con los resultados antes señalados (**Rabinowitz** 1978a). Aunque la depredación de propágulos de *A. germinans* impidió un análisis estadístico de tasas de germinación, se observaron propágulos germinados desde el día 1.

La depredación causó la pérdida del 100% de los propágulos de *A. germinans*, del 74% de los de *L. racemosa* y del 70% de los de *R. mangle*, hasta cuando un mar de leva (17 de noviembre de 1999, día 27 para los propágulos sembrados en la prueba 1 y 13 para los de la 2) removió los restantes. El principal consumidor fue el ganado caprino, seguido por cangrejos y hormigas, principalmente en el sitio de la primera siembra sin dosel. Aparte del pastoreo el tránsito afectó especialmente los propágulos de *R. mangle*. Se observó la germinación de propágulos con hipocótilos muy dañados, pero en estas condiciones son más susceptibles a ser depredados (**Dahdouh-Guebas et al.** 1998), el proceso toma más tiempo y su supervivencia a largo plazo es menor (**McKee**, 1995b).

En la mayoría de las asociaciones de manglar estudiadas en el mundo, los principales depredadores de propágulos son cangrejos, especialmente de la familia Grapsidae (**Smith**; 1987; **Smith et al.** 1989; **McKee**; 1995a; **Dahdouh-Guebas et al.** 1998; **Sousa y Mitchell** 1999), aunque **Ellison y Farnsworth** (2001) mencionan también que en Borneo los monos proboscídeos se alimentan de hojas de mangle, los venados los usan como forraje en los Sundarbans y en las islas Andamán y que los hipopótamos frecuentan los manglares sudafricanos. Estos estudios han hallado niveles de predación altos, pero mucho menores a los encontrados aquí, donde los mayores depredadores son introducidos por el hombre. **McGuinness** (1997), en Australia, encontró que entre el 78–100% de los propágulos de *A. marina* era atacado por depredadores naturales uno o dos días después de caer al suelo y que *R. stylosa* era el menos depredado. En Belice, **McKee** (1995a) encontró en el cuarto día de registro pérdidas acumuladas por depredación de 13% para *L. racemosa*, 45% para *A. germinans* y 4% para *R. mangle*, mientras que en el día 4 en el delta del Ranchería se perdió 36% de los propágulos de *L. racemosa*, 97% de *A. germinans* y 24% de *R. mangle* (**Lema** 2000).

Durante este estudio se observaron hormigas consumiendo propágulos de *A. germinans* y *L. racemosa*, **Robertson et al.** (1990) las habían observado en Australia y encontraron que no parecen ser importantes en la depredación y dispersión del mangle. Durante el muestreo de dispersión también

se observaron señales de depredación por cangrejos. Hubo incluso restos de la pintura empleada para la marcación de los mismos en partes elevadas de troncos de árboles y propágulos completos transportados hasta ramas.

Smith (1987) y **McKee** (1995a) atribuyen la mayor depredación de *Avicennia* spp. a un menor contenido de taninos y mayor valor nutritivo, comparados con los propágulos de las demás especies de manglar. *R. mangle* posee, en cambio, una mayor relación C:N (**McKee**, 1995a), ofreciendo una menor palatabilidad a sus consumidores potenciales.

Los resultados aquí presentados contradicen la hipótesis de depredación-dominancia propuesta por **Smith** (1987) como explicación de la zonación de los bosques de manglar. En el delta del Ranchería, la especie más abundante (*A. germinans*) fue la más depredada y la menos abundante (*R. mangle*) la menos consumida. Resultados similares fueron obtenidos por **McKee** (1995a) en Belice, **McGuinness** (1997) en Australia, **Dahdouh-Guebas et al.** (1998) en Kenia, y **Sousa y Mitchell** (1999) en el Caribe de Panamá.

Predación en el árbol - El 30% de los propágulos de *A. germinans* recolectados estaba siendo consumido por larvas de la familia Pyralidae. Este consumo fue menor en el caso de *L. racemosa*, para la cual se encontraron larvas en menos del 1% de los frutos. **Elster** (1998) registró larvas de la misma familia en un porcentaje inferior (16%) de propágulos de *A. germinans* en la CGSM. Entre los representantes de la familia Pyralidae se encuentran perforadores de tallos, copas y raíces de pastos, caña de azúcar, cactus, coníferas y semillas de leguminosas (**Borrer et al.** 1989). **Robertson et al.** (1990) también encontraron larvas de polillas atacando los propágulos de *A. marina*, mientras que **Farnsworth & Ellison** (1993) en Belice y **Elster et al.** (1999) en Colombia registraron orugas de otros lepidópteros consumiendo propágulos, hojas y otras partes de plántulas de *Avicennia* spp.

En Riohacha también se observaron ataques esporádicos de *Quiscalus mexicanus* sobre propágulos de *R. mangle*, cuya viabilidad quedó seriamente comprometida. La “maría-mulata” (*Q. mexicanus*) es común en manglares y estuarios de ambas costas colombianas y es de hábito omnívoro (**Hilty & Brown**, 1986).

El porcentaje de establecimiento al final del ensayo fue 0% para todas las especies en todas las condiciones, excepto para *R. mangle* que en siembra sin dosel tuvo una germinación acumulada del 3%, equivalente al 1.8% con la corrección por el efecto de la pintura.

Díaz (2001) encontró plántulas establecidas en el área en época seca, lo cual permite pensar que los propágulos establecidos son los que corresponden al final de la época de lluvias, cuando la disponibilidad de agua aún es alta pero una menor fuerza en la corriente permite su retención. Esta época coincidiría además con un período de menor depredación en el árbol (**Elster et al.** 1999) y durante la dispersión (**McKee**, 1995a).

Conclusiones

La época de lluvias es también la de mayor fructificación, pero la mayoría de los propágulos de las tres especies se perdieron, pocos días después de su liberación. Pocos propágulos de *R. mangle*, cuya morfología les permite anclarse más fácilmente, permanecieron.

Durante la época de lluvias los parches de *B. maritima* favorecieron el anclaje de los propágulos, y actuaron como principales estructuras de retención reduciendo los ataques de predadores previas a la dispersión. En dichos parches se encontró el mayor número de propágulos de las tres especies. Los neumatóforos y ramas bajas de árboles también retuvieron algunos propágulos, pero en menor proporción y de manera estacional hasta cuando cambió el nivel del agua.

Los propágulos sobrevivientes se establecieron al final de la temporada de lluvias, cuando hubo inundación pero poca corriente, condiciones que facilitaron la retención.

Los propágulos de *R. mangle*, *A. germinans* y *L. racemosa* crecieron (*v.gr.* germinaron) rápidamente, mientras que una alta proporción de propágulos de la segunda fue consumida o dañada completamente en el parental por larvas de polillas. En el suelo se perdieron muchos propágulos de las tres especies por consumo de ganado caprino, aunque no se pudo cuantificar el efecto sobre el balance final de los procesos de establecimiento en el bosque.

Queda por establecer el patrón fenológico de las tres especies en esta zona; falta además realizar estudios complementarios de dispersión y establecimiento durante un año completo, incluyendo todas las épocas climáticas para determinar los tiempos de establecimiento de las plántulas.

Se recomienda estudiar el papel que desempeña *Batis maritima* en el establecimiento de los propágulos, particularmente con niveles diferenciales de inundación y sus posibles efectos sobre el posterior crecimiento de las plántulas de mangle establecidas.

Dado que el principal factor que afecta la supervivencia de propágulos y plántulas en la zona de estudio es la

presencia de ganado, las medidas para regular el pastoreo dentro del manglar determinarán la preservación del bosque. Quedan por determinar los niveles de pérdida de propágulos por pastoreo de ganado en aquellas épocas secas, cuando la vegetación se marchita y el mangle queda como único recurso vegetal fresco.

Agradecimientos

Esta investigación hizo parte del proyecto "Estructura, fenología y demografía del manglar del Riíto y el Valle de los Cangrejos, delta del río Ranchería", Código COLCIENCIAS 1145-09-648-98; desarrollado conjuntamente por la Universidad Nacional de Colombia Sedes San Andrés y Medellín, la Universidad de La Guajira y CORPOGUAJIRA, con apoyo de IDEAM.

Bibliografía

- Ángel, I. F.** 2001. Fenología reproductiva de *A. germinans*, *R. mangle* y *L. racemosa* en un bosque semiárido del caribe colombiano. En: Resúmenes expandidos IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. San Andrés Isla.
- Borrer, D. J., Triplehorn, C. A. & N. F. Johnson.** 1989. An introduction to the study of insects, 6th edition. Saunders College Publishing. 875 p.
- Clarke, P. J.** 1993. Dispersal of grey mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) propagules in southeastern Australia. Aquatic Botany 45:195-204.
- Contraloría General del Departamento de La Guajira.** 1997. Estados de los recursos naturales y de medio ambiente en La Guajira. F. M. Impresores Barranquilla. 187 p.
- Dahdouh-Guebas, F., Verneirt, M., Tack, J. F., Van Speybroeck, D. & M. Koedam.** 1998. Propagule predation in Kenian mangroves and thier possible effect on regeneration. Marine and Freshwater Research 49: 345-350.
- Davis, W. P., K. W. Thornton & B. Levinson.** 1994. Framework for assessing effects of global climate change on mangrove ecosystems. Bull. Mar. Sci., 54: 1045-1058.
- Díaz, K.** 2001. Regeneración natural del manglar en el Riíto y el Valle de los Cangrejos, delta del río Ranchería. Trabajo de grado, Ingeniería Ambiental. Universidad de La Guajira. Riohacha. 41 p.
- Ellison, A.M. & E.J. Farnsworth.** 2001. Mangrove communities. p. 423-442. In: Bertness, M.D., S.D. Gaines & M.E. Hays (eds) Marine Community Ecology. Sinauer Associates. Sunderland.
- Elster, C.** 1998. Posibilidades de regeneración del manglar en la zona de la ciénaga Grande de Santa Marta (*Colombia*). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Eschborn. 68 p.
- Elster, C., Perdomo, L., Polanía, J. & M-L. Schmetter.** 1999. Control of *Avicennia germinans* recruitment and survival by *Junonia evarete* larvae in a disturbed mangrove forest in Colombia. J. Trop. Ecol., 15: 791-805.

- Ensminger, I.** 1997. Förderung der natürlichen Regeneration einer geschädigten Mangrovevegetation. Auswirkungen wasserbau-licher Massnahmen am Canal Clarín, Ciénaga Grande de Santa Marta, Kolumbien. *Ökologie Tropischer Waldsysteme*. TÖB F-II/4. GTZ. 45 p.
- Farnsworth, E. J. & A. M. Ellison.** 1993. Dynamics of herbivory in Belizean mangal. *Journal of Tropical Ecology* 9: 435-453.
- Hilty S. L. & W. L. Brown.** 1986. A guide to the birds of Colombia. Pinceton University Press. 836 p.
- HIMAT.** 1994. Calendario meteorológico, 1994. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá. 169 p.
- Lema V., L.F.** 2000. Dispersión y reclutamiento de especies de mangle en el delta del río Ranchería. Trabajo de grado, Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 53 p.
- McGuinness, K. A.** 1997. Seed predation in a tropical mangrove forest: a test of the dominance-predation model in northern Australia. *Journal of Tropical Ecology* 13: 293-302.
- McKee, K. L.** 1995a. Mangrove species distribution and propagule predation in Belize: an exception to the dominance-predation hypothesis. *Biotropica* 27(3): 334-345.
- . 1995b. Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effects of establishment ability and physico-chemical factors. *Oecologia* 101: 448-460.
- Osunkoya, O. O. & R. G. Creese.** 1997. Population structure, spatial pattern and seedling establishment of the grey mangrove, *Avicennia marina* var. *australasica*, in New Zealand. *Aust. J. Bot.*, 45:707-725.
- Patterson, S., K. L. McKee & I. A. Mendelssohn.** 1997. Effect of tidal inundation and predation on *Avicennia germinans* seedling establishment and survival in a sub-tropical mangal/salt marsh community. *Mangroves and Salt Marshes* 1:103-111.
- Rabinowitz, D.** 1978a. Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica* 10(1): 47-57.
- . 1978b. Mortality and initial propagule size in mangrove seedlings en Panamá. *Journal of Ecology*. 66(1): 45-51.
- . 1978c. Early growth of mangrove seedlings in Panamá, and an hypothesis concerning the relationship of dispersal and zonation. *Journal of Biogeography*. 5: 113-133.
- Robertson, A. I., R. Giddins & T. J. Smith.** 1990. Seed predation by insects in tropical mangrove forests: extent and effects on seed viability and the growth of seedlings. *Oecologia* 83: 213-219.
- Sánchez-Páez, H., R. Álvarez-León, F. Pinto-Nolla, A. S. Sánchez-Alfárez, J. C. Pinto-Renjifo, I. García-Hansen & M. T. Acosta-Peñaloza.** 1997. Diagnóstico y zonificación preliminar de los manglares del Caribe de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente/OIMT. Bogotá. 511 p.
- Schubert, P.** 1998. Verbreitung von Diasporen verschiedener Mangrovearten und deren Bedeutung für die Regeneration geschädigter Wälder. Diplomarbeit im Fachbereich Biologie. Justus Liebig-Universität Giessen. 143 p.
- Smith, T. J., III.** 1987. Seed predation in relation to tree dominance and distribution in mangrove forests. *Ecology* 68(2): 266-273.
- Smith, T. J., III, H. T. Chan, C. C. McIvor & M. C. Robblee.** 1989. Comparisons on seed predation in tropical tidal forests from three continents. *Ecology* 70: 146-151.
- Sousa, W. P. & B. J. Mitchell.** 1999. The effects of seed predators on plant distributions: is there a general pattern in mangroves? *Oikos* 86: 55-66.
- Vásquez, J. L.** 2000. Estructura de dos bosques de mangle en el Valle de los Cangrejos y el Riíto, delta del río Ranchería, caribe colombiano. Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

DISTRIBUCIÓN DE LA COMUNIDAD DE HERPETOFAUNA ASOCIADA A CUATRO ÁREAS CON DIFERENTE GRADO DE PERTURBACIÓN EN LA ISLA GORGONA, PACÍFICO COLOMBIANO

por

José Nicolás Urbina-C. * & María Cecilia Londoño-M. **

Resumen

Urbina-C J.N. & M.C. Londoño-M.: Distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación en la Isla Gorgona, Pacífico colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102):105-113. 2003. ISSN 0370-3908.

Un total de 1.840 individuos pertenecientes a 28 especies (19 de reptiles y 9 de anfibios) fueron encontrados en la Isla Gorgona entre junio y julio de 2001. A partir de 32 secciones ubicadas en cuatro áreas con diferente grado de perturbación antrópica (prisión, cultivos de palma, bosque secundario y bosque primario), se encontró que la riqueza de especies fue mayor en el bosque secundario. Las especies registradas entre los bosques secundario y primario presentaron alta similitud, igual que las encontradas en la prisión y los cultivos. Un análisis de correspondencia canónica (CCA) indicó que las especies de reptiles *Boa constrictor*, *Basiliscus galeritus*, *Ameiva bridgesii* y de anfibios *Epipedobates boulengeri* se encontraron asociadas a áreas abiertas y su distribución estuvo fuertemente determinada por la temperatura del hábitat. Por otra parte, las especies asociadas a áreas boscosas, *Eleutherodactylus gularis*, *Eleutherodactylus achatinus* y *Bothrops atrox* se encontraron muy influidas por la cobertura de dosel sobre su microhábitat; mientras que la distribución de *Atelopus elegans*, *Bufo typhoni*, *Micrurus mipartitus* y *Enyalioides heterolepis* estuvo fuertemente determinada por la cobertura arbustiva.

Palabras clave: Abundancia, Distribución, Microhábitat, Perturbación, Riqueza, Variables ambientales.

* Ecólogo. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México D. F. E-mail: nurbina@yahoo.com

** Bióloga. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. mclondo@wildmail.net; Fax: 6433629 Diagonal 123 No. 51 – 27 interior 3. Bogotá, D. C.

Abstract

A total of 1840 individuals from 28 species (19 reptiles and 9 amphibians) were found in Gorgona Island, during June and July 2001. Based on 32 transects placed in four areas with different anthropic perturbation degree (Prison, palm plantations, secondary forest and primary forest) it was found that the species richness was higher at the secondary forest. The species registered at primary and secondary forest were very similar as well as the species present at the prison and the palm plantations. A Canonical Correspondence Analysis (CCA) showed that *Boa constrictor*, *Basiliscus galeritus*, *Ameiva bridgesii* and *Epipedobates boulengeri* were found to be associated to open areas and their distribution was hardly affected by the environmental temperature. From the following species associated with forested areas, the canopy cover over the microhabitat influenced the distribution of *Eleutherodactylus gularis*, *Eleutherodactylus achatinus* and *Bothrops atrox*, while the understory cover influenced the distribution of *Atelopus elegans*, *Bufo typhonius*, *Micrurus mipartitus* y *Enyalioides heterolepis*.

Key Words: Abundance, Distribution, Microhabitat, Perturbation, Richness, Ambient Variables.

Introducción

Una comunidad biótica es un ensamble de organismos en todos los niveles tróficos, que viven juntos e interactúan entre sí, **Heatwole** (1982). Es importante determinar la estructura y las interacciones entre los miembros de las comunidades ya que éstos son la base para el conocimiento de la distribución de las especies en el hábitat. El número de especies de anfibios y reptiles en una comunidad depende de factores tales como la altura, el clima y localidad geográfica, entre otros, **Heatwole** (1982). La manera como las especies responden frente a los disturbios del hábitat depende de su habilidad de adaptación y características poblacionales, **Hunter** (1996). La respuesta de los anfibios y reptiles ante el disturbio de origen antrópico, generado en sus microhábitats se encuentra poco estudiada y aunque se desconocen la mayoría de las relaciones ecológicas entre estos organismos, es importante generar información básica de las comunidades para diseñar estrategias de manejo **Osorno** (1999).

Se sabe que las principales causas de extinción de los anfibios y reptiles provienen de la pérdida de hábitat, el cambio en los patrones climáticos, la introducción de especies y la contaminación ambiental **Rueda** (1999), **Young et al.** (2001). La alta especificidad de hábitat hace que muchas especies de áreas boscosas sean abundantes localmente en áreas con alta cobertura vegetal (dosel y sotobosque), alta profundidad de hojarasca, alta humedad y temperaturas estables **Crump** (1974), **Jaeger** (1994), **Marsh & Pearman** (1997), **Tocher et al** (1997), **DeMaynadier & Hunter** (1998). Cuando estas condiciones óptimas se ven modificadas por la fragmentación del bosque, y los disturbios se presentan con alta intensidad y larga duración sobre los microhábitats, pueden poner

en peligro de extinción a los anfibios y reptiles que poseen baja habilidad de adaptación y dispersión **Blaustein & Wake** (1995), **Pough** (1999), **Rueda** (1999).

Según **Rueda** (1999), a pesar del desconocimiento de la riqueza biológica colombiana, se calculaba que existirían 25 especies de anfibios y 44 de reptiles en peligro de extinción. Para 2001, **Young et al** señalaron un descenso de poblaciones en géneros como *Eleutherodactylus* y *Atelopus*. De las especies de anfibios y reptiles conocidas hasta el momento en la Isla Gorgona, una rana, dos serpientes y un lagarto se encuentran en bajo riesgo de extinción, bajo diferentes subcategorías CITES: *Epipedobates boulengeri* y *Clelia clelia clelia* (ca: casi amenazado), *Boa constrictor imperator* e *Iguana iguana* (pm: preocupación menor) **Rueda** (1999).

Las áreas de bosque de la Isla Gorgona presentan diferentes grados de perturbación antrópica previa a la llegada de los españoles en 1527, debido a la presencia de grupos indígenas. Sin embargo fue entre los años 1959 y 1982 cuando se presentó la mayor deforestación cuando se estableció una prisión de máxima seguridad que generó actividades tales como cultivos, entresaca de árboles maderables y construcción de instalaciones, **Torres** (1986). Tales perturbaciones alteraron físicamente el paisaje y produjeron la fragmentación de éste, **Rangel** (1995). Actualmente la fragmentación se refleja en cambios en la estructura de la vegetación que afectan el microclima e influyen fuertemente en la biota.

Este estudio tuvo como objetivo general conocer la distribución de la comunidad de herpetofauna asociada a cuatro áreas con diferente grado de perturbación, Pacífico colombiano. Además se determinó la posible relación de algunas especies con la temperatura, la humedad relativa y la cobertura vegetal sobre sus microhábitats.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en la isla continental de Gorgona (Parque Nacional Natural ubicado en el departamento del Cauca, jurisdicción de Guapi), localizada a 56 km de la costa en el océano Pacífico, entre los 2° 47' y 3° 6' latitud Norte y 78° 6' y 78° 18' longitud Oeste. El área terrestre de la isla ocupa 1.568,4 ha y comprende alturas de 0 a 330 msnm. El 87% de la isla presenta topografía escarpada con pendientes entre 50-75%; el terreno restante es plano y la pendiente no sobrepasa el 12%, **Chamorro** (1987), citado en **Rangel** (1995). En general se presenta una precipitación unimodal, humedad relativa promedio anual de 85.2% y temperatura de 26°C, **Rangel** (1995).

Hasta el 7 de agosto de 1985, la isla fue una prisión de máxima seguridad en la cual se realizaron numerosas actividades antrópicas, tales como: tala de bosque, transporte de madera y cultivo de pastos para ganadería. La isla fue declarada Parque Nacional Natural hace más de 17 años, y desde entonces se han controlado las actividades antrópicas, dejando recuperar naturalmente las áreas.

Metodología

Identificación de Especies. A partir de la bibliografía, se realizó un inventario secundario de las especies presentes en la Isla Gorgona y se revisaron los especímenes de la Colección de Herpetología en el Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional. Bogotá, Colombia. En la isla se buscaron y capturaron los individuos en el día y en la noche. Algunos especímenes fueron depositados en la colección de anfibios y reptiles del Parque Nacional Natural Isla Gorgona.

Método de muestreo. La obtención de datos se realizó entre junio y julio de 2001 en un total de 32 secciones de 200 m de longitud, donde se realizaron recuentos visuales con captura manual en un área de 1,5 m a la redonda y hasta 1,60 m de altura **Crump & Scott** (1994), **Jaeger** (1994), **Tocher et al.** (1997).

Se ubicaron ocho secciones en cada una de las cuatro áreas con diferente grado de perturbación antrópica.

Área de cultivos de palma. Franja ancha de palmeras de coco a lo largo de la playa oriental y sudoccidental de la isla. Actualmente se recolecta coco en algunas épocas del año.

Área de la prisión. Incluye el área que se encuentra entre el centro penitenciario, los talleres y el cementerio. Antiguamente estuvo rodeada de pastizales y caminos

empedrados. Actualmente una parte del centro penitenciario presenta alto flujo de visitantes. En general las construcciones se encuentran cubiertas por vegetación arbustiva, helechos, trepadoras y gran número de epifitas.

Bosque secundario. Vegetación en diferentes etapas de sucesión por: tala de bosque, cultivo de pastos para ganadería, porcicultura, extracción y transporte de madera. Actualmente hay senderos ecológicos en algunos lugares, el resto se encuentra en recuperación. Las especies vegetales dominantes son anturios y selaginelas y se presenta alta cobertura arbustiva.

Bosque maduro con baja intervención antrópica (que en el presente estudio se considerará como **Primario**). Se encuentra en su mayoría hacia las partes más altas de la isla y en una parte del camino a Yundigua. Hasta hace 17 años presentó entresaca de árboles maderables. Hoy en día son áreas intangibles que se han dejado para la regeneración natural.

En cada sección se recolectaron muestras tanto en el día como en la noche. Se estandarizó la unidad de esfuerzo de muestreo a 90 minutos por sección/hombre para un total de 96 horas de muestreo durante todo el estudio.

Microhábitat y distribución de especies

Se registraron las especies observadas en cada sección así como el número de individuos por especie. Además se determinó el microhábitat donde fue capturado cada individuo y en éste se registró la temperatura y humedad relativa y se utilizaron parcelas de 5x5 m para determinar la cobertura arbustiva, de 1x1m para la cobertura herbácea y se realizaron mediciones con un densiómetro para calcular el porcentaje de dosel **Tocher et al.** (1997), **Knutson et al.** (1998).

Análisis de datos

Riqueza de especies. Se tomó la riqueza (S) como el número de especies en cada una de las cuatro áreas y se determinó el grado de asociación por medio del coeficiente de similaridad de Bray Curtis, **McAlece** (1997).

Abundancia relativa. Se evaluó la homogeneidad de varianza y la normalidad de los datos. La abundancia se calculó como el número de individuos en cada muestra con respecto al esfuerzo de captura. El esfuerzo de captura se calculó como: $(\text{Horas totales} \times \text{Secciones totales}) / \text{Noches totales}$. La abundancia de anfibios y reptiles encontrados en las cuatro áreas con diferente grado de per-

turbación se comparó por medio del análisis de varianza de Kruskal-Wallis, Siegel (1980), Zar (1999).

Variables ambientales y distribución de especies. Se realizó un análisis de correspondencia canónica Ter Braak (1987), Odland *et al.* (1990), Ter Braak & Smilauer (1998) con el fin de detectar la relación de las especies de anfibios y reptiles con respecto a variables climáticas y de hábitat, Hofer *et al.* (2000), tales como: temperatura, humedad relativa, cobertura herbácea, cobertura arbustiva y cobertura de dosel. Se determinaron los rangos de temperatura, humedad relativa y cobertura herbácea, arbustiva y de dosel para las cuatro áreas y sobre éstos se establecieron las isoclinas de las variables que determinaron la distribución de las especies de anfibios y reptiles más abundantes.

Resultados

Riqueza de especies. Se registró un total de 1.840 individuos distribuidos en 28 especies (19 de reptiles y 9 de anfibios), de los cuales el 67.4% pertenecieron a *Epipedobates boulengeri*, el 13.8% a *Atelopus elegans*, y el 7.2% a *Eleutherodactylus gularis*.

Entre las áreas de bosque secundario (20 especies) y bosque primario (13 especies) se presentó una similitud del 72.45% debido a que comparten 12 especies. En las áreas de cultivos de palmas (11 especies) y prisión (15 especies) se encontraron 9 especies en común y se presentó una similitud de 68.8%. Las

cuatro áreas presentan entre sí un porcentaje de similitud del 35.7%; se identificaron 5 especies en común: *Boa constrictor*, *Enyalioides heterolepis*, *E. boulengeri*, *E. gularis* y *A. elegans* (Figura 1 y ANEXO 1).

Abundancia relativa. Los valores de abundancia relativa obtenidos en las secciones de las cuatro áreas no presentan diferencias significativas entre sí ($H=3.5$, $n=112$, $p=0.32$).

E. boulengeri muestra una mayor abundancia en las áreas de prisión y cultivos y predominó sobre las otras especies de anfibios. *A. elegans* presentó un patrón inverso, ya que su presencia aumenta hacia el bosque secundario y primario. *E. gularis* y *Bufo typhonius* también aumentaron su abundancia en áreas boscosas pero en una menor proporción. *Basiliscus galeritus* presentó alta abundancia en las áreas de prisión y cultivos, comportamiento similar al presentado por *Lepidodactylus lugubris*. *E. heterolepis* aumenta en el bosque primario y secundario al igual que *Micrurus mipartitus* que aparece únicamente en estas áreas boscosas. *Ameiva bridgesii* no se presentó en bosque primario y *B. constrictor* aparece en todas las áreas (Tabla 1).

Variables ambientales y distribución de especies. Las variables climáticas y de hábitat que presentaron mayor asociación con respecto a la distribución de la comunidad de herpetofauna fueron: la cobertura de dosel, la arbustiva y la temperatura (Eje1=81.9%, Eje2=91.7%, Eje3=95,8%) (Figura 2). Las áreas con

Tabla 1. Número de individuos de anfibios y reptiles más abundantes en las cuatro áreas con diferente grado de perturbación antrópica. Los acrónimos hacen referencia al código usado en el Análisis de Correspondencia Canónica para identificar a las especies

ÁREA	Acrónimo	PRISIÓN	CULTIVOS	SECUNDARIO	PRIMARIO
<i>Boa constrictor</i>	Boacons	2	2	2	1
<i>Bothrops atrox</i>	Bothratr	0	1	1	2
<i>Micrurus mipartitus</i>	Micrmipa	0	0	4	2
<i>Lepidodactylus lugubris</i>	Lepidlug	8	4	0	0
<i>Basiliscus galeritus</i>	Basilgal	17	22	1	0
<i>Enyalioides heterolepis</i>	Enyalhet	6	2	24	14
<i>Ameiva bridgesii</i>	Ameivbri	9	4	3	0
<i>Epipedobates boulengeri</i>	Epipboul	762	275	197	7
<i>Eleutherodactylus gularis</i>	Eleugula	14	32	46	41
<i>E. achatinus</i>	Eleuacha	0	0	6	1
<i>Atelopus elegans</i>	Ateleleg	55	15	94	90
<i>Bufo typhonius</i>	Bufohyp	0	0	7	7

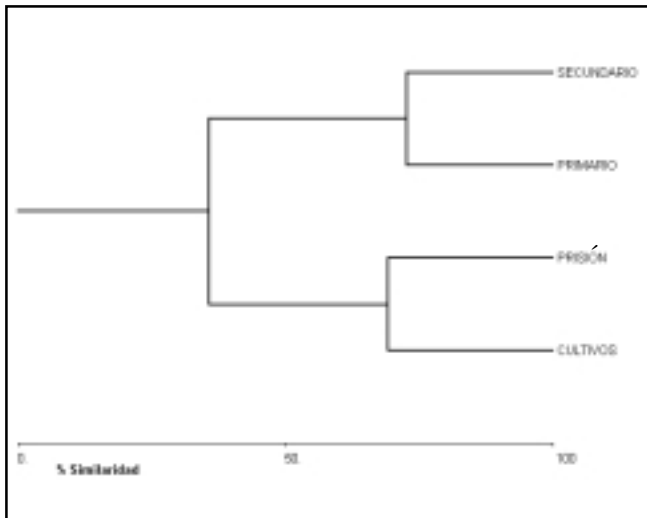


Figura 1. Similaridad de las especies de herpetofauna presentes en cuatro áreas con diferente grado de perturbación antrópica.

mayor perturbación antrópica (cultivos y prisión) se encontraron asociadas principalmente a ambientes con altas temperaturas (agrupación de puntos *Cult1-8* y *Pris1-8* hacia los cuadrantes de la derecha) (Figura 2), mientras que las áreas boscosas (bosque primario y secundario) se aparecen asociadas a la cobertura herbácea, arbustiva y de dosel (agrupación de puntos *Secund1-8* y *Primar1-8* hacia los cuadrantes de la izquierda), lo que promueve mayor humedad y menores temperaturas en los microhábitats, generando un microclima similar en estas áreas (Figura 2).

Se identificaron algunas especies afines a las áreas abiertas (Prisión y cultivos), como: *B. constrictor*, *B. galeritus*, *A. bridgesii* y *E. boulengeri*, las cuales se encontraron fuertemente asociadas a la temperatura en su microhábitat. *E. gularis*, *Eleutherodactylus achatinus* y *Bothrops atrox* se encontraron asociadas a las áreas boscosas y su distribución estuvo fuertemente influida por la cobertura de dosel. Mientras que *A. elegans*, *B. typhonius*, *M. mipartitus* y *E. heterolepis* aparecen fuertemente influidas por la cobertura arbustiva estando asociadas también al bosque primario y secundario (Figura 2).

La temperatura ambiental fluctuó entre 22 y 32°C durante los meses de muestreo. Las especies asociadas a las áreas abiertas, se encontraron en microhábitats entre 24 y 28°C. Sin embargo *A. bridgesii* presentó la mayor tolerancia térmica al registrarse con temperaturas de hasta 31°C (Figura 3a).

La cobertura vegetal en las áreas de muestreo fluctuó entre 0 y 100%. Las especies asociadas a la cobertura de

dosel se encontraron en microhábitats entre 50 y 100% (Figura 3b). En la cobertura arbustiva *A. elegans* y *E. heterolepis* se encontraron en todo el rango (0-100%), mientras que *B. typhonius* (25-85%) y *M. mipartitus* (35 – 60%) presentaron un rango más restringido para la distribución en sus microhábitats (Figura 3c).

Discusión

Los efectos de la fragmentación sobre las especies de anfibios y reptiles deben ser determinados tanto a nivel espacial como temporal, **Schlaepfer & Gavin** (2001). El presente estudio determinó la distribución de algunas especies de anfibios y reptiles en cuatro áreas con diferente grado de perturbación durante un corto período de tiempo, posterior al mes de mayor pluviosidad (mayo). Por ello no es posible hacer una extrapolación de los datos a lo largo de diferentes épocas climáticas del año.

Además se utilizó un único método de muestreo con réplicas de día y de noche, invirtiendo igual esfuerzo de captura. Esto determinó el tamaño de la muestra y explica en parte por qué la abundancia de las 28 especies no fue estadísticamente mayor en ninguna de las cuatro áreas. De la misma manera, no se puede determinar la exclusividad de las especies por cierto tipo de área debido a que el método de muestreo utilizado hizo énfasis en la recolección en estratos bajos y está influido por la imagen de búsqueda de cada investigador.

A pesar de que se encontraron algunas especies que frecuentaron las cuatro áreas, como: *Boa constrictor*, *Enyalioides heterolepis*, *Epipedobates boulengeri*, *Atelopus elegans* y *Eleutherodactylus gularis* no se pueden catalogar como generales, ya que la asociación entre ellas, la afinidad por diferente tipo de áreas y las variables microclimáticas que afectaron su distribución, varió para cada una.

De las especies mencionadas atrás *A. elegans* y *E. heterolepis* presentaron el mayor rango en el cambio de cobertura arbustiva sobre sus microhábitats, lo cual puede explicar que también se encontraran presentes, aunque en menor proporción, en áreas abiertas.

Similar a lo encontrado por **Vargas & Bolaños** (1999) las condiciones microclimáticas entre las áreas de bosque parecen ser similares y es posible que debido a esto el 92% de anfibios y reptiles encontrados en el bosque primario estuvieran presentes en el secundario.

Durante el estudio se produjo una gran cantidad de capturas de *E. boulengeri* (1.241 individuos) de los cuales el 83.5% fueron encontrados en las áreas de prisión y cultivos. Un patrón totalmente diferente fue encon-

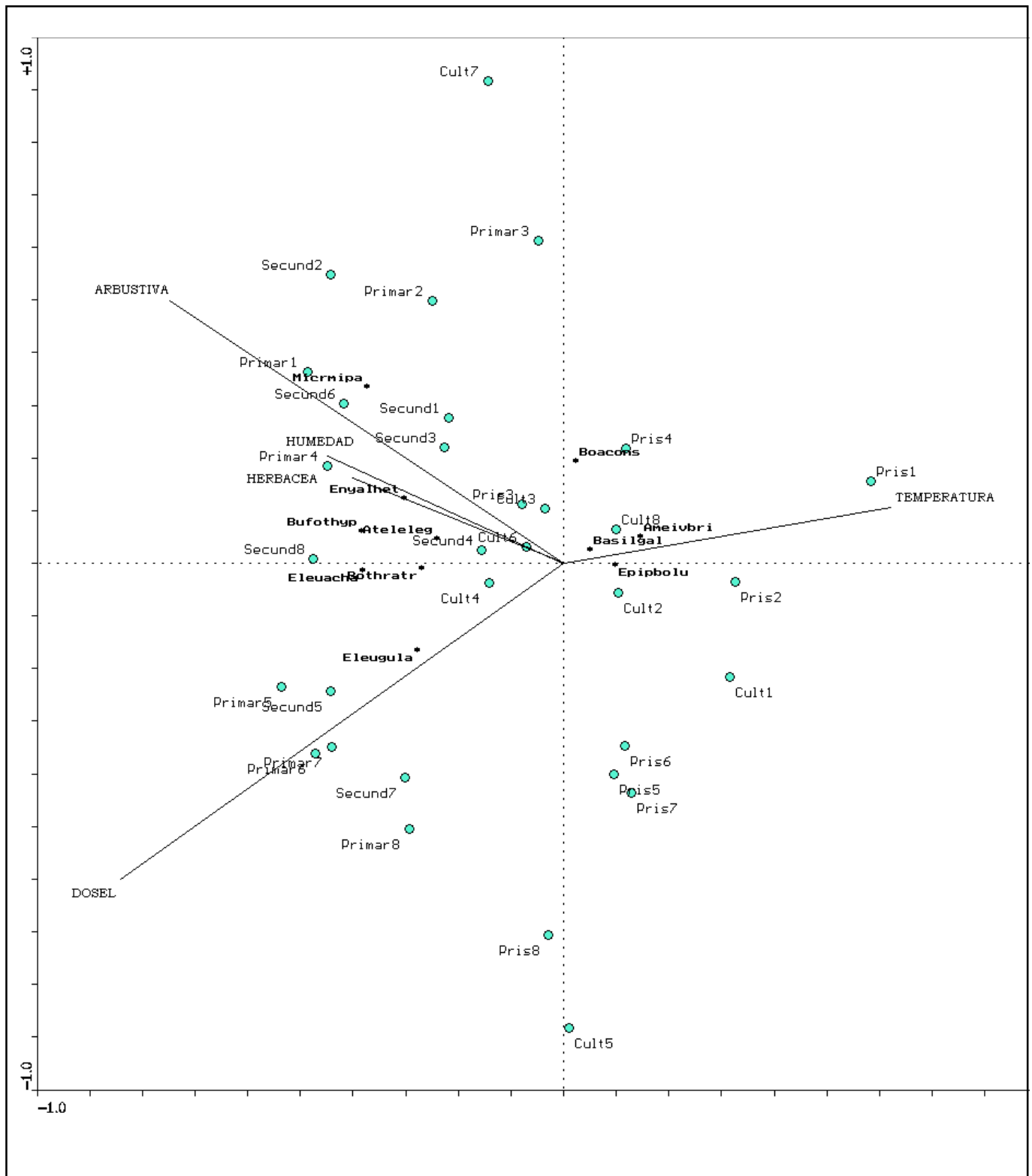


Figura 2. Distribución de las secciones en las áreas (Prisión=Pris, Cultivos=Cult, Bosque secundario=Secund, Bosque primario=Primar) y de las especies más abundantes de la herpetofauna a lo largo de variables climáticas y de hábitat.

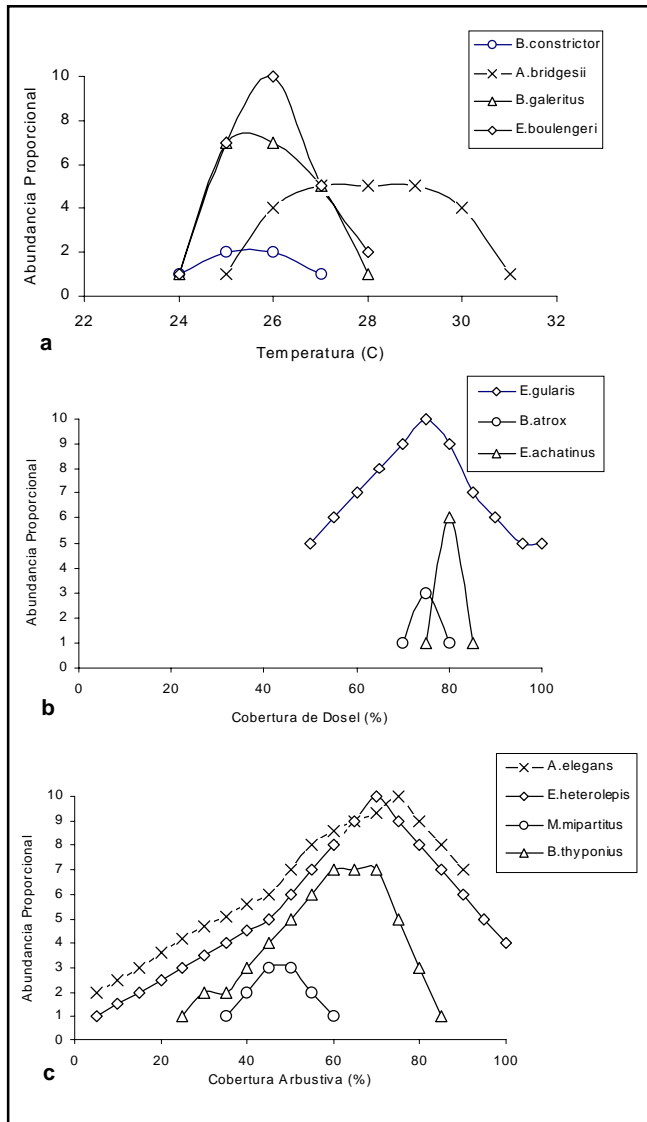


Figura 3. a, b, c. Isoclina para algunas especies abundantes de anfibios y reptiles: Temperatura, Cobertura de dosel y Cobertura arbustiva

trado por Vargas & Bolaños (1999), quienes en el bajo Anchicayá capturaron un total de 12 individuos presentes exclusivamente en áreas boscosas. Por otro lado Hager (1998) al determinar la posible sensibilidad de algunos anfibios y reptiles al tamaño del área como especies indicadoras de la fragmentación del hábitat, propuso que si la abundancia de una especie en el continente es baja y la población insular de la misma es alta, su declive poblacional no puede ser causado por la fragmentación del bosque. Teniendo en cuenta lo anterior, no se podría considerar a *E. boulengeri* como una especie indicadora y su baja densidad poblacional

ANEXO 1.

Anfibios y reptiles encontrados en las cuatro áreas de estudio en el Parque Nacional Natural Gorgona, departamento del Cauca, Colombia.

GÉNERO Y ESPECIE	ÁREA			
	Prisión	Cultivo	Secundario	Primario
REPTILES				
COLUBRIDAE				
Clelia clelia	X			
Leptodeira annulata	X		X	
Leptophis ahaetulla			X	
Oxybelis aeneus	X			
O. brevirostris			X	X
BOIDAE				
Boa constrictor	X	X	X	X
CROTALIDAE				
Bothrops atrox		X	X	X
ELAPIDAE				
Micrurus mipartitus			X	X
GEKKONIDAE				
Lepidoblepharis ruthveni			X	
Lepidodactylus lugubris	X	X		
Thecadactylus rapicauda	X			
IGUANIDAE				
Iguana iguana	X	X		
POLICROTIDAE				
Anolis gorgonae	X			
A. latifrons		X	X	
A. princeps			X	
CORYTOPHANIDAE				
Basiliscus galeritus	X	X	X	
HOPLOCERIDAE				
Enyalioides heterolepis	X	X	X	X
TEIIDAE				
Ameiva bridgesii	X	X	X	
GYMNOPHTALMIDAE				
Echinosauria horrida			X	X
ANFIBIOS				
CAECILIDAE				
Caecilia nigricans	X			
PLETHODONTIDAE				
Bolitoglossa biseriata				X
Oedipina complex			X	X
DENDROBATIDAE				
Epipedobates boulengeri	X	X	X	X
LEPTODACTYLIDAE				
Eleutherodactylus rosadoi			X	
E. gularis	X	X	X	X
E. achatinus			X	X
BUFONIDAE				
Atelopus elegans	X	X	X	X
Bufo thyponius			X	X

en el continente sería causada por otro factor diferente a la pérdida de hábitat.

A su vez, la adaptabilidad moderada de *E. boulengeri* a ambientes deforestados Rueda (1999) como las áreas de cultivo y la prisión, podría ser explicada debido a que el cuidado parental de los adultos asegura la supervivencia de juveniles en las áreas abiertas. Así mismo, el tipo de reproducción podría explicar la presencia de los Bufónidos y Leptodactylidos en áreas boscosas, ya requieren cuerpos de agua bien oxigenados y hojarasca, respectivamente Crump (1974). Si bien estas especies presentaron una

alta correspondencia por las áreas mencionadas atrás, no se cuenta con información para determinar su distribución con base en el método reproductivo y por ello es necesario profundizar más en la autoecología de estos organismos.

A pesar de que no se realizó un diseño para evaluar el efecto de borde sobre especies de anuros terrestres, se encontró una afinidad de las especies del *Eleutherodactylus* por el interior del bosque, similar al encontrado por **Osorno** (1999) y **Urbina** (2001) en el bosque Andino. También, en el bajo Anchicayá, **Vargas & Bolaños** (1998) encontraron que el 96% de los individuos de *Eleutherodactylus gularis* se presentó en áreas boscosas mientras que *Eleutherodactylus achatinus* estuvo presente, de manera equivalente, en áreas boscosas y abiertas. Con base en los resultados encontrados en el presente estudio, *E. gularis* y principalmente *E. achatinus*, podrían presentar una fuerte influencia negativa del efecto de borde generado entre la matriz circundante y el bosque remanente, al carecer de cobertura de dosel que cubra sus microhábitats. Esta hipótesis contrasta con lo planteado por **Lynch & Myers** (1983) ya que afirman que *E. achatinus* presenta una alta afinidad por áreas perturbadas. Esto hace pensar que este grupo de anuros terrestres, podría presentar una respuesta diferencial ante los disturbios en el bosque dependiendo de la época del año **Osorno** (1999), **Schlaepfer & Gavin** (2001) y de los disturbios locales generados en cada bosque **Urbina** (2001).

En general, la pérdida de hábitat ejerce un efecto deletéreo sobre las especies que habitan el bosque **Saunders et al.** (1991). Aquellas especies afines a áreas abiertas tienden a reemplazar las especies de hábitats boscosos, **Vargas & Bolaños** (1999). Y es por ello que en el bosque secundario se presenta la mayor riqueza de anfibios y reptiles. Sin embargo, cuando la competencia entre algunas especies de lagartos se relaja (como en algunas islas), se presenta una expansión del nicho para alguna de ellas con respecto a la percha, el microclima sobre el microhábitat y la dieta **Lister** (1976), citado por **Heatwole** (1982). Por ello, a pesar de carecer de información necesaria para demostrarlo, se sugiere que podría existir un desplazamiento por competencia entre algunas especies con hábitos diurnos, microhábitats preferenciales similares, mayores tamaños poblacionales (para el caso de *E. boulengeri*) y/o mayor tamaño corporal en adultos (para el caso de *B. galeritus*). Si este planteamiento fuera cierto, se explicaría la exclusión de *E. heterolepis* de las áreas de cultivos y de prisión donde la proporción de *B. galeritus* es alta. Al igual que la dominancia de *A. elegans* en el bosque primario y secundario equivaldría a la presencia de *E. boulengeri* en la prisión y en los cultivos.

De esta manera, las especies afines a áreas abiertas, presentarían una alta habilidad para hacer frente al cambio en las variables bióticas y abióticas en su microhábitats y por consiguiente se habrían adaptado más fácilmente a la fragmentación de su entorno, y se verían poco afectadas por el efecto de borde y aislamiento de las áreas. Sin embargo se deben realizar más estudios para determinar la fluctuación del tamaño poblacional a lo largo del tiempo y la capacidad de recuperación de las especies ante el disturbio antrópico, con el fin de identificar especies indicadoras que sirvan para determinar el estado del bosque, **Landers et al.** (1998) y especies objetivo para el diseño y manejo de reservas de estos organismos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) del Ministerio del Medio Ambiente por darnos el permiso de investigación. Este estudio fue posible gracias a la colaboración de Emil H. Ruiz durante la revisión de especímenes en la colección de herpetofauna del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Bogotá. Y la hospitalidad y asistencia de campo del personal del Parque Nacional Natural Isla Gorgona, funcionarios, guardaparques y agentes de policía. Igualmente queremos agradecer muy especialmente a Jairo Pérez Torres y Andrés R. Acosta por sus comentarios, ideas y consejos.

Bibliografía

- Blaustein, A. R. & D. B. Wake**, 1995. Declive en las poblaciones de anfibios. Investigación y Ciencia. Junio, 1995. p. 8-13.
- Chamorro, C.**, 1987. Parque Nacional Isla de Gorgona. Colombia sus gentes y regiones. Instituto Geográfico Agustín Codazzi 5: 2-17. Bogotá.
- Crump, M. L.**, 1974. Reproductive strategies in a tropical anuran community. Miscellaneous Publications (6) University of Kansas. 69 p.
- Crump, M. L. & N. J. Scott**, 1994. Visual Encounter Surveys. In: *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Eds. Heyer, W. , M. A. , Donnelley, R. A. , McDiarmid, L. C. , Hayec & M. C. , Foster. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- DeMaynadier, P. G. & M. Hunter**, 1998. Amphibians and forest edge effects. *Conservation Biology* 12(2): 314-352.
- Hager, H. A.** , 1998. Area-sensitivity of reptiles and amphibians: Are there indicator species for habitat fragmentation?. *Ecoscience* 5(2): 139-147.
- Heatwole, H.** , 1982. A Review of structuring in herpetofaunal assemblages. In: Scott, N. J. (Ed.) *Herpetological Communities*. U. S. Department of the Interior Fish and Wildlife Service. Washington D. C. 239 p.

- Hofer, U. , L. Bersier & D. Borcard**, 2000. Ecotones and gradients as determinants of herpetofaunal community structure in the primary forest of Mount Kupe, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 16: 517-533.
- Hunter, M.**, 1996. Habitat degradation and loss. Chap. 8. In: Hunter, M. (ed.). *Fundamentals of Conservation Biology*. Blackwell Science. USA. p. 179-190.
- Jaeger, R. G.**, 1994. Transect sampling. In: Heyer, W., Donnelley, M. A., McDiarmid, R. A., Hayer, L. C. & Foster, M. C. (Ed.). *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington D. C. 364p.
- Knutson, M. J. , D. Sauer, D. Olsen, M. Mossman, L. Hemesath & M. Lannoo**, 1998. Effects of Landscape Composition and Wetland Fragmentation on Frog and Toad Abundance and Species Richness in Iowa and Wisconsin, U. S. A. *Conservation Biology* 13(6): 1437-1446
- Landers, P., J. Verner & J. Thompson**, 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: A critique. *Conservation biology*. 2: 316-328
- Lister, B. C.**, 1976. The nature of niche expansion in West Indian *Anolis* lizards. I: Ecological consequences of reduced competition. *Evolution*. 30: 659-676.
- Lynch, J. D. & W. C. Myers**, 1983. Frogs of the *fitzingeri* group of *Eleutherodactylus* in eastern Panama and chochoan South America (Leptodactylidae). *Bulletin of American Museum of Natural History*. 175: 481-572.
- Marsh, D. M. & P. B. Pearman**, 1997. Effects of habitat fragmentation on the abundance of two species of Leptodactylid frogs in an Andean montane forest, *Conservation Biology* 11(6): 1323-1328.
- McAleece, N.**, 1997. Biodiversity professional beta 1. Version 2. The Natural History Museum & The Scottish Association for Marine Science. <http://www.nhm.ac.uk/zoology/bdpro>
- Odland, A. , H. J. Birks & J. M. Line**, 1990. Quantitative vegetation-environment relationships in west norwegian fern vegetation. *Nordic Journal of Botany* 10(5): 511-532.
- Osorno, M.**, 1999. Evaluación del efecto de borde para poblaciones de *Eleutherodactylus viejas* (AMPHIBIA: ANURA: LEPTODACTYLIDAE), frente a corredores de servidumbre en diferente estado de regeneración, en dos bosques intervenidos por líneas de transmisión eléctrica de alta tensión. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (23): 347-356
- Pough, H. F.**, 1999. Salamanders, anurans and caecilians. In: Pough, H. F., Janis, C. M. & Heiser, J. B. (Eds.). *Vertebrate Life*. 5 Edition, Prentice Hall, New Jersey (USA). 773p.
- Rangel, J. O. ,** 1995. Islas de Gorgona y Gorgonilla, pp. 145-154 In: Rangel, J. O. (Ed.), Colombia: Diversidad Biótica I. Editora Guadalupe, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Rueda, J. V.**, 1999. Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (23): 475-497
- Saunders D., R. Hobbs & C. Margules**, 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conservation Biology* 5(1): 18-32
- Schlaepfer, M. A. & T. A. Gavin**, 2001. Edge effects on lizards and frogs in tropical forest fragments. *Conservation Biology* 15 (4): 1079-1089.
- Siegel, S. ,** 1980. Estadística no paramétrica. Sexta edición. Editorial Trillas. México. 346 p.
- Ter Braak, C. J. F.**, 1987. The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*. 69: 69-77.
- Ter Braak, C. J. F. & P. Smilauer**, 1998. CANOCO Reference Manual. User's guide to Canoco for Windows. Version 4. Centre for Biometry. Wageningen, The Neederlands. 301p.
- Torres, E.** 1986. Historia de Gorgona, pp. 9-17. In: H. VonPrahll & M. Alberico, (Ed.). *Isla de Gorgona*. Biblioteca textos universitarios, Banco Popular, Bogotá.
- Tocher, M., C. Glascon & B. Zimmerman**, 1997. Fragmentation Effects on a Central Amazonian Frog Community: A ten-Year Study, pp. 815-816. In: Laurance, W. F. & Bierregaard, R. O. (Ed.). *Tropical Forest Remnants*. University of Chicago Press, Chicago, III, USA pp 616.
- Urbina, J. N. ,** 2001. Ensamblaje del género *Eleutherodactylus* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) en transectos borde-interior de bosque andino en el sector Occidental de la Sabana de Bogotá. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ecólogo. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. 66p.
- Vargas, F. & M. E. Bolaños**, 1999. Anfibios y reptiles presentes en hábitats perturbados de selva lluviosa tropical en el bajo Anchicayá, Pacífico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (23): 499-511.
- Young, B. E. , K. R. Lips, J. K. Reaser, R. Ibañez, A. W. Salas, J. R. Cedeño, L. A. Colomna, S. Ron, E. La Marca, J. R. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chaves & D. Romo**, 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology* 15(5): 1213-1223
- Zar, J. H. ,** 1999. Biostatistical analysis. 4 Edition. Prentice Hall inc. New Jersey. U. S. A. 663 p.

LAS CIENCIAS FÍSICAS EN LA REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS

por

Diógenes Campos Romero^{1,2}

Resumen

Diógenes Campos: Las ciencias físicas en la Revista de la Academia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 115-123. 2003. ISSN 0370-3908.

Se incluye un breve análisis sobre la presencia de las ciencias físicas en la “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales” (RCC) durante el lapso 1936-2002, en el cual se publicaron los primeros 100 números de la Revista.

Palabras clave: Ciencias físicas, física

Abstract

A summary review is given of the Physical Sciences presence in the “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales” (RCC) during the time interval 1936-2002, in which the first 100 issues of the journal were published.

Key words: Physical Sciences, Physics.

¹ E-mail: dcamposr@ciencias.unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Física, Bogotá

UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS BIOQUÍMICAS EN COMBINACIÓN PARA LA DETECCIÓN DE PROTEÍNAS DE UNIÓN A CALCIO EN *PLASMODIUM FALCIPARUM*

por

Rodrigo Cabrera¹ & Moisés Wasserman²

Resumen

Cabrera R. & Wasserman M.: Utilización de técnicas bioquímicas en combinación para la detección de proteínas de unión a calcio en *plasmodium falciparum*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(102): 125-131. 2003. ISSN 0370-3908.

El calcio juega un papel fundamental durante el desarrollo del parásito intracelular *Plasmodium falciparum*, agente causante de la malaria. Con el objeto de entender mejor el mecanismo como actúa el calcio en este parásito, se detectaron proteínas de unión a calcio en este organismo. El uso combinando del colorante metacromático «Stains-all» y la técnica de $^{45}\text{Ca}^{2+}$ overlay permitió detectar 9 proteínas de unión a calcio, 6 de las cuales no parecen corresponder a proteínas previamente identificadas, en parásitos maduros. Adicionalmente se determinó que el uso de estas técnicas es un ensayo que puede ser usado durante la detección y purificación de proteínas de unión a calcio.

Palabras clave: *Plasmodium falciparum*, Proteínas de unión a calcio, «Stains-all», ^{45}Ca Overlay, PfERC, PfSub-1, Calmodulina, Calcio.

Abstract

Calcium plays a fundamental role in the development of *Plasmodium falciparum*, the intracellular parasite that causes malaria. With the purpose of understanding the mechanism by which calcium acts in this parasite, Calcium-binding proteins were detected in this organism. The combined use of

1. Universidad de los Andes. Correo electrónico: rodrigocabrera_@hotmail.com

2. Laboratorio de Bioquímica. Instituto Nacional de Salud y Laboratorio de Investigaciones Básicas en Bioquímica LIBBIQ. Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: mwasser@ciencias.unal.edu.co

the metachromatic dye "Stains-all" and the ^{45}Ca Overlay assay allowed the identification, in mature parasites, of 9 calcium-binding proteins, 6 of which seem to be different from any reported calcium-binding protein. Additionally, it was determined that the combined use of these techniques can be useful for the detection and purification of calcium-binding proteins.

Key words: *Plasmodium falciparum*, Calcium-binding proteins, "Stains-all", ^{45}Ca Overlay, PfERC, PfSub-1, Calmodulin, Calcium.

Introducción

El ión calcio (Ca^{2+}) es un importante mensajero intracelular en organismos eucariotas. La concentración citoplasmática de este ión es alterada súbitamente por diferentes estímulos, y, al hacerlo, genera una variedad de respuestas. Entre los múltiples eventos mediados por Ca^{2+} algunos ejemplos son la conducción de estímulos nerviosos, la división celular y la coagulación de la sangre, todos eventos repentinos inducidos por diferentes señales. Los eventos celulares mediados por Ca^{2+} son modulados por proteínas con diversas estructuras y funciones que son capaces de unirse físicamente al ión, y al hacerlo, generar una respuesta (Berridge MJ et al. 2000). Aunque el principal receptor de calcio en las células es la calmodulina, existe un gran número de proteínas que unen calcio.

El papel del calcio en el desarrollo de *Plasmodium falciparum*, el parásito causante de la forma más severa y ampliamente distribuida de malaria, ha sido estudiado con bastante intensidad en los últimos veinte años, y se ha concluido que tiene un rol fundamental en su desarrollo (Krungkrai, J et al. 1982; Tanabe, K et al. 1982; Tanabe, K et al. 1988). Se ha demostrado que en el ciclo asexual del parásito existen eventos de señalización mediados por Ca^{2+} que son indispensables para su desarrollo. Específicamente, se ha visto que la ausencia de Ca^{2+} impide la invasión de eritrocitos por parte del parásito, e interrumpe su desarrollo 16 a 20 horas después de la invasión (Wasserman, M et al. 1982). La naturaleza de estos eventos no se conoce, pero, como son procesos indispensables para la multiplicación del parásito, su inhibición es un enfoque potencial en el tratamiento de la enfermedad.

Se han realizado numerosos estudios sobre el papel que puede jugar la calmodulina en el desarrollo del parásito y la posibilidad de diseñar medicamentos que interfieran con su acción (Robson KJ et al. 1991; Robson KJ 1993; Scheibel LW et al. 1987). Sin embargo, más recientemente la investigación sobre el papel del calcio en el desarrollo de este parásito se ha volcado sobre otras proteínas de unión a calcio. Enfoques moleculares han permitido identificar por lo menos 5 proteínas de unión a calcio que se expresan en el ciclo asexual del parásito

(Blackman MJ et al. 1998; Bhisutthibhan J et al. 1999; La Greca N et al. 1997; Mohrle JJ 1997; Zhao Y et al. 1992; Zhao Y et al. 1993). Sin embargo, estos estudios sólo logran encontrar proteínas de unión a calcio que presenten dominios de unión a calcio homólogos a los registrados en la literatura.

Con el objeto de iniciar un estudio sobre las proteínas de unión a Ca^{2+} que pueden jugar un papel en la señalización mediada por Ca^{2+} en el desarrollo del parásito, se realizó una búsqueda de proteínas capaces de unir Ca^{2+} en *Plasmodium falciparum*. A diferencia de estudios anteriores, en el presente estudio se utilizó un enfoque bioquímico para la búsqueda de estas proteínas, similar al que ha sido utilizado para encontrar proteínas de unión a calcio en otros organismos (Haghighat NG et al. 1992). El uso de técnicas novedosas de coloración y marcación específica permitió detectar nueve proteínas de unión a Ca^{2+} en extractos proteicos de parásitos maduros. Tres de éstas presentan pesos moleculares que corresponden a proteínas de unión a Ca^{2+} reportadas en la literatura, pero las seis restantes parecen ser proteínas novedosas. El estudio de estas proteínas novedosas puede ayudar a entender mejor los procesos de señalización en este parásito y eventualmente servir de fundamento para el desarrollo de nuevos tratamientos para combatir la enfermedad.

Materiales y métodos

Cultivo de parásitos y extracción de proteínas

Se realizó un cultivo de las formas asexuales de *P. falciparum* en eritrocitos humanos según Trager y Jensen (Trager W et al. 1976). Se recogieron parásitos maduros (36 h) a una parasitemia del 5% y se trataron con 0.15% saponina por 10 min. para lisar los eritrocitos. Se centrifugó a 27,000 g por 1 h. y se removieron manualmente los restos de membrana de eritrocito. Se resuspendió el pellet en buffer de extracción (20 mM Hepes/KOH pH 7.5, 1 mM EDTA, 1 mM EGTA, 1 mM DTT, 150 mM NaCl, 1 mM PMSF e inhibidores de proteasas: Pepstatina A 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ Aprotinina 17 $\mu\text{g}/\text{ml}$ fenantrolina 10 $\mu\text{g}/\text{ml}$ Benzamida hidrocloreuro 14 $\mu\text{g}/\text{ml}$). Se trató con ultrasonido por 2 min y se centrifugó a 27,000

g por 15 min. Se clarificó el sobrenadante por medio de centrifugación a 100,000 g por 1 h. Como control, se tomaron cantidades similares de eritrocitos no-infectados y se les sometió al mismo procedimiento.

SDS-PAGE y transferencia a membranas

Se trataron los extractos de proteína con buffer muestra de Laemmli por 5 min a 90 °C y se analizaron por medio de electroforesis en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE) usando un sistema discontinuo (Laemmli UK et al. 1973) con un gel concentrador de 4.4% acrilamida total/2.3% bisacrilamida en 0.250 M Tris-PO₄, pH 6.8 y gel separador de 7% acrilamida total/3% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 para separar proteínas de alto peso molecular o gel separador de 12% acrilamida total/4% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 para separar proteínas de bajo peso molecular. En algunos casos se transfirieron los contenidos de estos geles a membranas de PVDF en cámaras Hoeffer por 20 h. a 20V. En todos los casos se corrió un carril con marcadores de peso molecular preteñidos (BRL).

Detección de proteínas de unión a calcio por medio de tinción con el colorante metacromático "Stains-all"

Se ha señalado que el colorante metacromático "Stains-all" es capaz de generar una coloración diferencial para proteínas de unión a calcio. En el presente estudio se utilizó el método de Campbell (Campbell KP et al. 1983) modificado según Maruyama y Nomomura (Maruyama K et al. 1984). Brevemente, después de la electroforesis, se fijaron los geles con 50% metanol/10% ácido acético por 1 h. Se realizaron 3 lavados de 20 min. con 25% metanol para remover el SDS. Se tiñeron los geles en una solución de 0.0025% "Stains-all", 25% metanol, 7.5% formamida, 0.5 mM EGTA y 30 mM Tris/HCl pH 8.8 por 4 horas protegidos de la luz.

Detección de proteínas de unión a calcio por medio de la técnica de ⁴⁵Ca²⁺ Overlay

La técnica de "⁴⁵Ca²⁺ Overlay" reportada por Maruyama (Maruyama K et al. 1984) es un método común de detectar proteínas de unión a calcio. Después de la electroforesis y transferencia a PVDF, se introdujeron las membranas en una solución de 60 mM KCl, 5 mM MgSO₄ y 10 mM imidazol-HCl pH 6.8, haciendo 3 cambios para lavar el buffer del electrodo. Se incubaron las membranas por 10 min. en una solución de 60 mM KCl, 5 mM MgSO₄ 10 mM imidazol-HCl pH 6.8 y 1 mCi/1 ⁴⁵CaCl₂. Se lavaron las membranas con etanol 50% por 5 min. y se secaron. Se expusieron las membranas a una placa de rayos-X por 10 días.

Migración anómala de proteínas de unión a calcio en geles de poliacrilamida con CaCl₂ y EGTA

Se ha reportado que algunas proteínas de unión a calcio presentan migraciones diferentes en SDS-PAGE cuando la electroforesis se lleva a cabo en presencia y ausencia de calcio. Para confirmar la presencia de proteínas de unión a calcio en extractos de *P. falciparum*, se realizaron electroforesis en geles de poliacrilamida preparados con 1 mM de CaCl₂ y en geles preparados con 0.1 mM de EGTA. Como control se corrió un carril con 2 mg de calmodulina de testículo bovino (Sigma).

Resultados

Las figuras 1 y 2 muestran las proteínas de unión a calcio presentes en los extractos de *Plasmodium falciparum* detectadas usando la técnica de "⁴⁵Ca²⁺ Overlay". Los carriles 1 corresponden a las autorradiografías que se obtuvieron a partir de las membranas incubadas con ⁴⁵Ca, y las bandas que se observan allí corresponden a proteínas que fueron capaces de unir este calcio. Los carriles 2 muestran el extracto de *Plasmodium falciparum* separado por SDS-PAGE y teñido con "Stains-all" donde se observan algunas bandas que pueden corresponder a proteínas de unión a calcio. En el extracto de proteínas de *Plasmodium falciparum* se pudieron observar 9 proteínas de unión a calcio, con pesos moleculares aproximados de 398, 212, 109, 81, 43, 40, 36, 35 y 17 kDa. Estas proteínas se muestran como bandas azules en los extractos teñidos con "Stains-all" con excepción de la banda número 2 con peso molecular de aproximadamente 212 kDa. En el extracto de eritrocitos no infectados que se usó como control se observaron 9 proteínas de unión a calcio (resultados no mostrados). Sin embargo, el patrón de bandas que se obtuvo fue notablemente diferente en ambos extractos, lo que sugiere que no hay una contaminación significativa de proteínas de eritrocitos no infectados en los extractos de parásito.

Para obtener evidencia experimental adicional de su capacidad de unir calcio, se observó la migración diferencial de las proteínas de unión a calcio en presencia y ausencia de calcio. Las figuras 3 y 4 muestran la migración diferencial de las proteínas de unión a calcio del parásito en electroforesis realizadas en presencia y ausencia de calcio. La figura 3 muestra las proteínas de unión a calcio de alto peso molecular que presentan un cambio en su migración en presencia de calcio. Igualmente, la figura 4 muestra las proteínas de unión a calcio de bajo peso molecular que presentan un cambio en su migración. Se observó que las proteínas correspondientes a las bandas 1, 2, 3, 5 y 6 migran a posiciones marcadamente diferen-

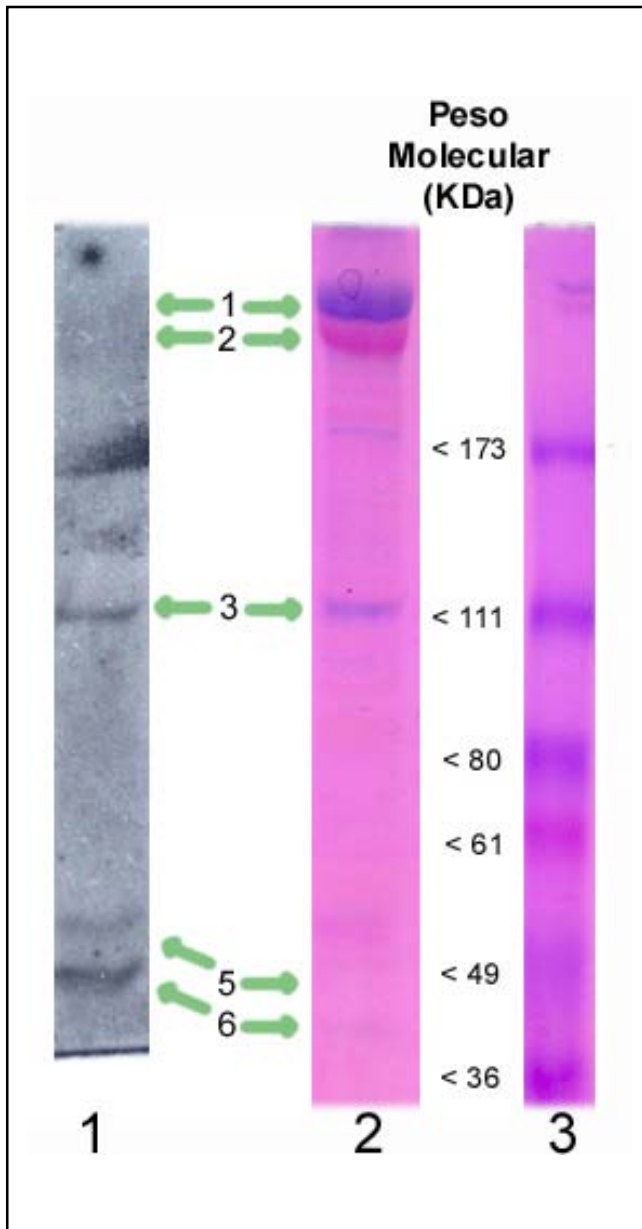


Figura 1. Detección de proteínas de unión a Ca^{2+} de alto peso molecular en *Plasmodium falciparum*.

Se trataron extractos de proteína de *Plasmodium falciparum* con buffer muestra de Laemmli y se analizaron por SDS-PAGE en un sistema discontinuo con un gel concentrador de 4.4% acrilamida total/2.3% bisacrilamida y gel separador de 7% acrilamida total/3% bisacrilamida para separar proteínas de alto peso molecular. Los geles fueron teñidos en 0.0025% "Stains-all", 25% metanol, 7.5% formamida, 0.5 mM EGTA y 30 mM Tris/HCl pH 8.8 por 4 horas (Carril 2) o transferidos a una membrana de PVDF que fue incubada en 60 mM KCl, 5 mM MgSO_4 10 mM imidazol-HCl pH 6.8 y 1 mCi/l $^{45}\text{CaCl}_2$ y expuesta a una placa de rayos-X (Carriles 1). Para determinar los pesos moleculares se corrió un carril de marcadores de peso molecular preteñidos (BRL) (Carril 3). Los pesos moleculares indicados están dados en kiloDaltons (kDa).

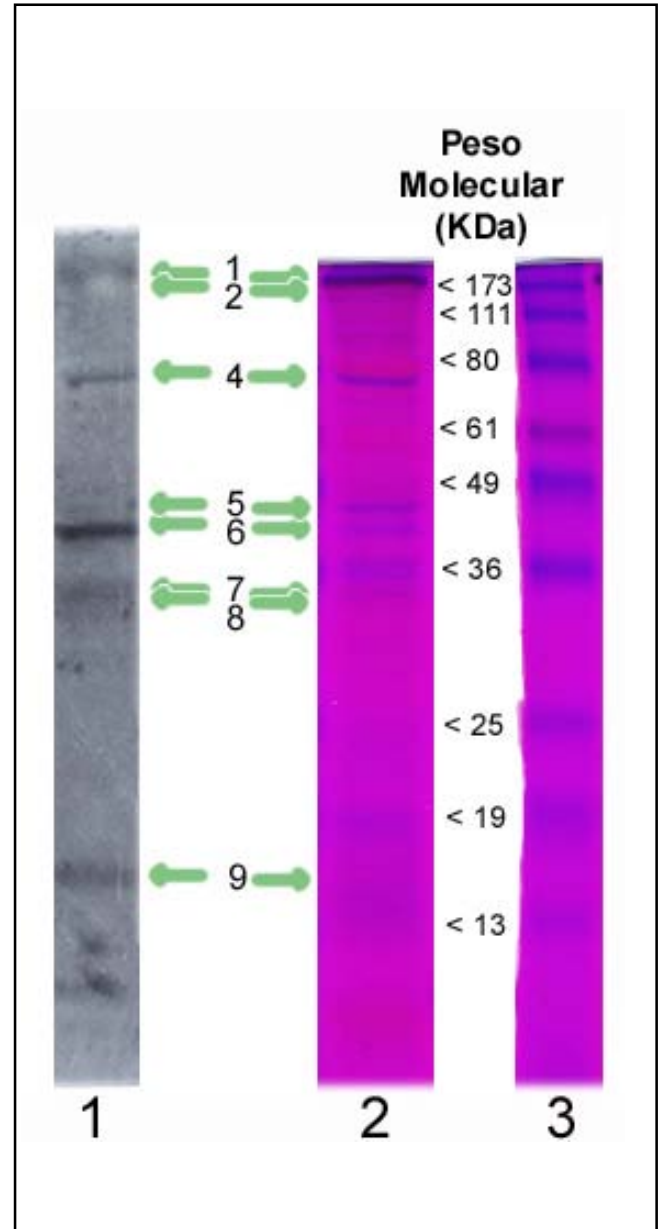


Figura 2. Detección de proteínas de unión a Ca^{2+} de bajo peso molecular en *Plasmodium falciparum*.

Se trataron extractos de proteína de *Plasmodium falciparum* (Carriles 1 y 2) con buffer muestra de Laemmli y se analizaron por SDS-PAGE en un sistema discontinuo con un gel concentrador de 4.4% acrilamida total/2.3% bisacrilamida y gel separador de 12% acrilamida total/4% bisacrilamida para separar proteínas de bajo peso molecular. Los geles fueron teñidos en 0.0025% "Stains-all", 25% metanol, 7.5% formamida, 0.5 mM EGTA y 30 mM Tris/HCl pH 8.8 por 4 horas (Carril 2) o transferidos a una membrana de PVDF que fue incubada en 60 mM KCl, 5 mM MgSO_4 10 mM imidazol-HCl pH 6.8 y 1 mCi/l $^{45}\text{CaCl}_2$ y expuesta a una placa de rayos-X (Carril 1). Para determinar los pesos moleculares se corrió un carril de marcadores de peso molecular preteñidos (BRL) (Carril 3). Los pesos moleculares indicados están dados en kiloDaltons (kDa).

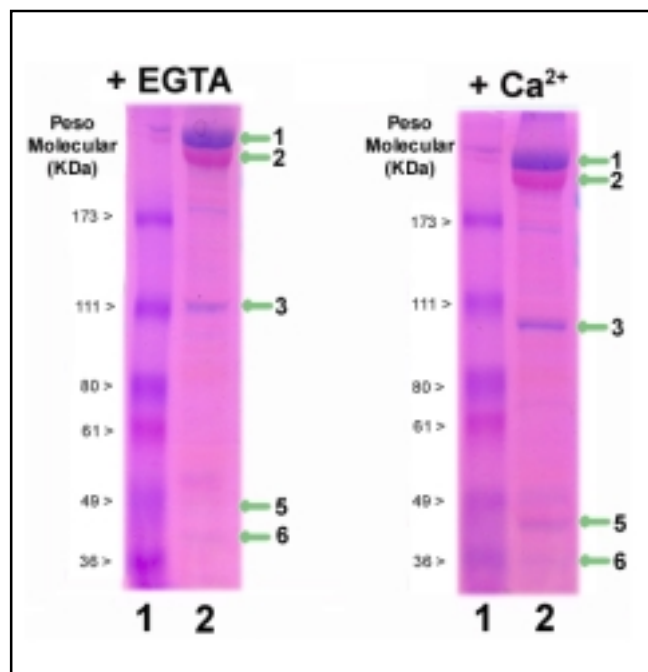


Figura 3. Migración anómala de proteínas de unión a calcio de *Plasmodium falciparum* de alto peso molecular en presencia y ausencia de calcio.

Se separaron extractos de *Plasmodium falciparum* por SDS-PAGE en un sistema discontinuo utilizando un gel separador de 7% acrilamida total/3% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 con 1 mM CaCl_2 y un gel separador de 7% acrilamida total/3% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 con 0.1 mM EGTA (Carril 2). Las proteínas de 398, 212, 108, 43, 40 kDa, marcadas con los números 1,2,3,5 y 6 migran más rápidamente en presencia de calcio. Los pesos moleculares indicados están dados en kiloDaltons (kDa) (Carril 1).

tes (con relación a los marcadores de peso molecular) en geles con calcio y EGTA. Esta observación proporciona evidencia experimental adicional de que éstas corresponden a proteínas de unión a calcio. También se observó un cambio en la migración de la mayoría de proteínas de unión a calcio detectadas en el extracto de eritrocitos no infectados (resultados no mostrados).

Discusión

En este estudio se lograron montar dos técnicas que en conjunto permiten definir las proteínas que unen calcio en un extracto complejo. Las bandas azules observadas en la tinción con "Stains-all" sugieren que las proteínas a las que corresponden pueden ser proteínas de unión a calcio. Sin embargo, no es posible asegurarlo, ya que se ha

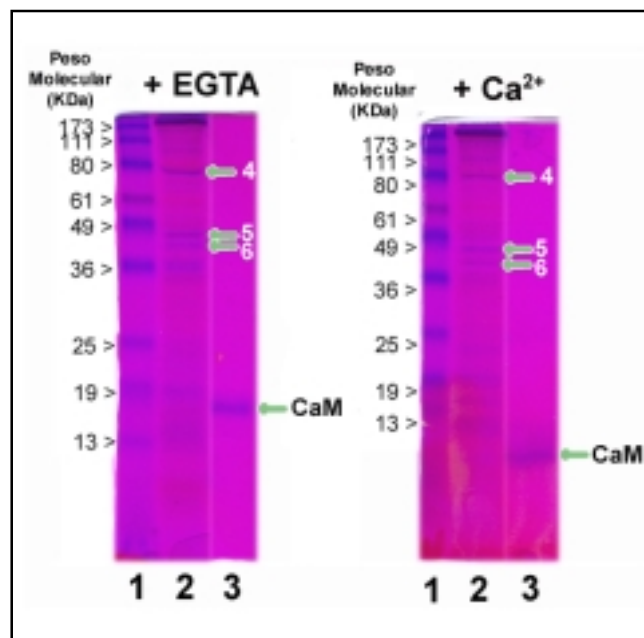


Figura 4. Migración anómala de proteínas de unión a calcio de *Plasmodium falciparum* de bajo peso molecular en presencia y ausencia de calcio.

Se separaron extractos de *Plasmodium falciparum* por SDS-PAGE en un sistema discontinuo utilizando un gel separador de 12% acrilamida total/4% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 con 1 mM CaCl_2 y un gel separador de 12% acrilamida total/4% bisacrilamida en 0.750 M Tris-Cl, pH 8.8 con 0.1 mM EGTA (Carril 2). La proteína de 81 kDa, marcada con el número 4 migra más lentamente en presencia de calcio. Las proteínas de 43 y 40 kDa, marcadas con los números 5 y 6 migran más rápidamente en presencia de calcio. En el carril 3 se utilizaron 2 mg de calmodulina de testículo bovino (sigma) como control. Los pesos moleculares indicados están dados en kiloDaltons (kDa) (Carril 1).

reportado que otras clases de proteínas, como algunas sialoproteínas o glicoproteínas, también muestran una coloración azul con esta tinción. Las bandas obtenidas usando la técnica de $^{45}\text{Ca}^{2+}$ Overlay muestran la capacidad de estas proteínas de unir calcio y representa evidencia conclusiva de que son de hecho proteínas de unión a calcio. Los resultados obtenidos usando la tinción con "Stains-all" y la técnica de ^{45}Ca overlay muestran un alto grado de correlación para las proteínas de unión a calcio en *Plasmodium falciparum*, ya que la mayoría de proteínas que demostraron ser capaces de unir $^{45}\text{Ca}^{2+}$, tiñeron de color azul con "Stains-all". Por lo tanto, las dos técnicas pueden ser usadas en combinación en estudios de detección y purificación de proteínas de unión a calcio en este organismo, aprovechando tanto la especificidad de la técnica de ^{45}Ca overlay y la economía y

sencillez de la tinción con "Stains-all". La observación de la migración diferencial en presencia y ausencia de calcio proporciona evidencia adicional de la capacidad de unir calcio de las proteínas detectadas. La migración diferencial de proteínas de unión a calcio en geles con Ca^{2+} y EGTA puede deberse a cambios conformacionales de las proteínas que alteren su movilidad en los geles.

El uso de estas dos técnicas reveló la existencia de un número de proteínas de unión a calcio presentes en el parásito intracelular *Plasmodium falciparum* con una madurez de 36 horas. Comparando con la literatura sería posible señalar tres de estas proteínas entre las reportadas anteriormente. Sin embargo, por lo menos seis no han sido registradas previamente en la literatura. Las dos proteínas con pesos moleculares mayores de 200 kDa mostradas como las bandas números 1 y 2 en la figura 1, no han sido reportadas en la literatura. Su alto peso molecular y abundancia sugiere que pueden tener un papel estructural en el parásito. Las proteínas de 109 kDa y de 43 kDa, representadas por la bandas números 3 y 5 tienen un peso que no corresponde al de ninguna proteína de unión a calcio reportada. Igualmente, las bandas números 7 y 8 representan proteínas de unión a calcio cuyos pesos no son similares a los de ninguna proteína de unión a calcio registrada en la literatura.

Por otro lado, algunas de las proteínas detectadas tienen pesos moleculares cercanos a los de proteínas reportadas en la literatura. La proteína de 81 kDa correspondiente a la banda número 4 presenta un peso molecular muy similar al de la proteína del parásito PfSub-1, una proteasa dependiente de calcio de la familia de las Subtilisinas, que se sabe tiene un papel durante la invasión del eritrocito. La proteína de 40 kDa, correspondiente a la banda número seis tiene un peso muy similar al de PFERC, una proteína de unión a calcio de la familia de las reticulocalbinas presente en el retículo endoplasmático de *Plasmodium falciparum*. La banda número nueve, que es visible sólo en las autorradiografías realizadas con ^{45}Ca y no en los geles teñidos con "Stains-all", corresponde a una proteína de unión a calcio de aproximadamente 17 kDa. Es muy posible que esta proteína sea la calmodulina del parásito, a juzgar por su peso molecular.

Existen dos proteínas de unión a calcio reportadas en la literatura que no fueron detectadas en el presente estudio: PfCPK y TCTP, con pesos moleculares de 61 y 20 kDa. Es posible que estas proteínas estén presentes en cantidad demasiado baja para ser detectadas con los métodos utilizados, o que por sus características propias o por las proteínas o estructuras a las que se unen hayan sido eliminadas en la preparación del extracto.

El número de estudios que se han hecho buscando proteínas de unión a calcio en *Plasmodium falciparum* muestra la importancia que se le da a la homeostasis de calcio en este parásito. La necesidad de calcio durante el desarrollo del parásito indica la presencia de mecanismos dependientes de calcio que son indispensables para que el parásito pueda llevar a cabo su ciclo de vida. Por esto, dichos mecanismos son prometedores blancos para el desarrollo de nuevos medicamentos. Por todo esto, el estudio de las proteínas identificadas en este trabajo, que permita determinar su estructura y función, es de gran interés dentro de este campo de la parasitología. La metodología mostrada en este estudio presenta excelentes herramientas para utilizar dentro de un eventual ensayo de purificación de las proteínas identificadas.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el Instituto Nacional de Salud de Colombia y por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas" COLCIENCIAS, proyecto BID-Colciencias 2104-04170-95.

Bibliografía

- Berridge MJ, Lipp P, Bootman MD.** (2000) The versatility and universality of calcium signalling. *Nat Rev Mol Cell Biol* **1**(1):11-21
- Bhisutthibhan J, Philbert MA, Fujioka H, Aikawa M, Meshnick SR.** (1999) The *Plasmodium falciparum* translationally controlled tumor protein: subcellular localization and calcium binding. *Eur J Cell Biol.* **78**(9): 665-70.
- Blackman MJ, Fujioka H, Stafford WH, Sajid M, Clough B, Fleck SL, Aikawa M, Grainger M, Hackett F.** (1998) A subtilisin-like protein in secretory organelles of *Plasmodium falciparum* merozoites. *J Biol Chem.* **273**(36): 23398-409.
- Campbell KP, MacLennan DH, Jorgensen AO.** (1983) Staining of the Ca^{2+} -binding proteins, calsequestrin, calmodulin, troponin C, and S-100, with the cationic carbocyanine dye "Stains-all". *J Biol Chem.* **258**(18):11267-73.
- Haghighat NG, Ruben L.** (1992) Purification of novel calcium binding proteins from *Trypanosoma brucei*: properties of 22-, 24- and 38-kilodalton proteins. *Mol Biochem Parasitol.* **51**(1): 99-110.
- Krungkrai, J, Yuthavong Y** (1982) Enhanced Ca^{2+} Uptake by Mouse Erythrocytes in Malarial (*Plasmodium berghei*) Infection. *Molecular and Biochemical Parasitology* **7**, 227-235
- La Greca N, Hibbs AR, Riffkin C, Foley M, Tilley L.** (1997) Identification of an endoplasmic reticulum-resident calcium-binding protein with multiple EF-hand motifs in asexual stages of *Plasmodium falciparum*. *Mol Biochem Parasitol.* **89**(2): 283-93.
- Laemmli UK, Favre M.** (1973) Maturation of the head of bacteriophage T4. I. DNA packaging events. *J Mol Biol.* **80**(4):575-99.

- Maruyama K, Mikawa T, Ebashi S.** (1984) Detection of calcium binding proteins by ^{45}Ca autoradiography on nitrocellulose membrane after sodium dodecyl sulfate gel electrophoresis. *J Biochem (Tokyo)*. **95**(2): 511-9.
- Maruyama K, Nonomura Y.** (1984) High molecular weight calcium binding protein in the microsome of scallop striated muscle. *J Biochem (Tokyo)*. **96**(3): 859-70.
- Mohrle JJ, Zhao Y, Wernli B, Franklin RM, Kappes B.** (1997) Molecular cloning, characterization and localization of PfPK4, an eIF-2alpha kinase-related enzyme from the malarial parasite *Plasmodium falciparum*. *Biochem J*. **328** (Pt 2): 677-87.
- Robson KJ, Jennings MW.** (1991) The structure of the calmodulin gene of *Plasmodium falciparum*. *Mol Biochem Parasitol*. **46**(1): 19-34.
- Robson KJ.** (1993) Sequence diversity in the intron of the calmodulin gene from *Plasmodium falciparum*. *Mol Biochem Parasitol*. **60**(1): 1-8.
- Scheibel LW, Colombani PM, Hess AD, Aikawa M, Atkinson CT, Milhous WK.** (1987) Calcium and calmodulin antagonists inhibit human malaria parasites (*Plasmodium falciparum*): implications for drug design. *Proc Natl Acad Sci USA* **84**(20): 7310-4.
- Tanabe, K; Doi, S** (1988): Rapid Clearance of *Plasmodium yoelii*-infected erythrocytes after exposure to the ionophore A23187. *Comp. Biochem. Physiol.* **92A**: 85-88.
- Tanabe, K; Mikkelsen, Ross B; Wallach, Donald FH** (1982): Calcium Transport of *Plasmodium chabaudi*-infected Erythrocytes. *J. Cell Biol.* **93**: 680-684.
- Trager W, Jensen JB.** (1976) Human malaria parasites in continuous culture. *Science*. 193(4254): 673-5.
- Wasserman, M; Alarcon, C; Mendoza, PM** (1982): Effects of Ca^{2+} on the asexual cell cycle of *Plasmodium falciparum*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* **31**, 711-717.
- Zhao Y, Kappes B, Franklin RM.** (1993) Gene structure and expression of an unusual protein kinase from *Plasmodium falciparum* homologous at its carboxyl terminus with the EF hand calcium-binding proteins. *J Biol Chem*. **268**(6): 4347-54.
- Zhao Y, Kappes B, Yang J, Franklin RM.** (1992) Molecular cloning, stage-specific expression and cellular distribution of a putative protein kinase from *Plasmodium falciparum*. *Eur J Biochem*. **207**(1): 305-13.

DE LA PREDICCIÓN AL ANÁLISIS ANTIGÉNICO: TRAS LAS HUELLAS DE UN EPÍTOPE CONFORMACIONAL

por

Julio C. Calvo^{1,3*}, Juan C. Martínez², Manuel E. Patarroyo¹,
Arnold C. Satterthwait³.

Resumen

Calvo J.C., J.C. Martínez, M.E. Patarroyo & A.C. Satterthwait: De la predicción al análisis antigénico: Tras las huellas de un epítipo conformacional. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(102): 133-140. 2003. ISSN 0370-3908.

Las células T responden a antígenos desnaturalizados o proteolizados, mientras la mayoría de anticuerpos contra proteínas nativas prefieren la conformación nativa, particularmente en proteínas globulares. Se ha observado que anticuerpos monoclonales contra la proteína Pfs25 de *P. falciparum*, bloquean la transmisión de la malaria del humano al mosquito. Uno de estos anticuerpos, el 4B7, se une débilmente al péptido lineal ILDTSNPVKT, para el cual se ha propuesto teóricamente una estructura en forma de bucle "beta-hairpin". Esta predicción se basa en estructuras de proteínas similares al factor de crecimiento epidermal por RMN y por el algoritmo de GORBTURN. Se sintetizaron péptidos lineales y con restricción conformacional a bucle para determinar cuál imitaba mejor el epítipo presente en la proteína Pfs25. Al titular por el ensayo de ELISA el anticuerpo 4B7 y un suero de conejo antigametos contra los péptidos, estos anticuerpos mostraron poca reacción con el péptido lineal y una fuerte reacción con un péptido con estructura en bucle.

Palabras clave: Epítipo conformacional, proteína Pfs25, *P. falciparum*, Análisis antigénico.

Abstract

While T cells respond to a denatured or proteolyzed antigen, most antibodies to native proteins prefer the native conformation, particularly in globular proteins. It has been found that monoclonal antibodies to Pfs25 protein of *P. falciparum* completely block malaria transmission from human sera to the *Anopheles* mosquito. One of these, 4B7, binds weakly to a linear peptide, ILDTSNPVKT, that maps to a predicted beta-hairpin loop. This prediction is based on NMR structures for epidermal

1 Fundación Instituto de Inmunología de Colombia, Cra. 50 No. 26-00, Bogotá, D.C., Colombia.

2 Dpto. Química, Fac. Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

3* The Burnham Institute, La Jolla, CA 92037, USA. A quien se debe dirigir la correspondencia, e-mail jccalvo@eudoramail.com.

growth factor-like proteins and GORBTURN algorithm. Linear peptides and several loops were synthesized in order to determine which one best mimicked the corresponding epitope on Pfs25. The antibody 4B7 and a rabbit antiserum to *P. falciparum* gametes were titered against these peptides in ELISA. These antibodies showed little reaction with linear peptides, and a strong reaction with a loop.

Key words: Conformational epitopes, Pfs25 protein, *P. falciparum*, Antigenic analysis.

Introducción

Grandes esfuerzos se han llevado a cabo para emplear péptidos sintéticos en vacunaciones con la intención de producir anticuerpos (Lerner, 1983); sin embargo, no son muchos los resultados reportados que demuestren que la inoculación con péptidos de un patógeno pueda generar anticuerpos que protejan animales de subsecuentes infecciones (Beachey *et al.*, 1981; Patarroyo *et al.*, 1987). Una vacuna sintética efectiva requiere epítopes B y T en la construcción de la molécula. Mientras las células T responden a antígenos desnaturados o proteolizados, cuando son mostrados por células presentadoras de antígeno (Allen & Unanue, 1984), la mayoría de los anticuerpos contra proteínas nativas prefieren la conformación nativa (Sela, 1969). Esto es particularmente cierto para proteínas globulares. Por esta razón, la conformación y el arreglo espacial relativo de los segmentos constituyentes de un epítope B deben ser considerados para una mayor efectividad en la generación de anticuerpos que reconozcan a la proteína nativa (Jemmerson & Blankenfeld, 1989).

De la gran variedad de epítopes o determinantes antigénicos B en proteínas, sólo unas pocas estructuras han sido resueltas y, en algunas bucles superficiales, estos epítopes ocupan grandes áreas que comprenden entre 12-22 residuos de aminoácido. Un método que puede determinar la estructura completa de un epítope es la preparación de un complejo del fragmento Fab de un anticuerpo monoclonal con su antígeno, su cristalización y la determinación de la estructura usando métodos de difracción de rayos X (Amit *et al.*, 1986; Sapphire *et al.*, 2001). En contraste con el consenso obtenido de las estructuras por rayos X de epítopes de proteínas, aún se encuentra en la literatura respaldo al concepto de que los epítopes en las proteínas consisten de segmentos de alrededor de 6 residuos de aminoácido, los cuales pueden ser imitados o rastreados utilizando péptidos sintéticos de una longitud similar.

Normalmente, los anticuerpos contra epítopes de proteínas son altamente específicos y tienen la habilidad de distinguir proteínas que sólo se diferencian en un aminoácido en la región de unión al anticuerpo

(Alexander *et al.*, 1983; Geysen *et al.*, 1985). Cambios estructurales, inducidos por desnaturalización o modificaciones químicas, pueden resultar en la pérdida total de la capacidad de unión de un antisuero con la conformación nativa de una proteína. El análisis de la secuencia de aminoácidos reveló que el espaciado de las cisteínas de la proteína Pfs25, una proteína de las fases sexuales del ciclo de vida del *P. falciparum* malaria, era similar al factor de crecimiento epidermal (FCE). Es aceptado que la reducción de la proteína causa la pérdida de su estructura secundaria y terciaria y, en el caso de los epítopes conformacionales, también se pierde la reactividad inmunológica (Kaslow *et al.*, 1988; Fries *et al.*, 1989). De ahí que una imitación molecular apropiada de los enlaces disulfuro pueda ser crítica para el correcto plegamiento de las secuencias que contienen los epítopes reconocidos por estos anticuerpos neutralizantes.

La proteína Pfs25 se expresa en la fase sexual del ciclo de vida del *P. falciparum*, cuando el parásito se encuentra en el hospedero mosquito. Esta proteína empieza a ser expresada en la superficie de los gametos en su fase final, es abundante en el cigoto y en el ooquinetto y empieza a desaparecer en el inicio de la fase de oocito. La importancia de esta proteína como antígeno blanco es su alta inmunogenicidad y la limitada diversidad antigénica, debido a que no se expresa cuando el parásito está en el hospedero humano sino en el mosquito; además, anticuerpos generados contra esta proteína han bloqueado en laboratorio la transmisión de la malaria del hombre al mosquito. El estudio de éste y otros antígenos de la fase sexual servirían en el desarrollo de una vacuna de bloqueo de la transmisión, la cual sería un componente clave en los programas de erradicación y control de la malaria.

Para comprender mejor la relación entre la conformación del péptido y la afinidad, se tomó para el diseño y la restricción la secuencia correspondiente al epítope de la proteína Pfs25 que se une al anticuerpo monoclonal neutralizante 4B7 (Van Amerongen *et al.*, 1989; Barr *et al.*, 1991). Para la predicción de la estructura del epítope se utilizó el programa GORBTURN versión 3.0 (Gibrat *et al.*, 1987; Wilmot *et al.*, 1988; Hutchinson *et al.*, 1994), el cual calcula la predicción de giros β basado en la secuencia de aminoácidos. El algoritmo hace uso de dife-

rentes potenciales de formación de giros b, basados en datos de estructura de proteínas obtenidas por cristalografía de rayos X y RMN, y de las preferencias diferenciales en la posición de aminoácidos en la secuencia que los diferentes tipos de giros b exhiben (tipos I, II, I', II', VIII y la categoría de giros No Específicos, NE, para los demás tipos). Este programa usa una ventana de 17 residuos de aminoácido en el algoritmo, lo cual lo hace más útil en la predicción de giros b en secuencias de proteínas que en péptidos cortos.

Basados en el algoritmo de predicción de estructura GORBTURN, se diseñaron y sintetizaron péptidos con restricción conformacional a bucle y el correspondiente péptido lineal. Para la síntesis de los péptidos con restricción conformacional a bucle se usó el método desarrollado por Satterthwait (Arrhenius & Satterthwait, 1990; Chiang *et al.*, 1992; Cabezas & Satterthwait, 1999), en el cual se reemplaza un puente de hidrógeno con un análogo (mimo) covalente, un enlace de hidrazona, que requiere la introducción de los ligandos J (ácido 5,5-dimetoxi-1-pentanóico) y Fmoc-Z(Act)-OH (ácido 1-propilideno-2-Fmoc-hidrazinoacético). Dado que los péptidos que se unen mejor a un anticuerpo lo hacen debido a que ajustan mejor sus formas espaciales, una mayor afinidad nos proporcionará un ensayo sencillo para identificar mimos conformacionales. El anticuerpo monoclonal 4B7 y un suero de conejo antigametos, obtenido al inocular en conejos gametos cultivados en sangre humana, se usaron para demostrar que un péptido conformacionalmente restringido a imitar la estructura tridimensional del epítipo reconocido por anticuerpos monoclonales neutralizantes, se une mejor que un péptido lineal.

Materiales y Métodos

Predicción de la estructura del epítipo conformacional. Para la predicción estructural se tomó la fracción de la proteína Pfs25 correspondiente al tercer dominio tipo FCE (46 residuos de aminoácido) con la secuencia LDTSNPVKT, identificada como objetivo del anticuerpo monoclonal 4B7, en el centro de la secuencia a analizar. Se tomó como base la predicción por el método GORBTURN, debido a que es un programa especializado en la predicción de estructura de secuencias con predominancia en estructuras en giros b. Adicionalmente se compararon los resultados con los obtenidos con el algoritmo de Chou-Fasman y el programa de Frecuencias de Thornton. Se construyeron modelos espaciales teniendo en cuenta los enlaces disulfuro característicos entre las cisteínas 1-3, 2-4 y 5-6 que presentan los dominios

tipo FCE, y las predicciones de la posición del giro b en la secuencia del epítipo reconocido por el anticuerpo 4B7.

Síntesis de los péptidos. Los péptidos lineales y cíclicos (bucles) se sintetizaron en fase sólida. Se utilizaron los aminoácidos protegidos Fmoc-Asn, Fmoc-Asp(tBu), Fmoc-Cys(trt), Fmoc-Gln, Fmoc-Glu(tBu), Fmoc-Phe, Fmoc-Gly, Fmoc-Ile, Fmoc-Leu, Fmoc-Lys(Boc), Fmoc-Ser(Bu), Fmoc-Thr(Bu) y Fmoc-Val. Los péptidos se sintetizaron sobre una resina amida Rink (0.52 mmol/g; NovaBiochem) usando síntesis Fmoc estándar con DIC/HOBt como agentes acoplantes, siguiendo procedimientos ya descritos (Calvo *et al.*, 1999; Calvo & Satterthwait, 2000). Los péptidos se purificaron por cromatografía líquida de alta eficiencia en fase reversa (RP-HPLC) y se caracterizaron por espectrometría de masas.

Prueba de ELISA. Como antígenos se usaron péptidos lineales, péptidos con restricción conformacional a bucle y una proteína recombinante Pfs25 producida en levaduras (yPfs25). Para llevar a cabo las pruebas de ELISA, los péptidos se acoplaron a maleimida-BSA activada (Pierce), siguiendo el protocolo del productor. Como primer anticuerpo se usaron el anticuerpo monoclonal neutralizante 4B7 y un suero policlonal de conejo antigameto. Del anticuerpo monoclonal neutralizante 4B7 se hicieron diluciones de 1/4000, 1/8000, 1/16000, 1/32000, 1/64000, 1/128000 y 1/256000. Del suero de conejo antigameto se hicieron diluciones de 1/20, 1/40, 1/80, 1/160, 1/320 y 1/640. Como segundo anticuerpo, para el ensayo con el anticuerpo monoclonal 4B7, se usó un suero anti-IgG (H+L) de ratón producido en cabras y para el ensayo con el suero de conejo antigameto, se usó un suero anti-IgG (H+L) de conejo producido en cabras, ambos purificados y acoplados a fosfatasa alcalina (Pierce). Para la detección se usó como sustrato de la fosfatasa alcalina el p-nitrofenilfosfato disódico (la reacción genera una coloración amarilla). El resultado se leyó en un titulador de ELISA a una longitud de onda de 405 nm. Como blanco se utilizó una línea de la placa de ELISA sin péptido y se tomó como resultado positivo para cada dilución (título) una diferencia en la densidad óptica de 0.2 con respecto al blanco.

Resultados y Discusión

El método de predicción usando el algoritmo de Chou-Fasman (figura 1), nos muestra la formación de estructuras en giro b sobrelapadas en los residuos DTSN (residuos 122-125) y TSNP (residuos 123-126). Este algoritmo se basa en el cálculo del producto derivado de las probabilidades del aminoácido en cada una de las cuatro posicio-

nes en el giro β , y del cálculo de la frecuencia de posiciones y parámetros conformacionales, sin especificar a qué tipo de giro β se refiere.

El método de predicción de frecuencias de Thornton (figura 1) nos muestra que en la secuencia DTSN (residuos 122-125) del epítipo existe un giro β tipo I. Este algoritmo se basa en potenciales conformacionales, potenciales posicionales y tipo de giro β , dependientes de potenciales posicionales, usando un conjunto de datos de predicción de giros β tipos I y II de 59 proteínas

El método de predicción GORBTURN (figura 1), nos muestra que existe la posibilidad de un giro β no específico (NE) en el segmento comprendido entre los residuos 123-126, TSNP, y un giro β tipo I entre los residuos 125-128, NPVK. Este programa usa una base de datos de 205 proteínas y puede diferenciar entre los giros β tipo I, I', II, II' y VIII, y usa la denominación NE (no específico) para los demás tipos.

Al comparar los resultados obtenidos del programa GORBTURN con el algoritmo de Chou-Fasman y el programa de frecuencias de Thornton (figura 1), se predice la existencia de dos posibles giros β superpuestos en las secuencias DTSN (Chou-Fasman y Thornton) y TSNP (Chou-Fasman y GORBTURN), pero al unir las dos cisteínas de la secuencia original (figura 2-a) se obtiene un giro β en la secuencia SNPV. Para el diseño de los

modelos se tomaron los giros β SNPV y TSNP, debido a que el primero se genera al unir naturalmente las cisteínas de la secuencia original y el segundo es obtenido por el método de predicción GORNTURN, el cual ha resultado ser más preciso para las proteínas con estructuras tipo FCE.

La predicción por cálculo es inferior a una predicción por homología, la cual es posible si una proteína homóloga con estructura terciaria conocida existe en la base de datos de proteínas (PDB). Con este fin se tomó como modelo la proteína del factor de crecimiento y transformación en humanos TGF α , la cual es una proteína típica del tipo FCE que puede ser tomada de la base de datos de proteínas (PDB, identificación: 4tgf). Se tomó el bucle B que estaba más expuesto al entorno, se colocaron en ella los aminoácidos de la proteína Pfs25 correspondientes al epítipo, se unieron las cisteínas por puentes disulfuro, se aplicó el modelo de los ligandos J y Z, y con los resultados de predicción de estructura para la secuencia se obtuvieron los diseños para la síntesis de los péptidos con restricción conformacional a bucle (figura 2).

Examinando el bucle-B del factor de crecimiento y transformación en humanos TGF α , una proteína típica del tipo FCE que puede ser tomada de la base de datos de proteínas (4tgf), este bucle forma una estructura conocida como "b-hairpin" (Kline *et al.*, 1990), el cual está ex-

Posición	106	120	131	151
Secuencia	PNECKNVTCGNGKCI <u>LDTSNPVKT</u> GVCSNIGKVPNVQDQNKCSKD			
	epítipo			
Método	Secuencia	Posición	Predicción de Estructura	
Chou-Fasman	DTSN	122-125	giro β	
	TSNP	123-126	giro β	
Thornton	DTSN	122-125	giro β tipo I	
GORBTURN	TSNP	123-126	giro β tipo NE	
	NPVK	125-128	giro β tipo I	

Figura 1. En la parte superior se muestra la secuencia del tercer dominio tipo FCE de la proteína Pfs25, y se encuentra subrayado el fragmento reconocido por el anticuerpo 4B7 (epítipo). En la parte inferior se muestra un resumen del análisis de estructura, por los tres métodos utilizados, para la secuencia del epítipo.

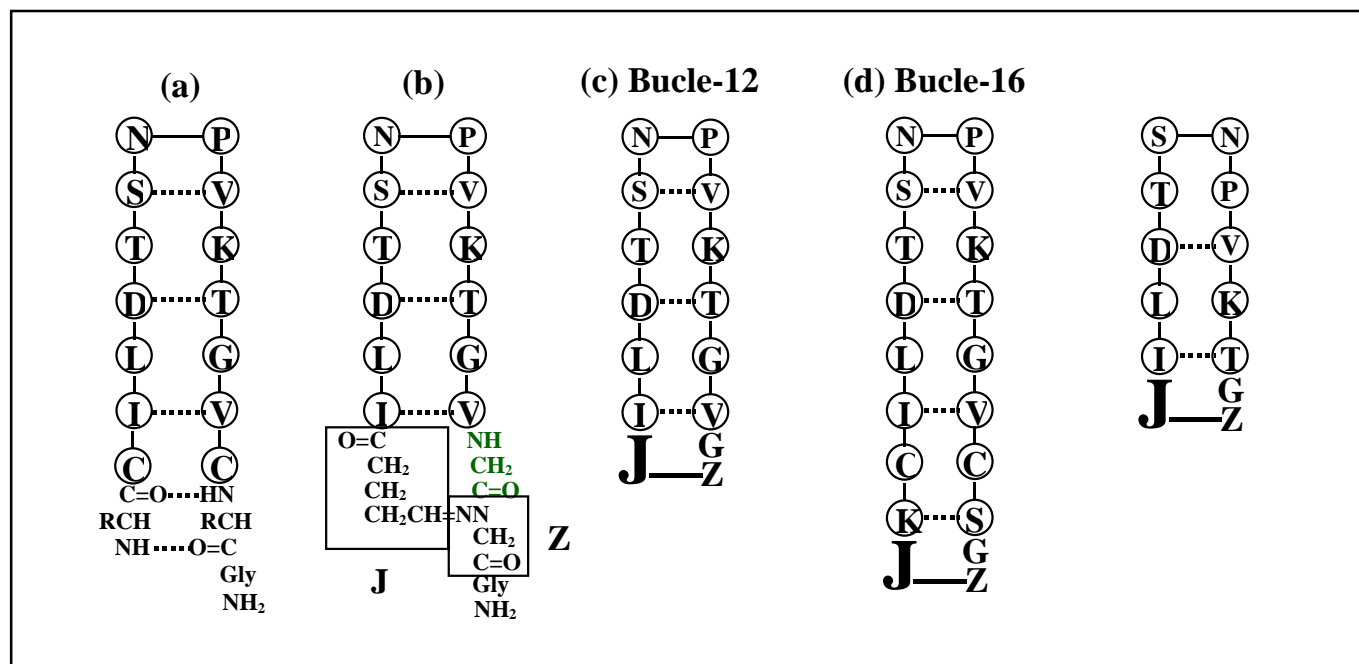


Figura 2. A partir de la secuencia original de la proteína Pfs25 (a), con los posibles enlaces de hidrógeno y el giro b SNPV, se reemplaza uno de los enlaces de hidrógeno de las cisteínas por el mismo covalente de hidrazona, bucle-12, usando los ligandos J y Z (b,c); el siguiente diseño es un bucle más largo, bucle-16, conservando el giro original (d). Por último se muestra el diseño del bucle-10 que contiene el giro b TSNP de la predicción GORBTURN (e).

puesta al solvente en una de sus caras mientras su lado opuesto está parcialmente oculto. Estos bucles se caracterizan por un patrón de residuos de cisteína en la base del bucle que definen las estructuras tipo FCE ya resueltas (enlaces disulfuro entre las cisteínas 1-3, 2-4 y 5-6, y la formación de puentes de hidrógeno entre las hebras b antiparalelas que forman los bucles “b-hairpin”). Con base en lo anterior, se decidió restringir conformacionalmente los péptidos del bucle B de la proteína Pfs25 (CILDTSNPVKTGVC) a “b-hairpins”, y se usó este prototipo de estructura como una guía para sustituir los enlaces de hidrógeno con los mimos covalentes de hidrazona

en la construcción de los modelos (como se indica en la figura 2).

Para la síntesis de los péptidos con restricción conformacional a bucle, se sintetizó un diseño que presentaba el giro b en la secuencia TSNP (predicción fuerte del algoritmo GORBTURN, bucle-10), y dos diseños que tomaban como base el giro b en la secuencia SNPV generado al unir naturalmente las cisteínas de la secuencia original (bucle-12, bucle-16). Adicionalmente, se sintetizaron como referencia los péptidos sin restricción conformacional (lineal-10, lineal-12) análogos a los di-

Tabla 1. Péptidos sintetizados para los ensayos de antigenicidad

Péptido	Residuos	Secuencia	Giro β
Lineal-10	10	Ac-G---ILDTSNPVKT-----GGC	
Bucle-10	10	J-----ILDTSNPVKT-----GZC	TSNP
Lineal-12	12	Ac-G---ILDTSNPVKTGV----GGC	
Bucle-12	12	J-----ILDTSNPVKTGV----GZC	SNPV
Bucle-16	16	J----KCILDTSNPVKTGVCS--GZC	SNPV

seños conformacionales. En la tabla 1 se muestran los péptidos sintetizados para el presente trabajo, en donde el número de residuos del bucle se refiere a los aminoácidos pertenecientes a la secuencia de la proteína y el símbolo Ac de los péptidos sin restricción conformacional indica que el péptido es acetilado en su función amino primaria.

Inicialmente, se llevó a cabo un ensayo de ELISA en donde se usaron como antígenos el bucle-10 (giro b en TSNP), su correspondiente péptido lineal-10, y la proteína recombinante yPfs25, frente al anticuerpo monoclonal ascítico 4B7. En el ensayo se observó una muy fuerte reacción del anticuerpo 4B7 con el bucle-10, una fuerte reacción con la proteína yPfs25, y muy poca reacción con el péptido lineal-10 (figura 3-a). No se tomaron diluciones menores a 1/4000 para este ensayo debido a que el bucle-10 presenta valores fuera del rango de lectura del lector de ELISA. Se determinaron títulos de anticuerpo de 256000 para el bucle-10, de 128000 para la proteína yPfs25 y de 1000 para el péptido lineal-10. Este resultado se puede interpretar como consecuencia de una mayor concentración de moléculas de la secuencia blanco del anticuerpo 4B7 en los 0.2 mg del bucle-10 que en la misma cantidad de microgramos de la proteína recombinante yPfs25.

Luego, se llevó a cabo un segundo ensayo de ELISA utilizando los antígenos bucle-10 (tomado como referencia), bucle-12 (giro b en SNPV), bucle-16 (giro b en SNPV) y el correspondiente péptido lineal-12, frente a un suero de conejo antigametos. No se utilizó la proteína yPfs25 debido a que presentaba valores de densidad óptica fuera del rango de lectura del lector de ELISA a diluciones menores a 1/2560, mientras el bucle-10 presentaba valores muy bajos a esta dilución, haciendo poco útil el trabajo a estas altas diluciones para comparar los bucles diseñados. En este ensayo se realizaron diluciones seriadas de 1/20 hasta 1/640 del suero de conejo antigametos y se observó una fuerte reacción del suero antigametos con el bucle-10, una reacción mediana con el bucle-12 y el bucle-16, y una baja reacción con el péptido lineal-12 (figura 3-b).

La preferencia conformacional del anticuerpo monoclonal ascítico 4B7, que reconoce el epítipo conformacional de la proteína Pfs25, y de los anticuerpos antigameto, presentes en el suero de conejo, por el bucle-10 fue claramente evidente. La importancia de lo observado radica en que se pueden alcanzar significativos incrementos en la antigenicidad cuando se constriñe el péptido a imitar la estructura en bucle tipo "b-hairpin" en la secuencia de la proteína Pfs25 reconocida por el anti-

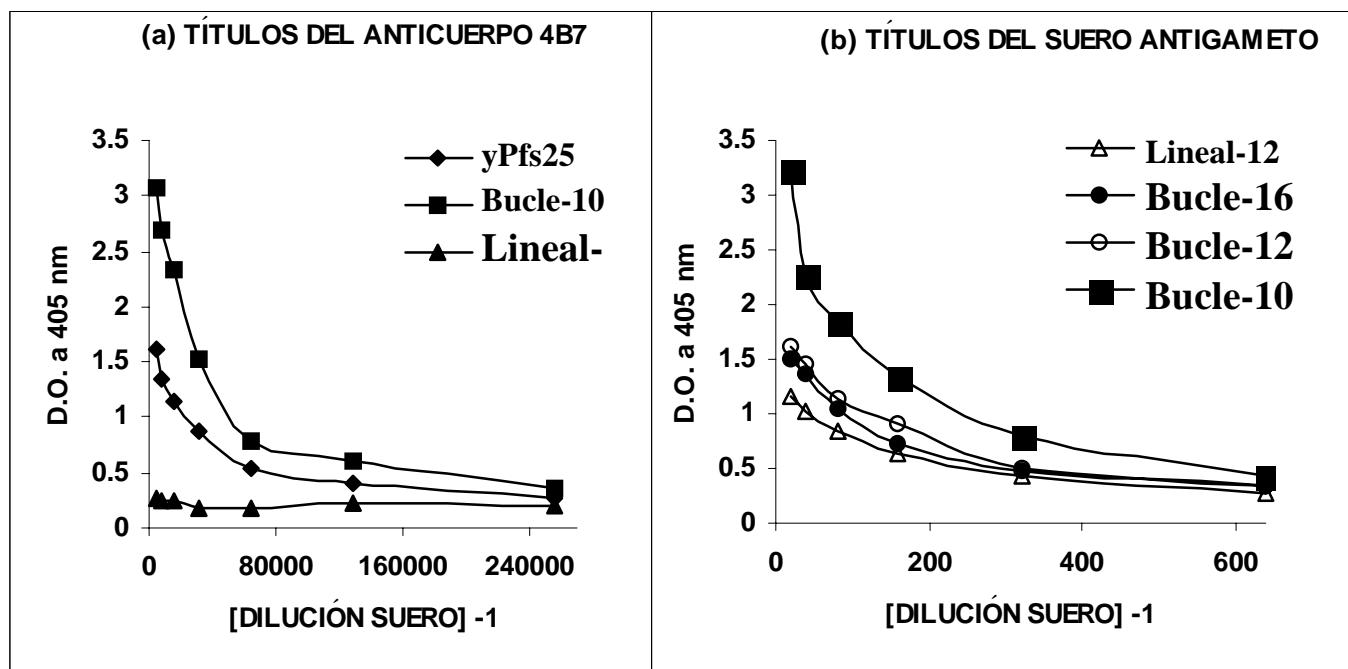


Figura 3. Títulos de ELISA del anticuerpo ascítico 4B7 (Fig. 2-a) y del suero de conejo antigameto (Fig.2-b) con péptidos lineales y con restricción conformacional a bucle unidos a maleimida-BSA.

cuerpo. Adicionalmente, el anticuerpo monoclonal ascítico neutralizante 4B7 se une mejor al bucle-10 diseñado y sintetizado con base en la predicción del algoritmo GORBTURN. Esto demuestra que se puede utilizar este algoritmo de predicción como herramienta útil para sintetizar péptidos con restricción conformacional a bucle que puedan ser distinguidas por un anticuerpo. Sin embargo, los bucles en general y los del tipo "b-hairpin" en particular, pueden venir en muchas formas y no hay garantía de que nuestro modelo haya identificado la mejor estructura objetivo de los anticuerpos. Esto nos lleva a deducir que existe la posibilidad de identificar un mejor mimo de la estructura objetivo a través de una sustitución sistemática de todos los posibles puentes de hidrógeno susceptibles de ser reemplazados con mimos covalentes de hidrazona.

Del presente trabajo podemos extraer las siguientes conclusiones: (i) que el bucle-10 fue el mejor mimo conformacional del epítipo de la proteína nativa Pfs25; (ii) que los perfiles de unión a péptidos lineales y con restricción conformacional se pueden usar para caracterizar la respuesta inmune a epítopes específicos neutralizantes; (iii) que el método de predicción de estructura GORBTURN es una buena herramienta para usar como guía en el diseño y síntesis de péptidos con restricción conformacional a bucle.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a David C. Kaslow del N.I.H., Bethesda, MD, USA, por facilitar los anticuerpos utilizados. Este proyecto recibió el apoyo financiero de la Agency for International Development (DPE-5979-A-00-1035-00), to A.C.S.

Bibliografía

- Allen, P.M. & E.R. Unanue. 1984. Differential requirements for antigen processing by macrophages for lysozyme-specific T cell hybridomas. *J. Immunol.* **132**: 1077-1079.
- Alexander, H., Johnson, D.A., Rosen, J., Jerabek, L., Green, N., Weissman, I.L. & R.A. Lerner. 1983. Mimicking the alloantigenicity of proteins with chemically synthesized peptides differing in single amino acids. *Nature* **306**: 697-699.
- Amit, A.G., Mariuzza, R.A., Phillips, S.E.V. & R.J. Poljak. 1986. Three-dimensional structure of an antigen-antibody complex at 2.8 Å resolution. *Science* **233**: 747-753.
- Arrhenius, T. & A.C. Satterthwait. 1990. *Peptides: structure and biology* (Proceedings of the 11th American Peptide Symposium). ESCOM, Leiden, pp. 870-872.
- Barr, P.J., Green, K.M., Gibson, H.L., Bathurst, I.C., Quakyi, I.A. & D.C. Kaslow. 1991. Recombinant Pfs25 protein of *Plasmodium falciparum* elicits malaria transmission-blocking immunity in experimental animals. *J. Exp. Med.* **174**: 1203-1208.
- Beachey, E.H., Seyer, J.M., Dale, J.B., Simpson, W.A. & A.H. King. 1981. Type-specific protective immunity evoked by synthetic peptide of *Streptococcus pyogenes* M protein. *Nature* **292**: 457-459.
- Cabezas, E. & A.C. Satterthwait. 1999. The hydrogen bond mimic approach: solid-phase synthesis of a peptide stabilized as an α -helix with a hydrazone link. *J. Amer. Chem. Soc.* **121**: 3862-3875.
- Calvo, J.C., Barrera, N.F., García, J.A., Guzmán, F., Espejo, F. & M.E. Patarroyo. 1999. Síntesis de la oxitocina en fase sólida usando terbutoxicarbonilo y fluorenilmetoxicarbonilo derivados. *Rev. Colomb. Quim.* **28**(1): 19-25.
- Calvo, J.C. & A.C. Satterthwait. 2000. Identificación de un epítipo conformacional en el extremo carboxilo de la proteína MSP-1 de *P. falciparum*. *Rev. Colomb. Quim.* **29**(2): 15-23.
- Chiang, L.C.; Cabezas, E.; Calvo, J.C. & A.C. Satterthwait. 1992. Peptides: biology and structure (Proceedings of the Chinese Peptide Symposium 1992). Du, Y., Tam, J.P. & Zhang, Y.S. (Eds.), ESCOM, Leiden, pp. 204-206.
- Fries, H.C., Lamers, M.B., Smits, M.A., Ponnudurai, T. & J.H. Meuwissen. 1989. Characterization of epitopes on the 25kD protein of the macrogametes/zygotes of *Plasmodium falciparum*. *Parasite Immunol.* **11**: 31-45.
- Geysen, H.M., Barteling, S.J. & R.H. Meloen. 1985. Small peptides induce antibodies with a sequence and structural requirement for binding antigen comparable to antibodies raised against the native protein. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **82**: 178-182.
- Gibrat, J.F., Garnier, J. & B. Robson. 1987. Further developments of protein secondary structure prediction using information theory. New parameters and consideration of residue pairs. *J. Mol. Biol.* **198**: 425-443.
- Hutchinson, E.G. & J.M. Thornton. 1994. A revised set of potentials for beta-turn formation in proteins. *Protein Sci.* **3**: 2207-2216.
- Jemmerson, R. & R. Blankenfeld. 1989. Affinity consideration in the design of synthetic vaccines intended to elicit antibodies. *Molec. Immunol.* **26**(3): 301-307.
- Kaslow, D.C., Quakyi, I.A., Syin, C., Raum, M.G., Keister, D.B., Coligan, J.E., McCutchan, T.F. & L.H. Miller. 1988. A vaccine candidate from the sexual stage of human malaria that contains EGF-like domains. *Nature* **333**: 74-76.
- Kline, T.P., Brown, F.K., Brown, S.C., Jeffs, P.W., Kopple, K.D. & L. Mueller. 1990. Solution structures of human transforming growth factor α derived from 1h NMR data. *Biochemistry* **29**: 7805-7813.
- Lerner, R.A. 1983. Synthetic vaccines. *Scient. Am.* **248**(2): 66-74.
- Patarroyo, M.E., Romero, P., Torres, M.L., Clavijo, P., Moreno, A., Martínez, A., Rodríguez, R., Guzman, F. & E. Cabezas. 1987. Induction of protective immunity against experimental infection with malaria using synthetic peptides. *Nature* **328**: 629-632.
- Saphire, E.O., Parren, P.W.H.I., Pantophlet, R., Zwick, M.B., Morris, G.M., Rudd, P.M., Dwek, R.A., Stanfield, R.L.,

- Burton, D.R. & I.A. Wilson.** 2001. Crystal structure of a neutralizing human IgG against HIV-1: a template for vaccine design. *Science* **293**: 1155-59.
- Sela, M.** 1969. Antigenicity: some molecular aspects. *Science* **166**: 1365-1374.
- Van Amerongen, A., Sauerwein, R.W., Beckers, P.J.A., Melen, R.H. & J.H.E.T. Meuwissen.** 1989. Identification of a peptide sequence of the 25 kD surface protein of *P. falciparum* recognized by transmission-blocking monoclonal antibodies: implications for synthetic vaccine development. *Parasite Immunol* **11**: 425-428.
- Wilmot, C.M. & J.M. Thornton.** 1988. Analysis and prediction of the different types of beta-turn in proteins. *J. Mol. Biol.* **203**: 221-232.

UNA ESPECIE NUEVA DE SERPIENTE
CORAL (ELAPIDAE, *MICRURUS*),
DE LA REGIÓN DE URRÁ,
MUNICIPIO DE TIERRA ALTA,
CÓRDOBA, NOROCCIDENTE
DE COLOMBIA

por

Juan Manuel Renjifo¹ y Mikael Lundberg¹

Resumen

Renjifo, J. M. & M Lundberg: Una especie nueva de serpiente coral (Elapidae, *Micrurus*), de la región de Urrá, municipio de Tierra Alta, Córdoba, noroccidente de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(102): 141-144. 2003. ISSN 0370-3908.

Se describe una especie nueva de serpiente coral (*Micrurus*, Elapidae), cuyo patrón de coloración, caracterizado por anillos completos negros y amarillos además de una franja ancha de color rojo sobre el dorso a todo lo largo del cuerpo, la diferencia de cualquier otra especie de serpiente coral del género *Micrurus*. Los dos ejemplares hasta ahora capturados fueron encontrados en el campamento de Funcionarios (8° 1' 3.4"N, 76° 11' 8.1"W) represa hidroeléctrica de Urrá I, en el municipio de Tierra Alta a 90 msnm en el departamento de Córdoba.

Palabras clave: Coral, especie nueva, serpiente.

Abstract

A new species of coral snake (*Micrurus*, Elapidae) with a very peculiar color pattern, characterised by complete black and yellow rings in addition to a wide red band over the dorsum along the entire body is described. This feature sets it apart from all other species of coral snakes of the genus *Micrurus*. The only two specimens known were captured in the Funcionarios field camp (8° 1' 3.4"N, 76° 11' 8.1"W) in the hydroelectric power plant Urrá I, in the Municipio de Tierra Alta at 90 meters above sea level in the Departamento de Córdoba, Colombia.

Key words: Coral snake, new species, snakes.

¹ Grupo Antivenenos, Instituto Nacional de Salud, jrenjifo@hemagogus.ins.gov.co

Introducción

En el curso de nuestras investigaciones sobre la herpetofauna de la Costa Caribe colombiana y en particular de la región de Urrá en el noroccidente colombiano, encontramos una pequeña serpiente del género *Micrurus* cuyo patrón de coloración no permitía su inclusión en ninguna de las especies conocidas. La captura de otro ejemplar nos ha permitido llevar a cabo un estudio más detallado y proponer la existencia de la nueva especie que se describe a continuación.

Micrurus camilae sp. nov. (Fig. 1A)

Micrurus sp. C: Renjifo & Lundberg. 1999: 53, 93.

Holotipo: Un ejemplar macho juvenil depositado en la colección de reptiles del Instituto de Ciencias Naturales, ICN 8506, obtenido el día 09 de noviembre de 1999, por Mikael Lundberg.

Paratopótipo: Un ejemplar macho juvenil ICN 8507, hallado en la misma localidad a pocos metros del sitio de captura del holotipo el día 5 de octubre de 1999, encontrado en la piscina del campamento en las horas de la mañana por el señor Apolinar de Jesús Ortega Urango.

Localidad típica: COLOMBIA, departamento de CÓRDOBA, municipio de Tierra Alta, campamento de Funcionarios, represa Hidroeléctrica de Urrá I (8° 1' 3.4"N, 76° 11' 8.1"W) a 90 metros sobre el nivel del mar.

Diagnos: Una especie de serpiente coral de coloración bicolor (anillos negros y amarillos alternados) con una franja ancha mediodorsal de color rojo a lo largo de todo el cuerpo, incluyendo la cabeza y la cola. Esta característica la distingue de todas las otras serpientes del género *Micrurus*.

Etimología: Esta especie está dedicada a María Camila Renjifo, quien está mostrando un creciente interés en los renacuajos, y creo necesario que empiece a observar las bellezas del mundo de los reptiles.

Descripción del holotipo: Escama rostral más ancha que alta (1.79 mm x 1.28 mm) visible dorsalmente; dos internas más largas que anchas (1.04 mm x .97 mm), dos prefrontales igual de largas que de anchas (1.35 mm); la escama frontal más larga que ancha (1.93 mm x 1.54 mm), dos escamas parietales más largas que anchas (3.19 mm x 1.68 mm), escama loreal ausente, nasales divididas y una preocular más larga que ancha (1.09 mm x 0.68 mm). Escamas postoculares en disposición 2/2, temporales 1/1. Labiales superiores en número de 7/7, la tercera y cuarta en contacto con el ojo; infralabiales 7/7, el primer par en contacto; una escama mentoniana más larga que ancha y un

par de escamas geniales. Escamas ventrales en número de 269, escama anal dividida, escamas subcaudales divididas en número de 41/42. Hileras de escamas dorsales en número de 15, sin reducción. Ejemplar juvenil (cicatriz umbilical visible) con tamaño del cuerpo y de la cola de 265.0 mm y 26.8 mm de largo respectivamente.

Largo de la cabeza de 8.80 mm (extremo anterior de la rostral hasta la articulación); ancho de la cabeza medido inmediatamente detrás del ojo: 3.56 mm. La relación largo cabeza / longitud de cuerpo = 0.033; la relación largo cola / longitud del cuerpo = 0.101 y la relación ancho de cabeza / largo de cabeza = 0.40.

Paratopótipo: Largo cuerpo 247.0 mm. Dorsales en número de 15 hileras sin reducción, escamas anal y subcaudales divididas. Otros datos de escamado no se pudieron tomar ya que el ejemplar está parcialmente destruido en el momento de su captura.

El ejemplar presenta la misma coloración del ejemplar tipo.

Coloración en vida. La coloración negra de la cabeza se extiende desde la rostral hasta las supraoculares incluyendo gran parte de la frontal (excluyendo el borde posterior) y el borde anterior de las parietales; lateralmente el casquete negro incluye las primeras 4 supralabial y las postoculares. Ventralmente las escamas mentonianas y las dos primeras escamas infralabiales están salpicadas de negro lo que contrasta con el color amarillo pálido del resto de escamas ventrales de la cabeza. La franja de color rojo escarlata cubre el extremo posterior de la frontal, las parietales y las 5-7 escamas supralabiales y se va desvaneciendo gradualmente hacia las labiales. Las escamas de la región gular presentan una coloración amarillo pálido. El cuerpo presenta una coloración alternada de anillos completos negros y amarillo pálido, una ancha franja de color rojo escarlata que se extiende sobre todo el cuerpo y la cola cubriendo 9 hileras de escamas dorsales a partir de la 4 hilera de escamas dorsales a cada lado del cuerpo.

El primer anillo negro se inicia sobre la región occipital cubriendo las escamas dorsales de la segunda a la octava hileras seguido por un anillo amarillo pálido de 5 hileras de escamas de ancho. El cuerpo (incluyendo la cabeza y cola) presenta un total de 31 anillos negros, los cuales cubren de 4 a 8 escamas dorsales de ancho, alternados con 30 anillos amarillo pálido de 5 a 7 escamas de ancho. Hacia la parte ventral del cuerpo los anillos negros cubren 3-5 escamas ventrales y los anillos amarillos 3-7 ventrales. La cola presenta 4 anillos negros y 4 anillos claros, estos últimos ligeramente más anchos que los negros. El paratopótipo presenta 36 anillos negros y 35 anillos amarillos. Dorsalmente, los anillos negros cubren de 3 a 5 escamas y los anillos claros

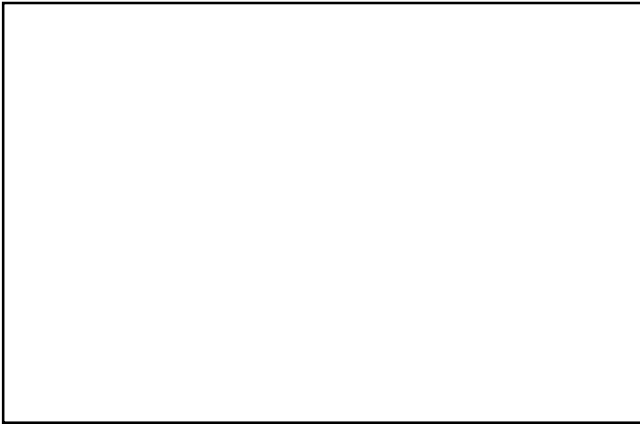


Figura 1. *Micrurus camilae*, nov sp, Holótipo ICN 8506, Campamento Funcionarios, Represa Hidroeléctrica de Urrá I, Departamento de Córdoba.

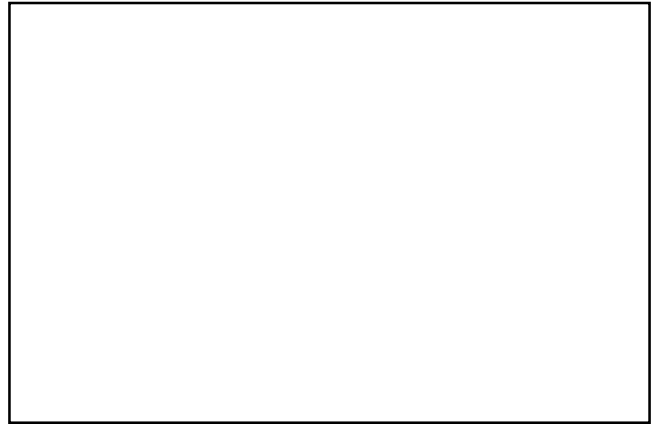


Figura 4. *Micrurus multiscutatus*, Tambo, departamento del Cauca.

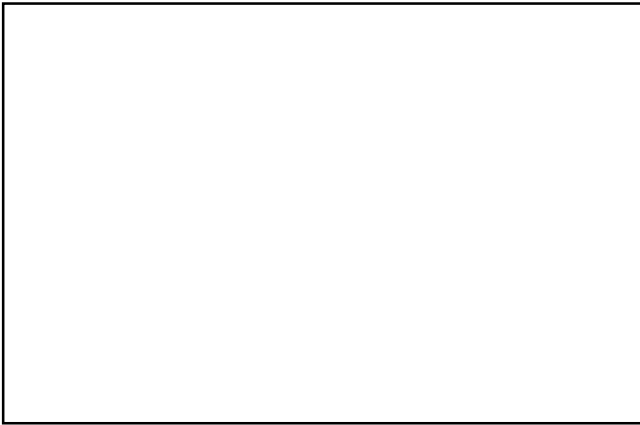


Figura 2. *Scolecophis atrocinctus*, UTA_R 23460, Quiché, Guatemala (Fotografía de Jonathan Campbell).

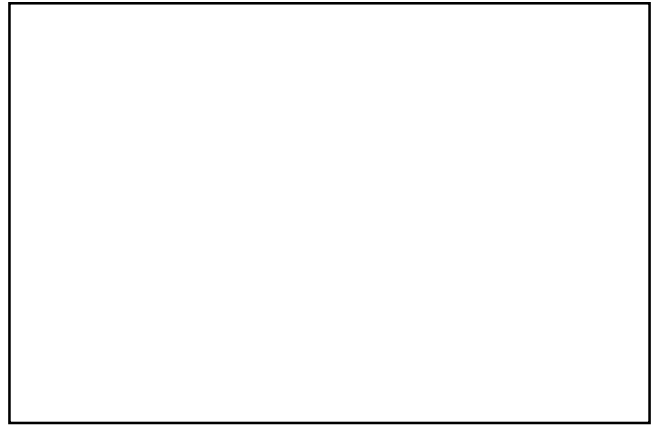


Figura 5. *Micrurus dissoleucus*, Coveñas, departamento de Sucre.



Figura 3. *Micrurus mipartitus*. Bucaramanga, departamento de Santander.



Figura 6. *Oxyrhopus petola*, Represa Hidroeléctrica de Urrá I, departamento de Córdoba.

Tabla 1. Comparación de características de especies de coloración bicolor

	Número anillos negros. cuerpo/cola	Ancho anillo negro Dorsal/ventral	Ancho anillo claro dorsal/ventral	ventrales/caudales
<i>Micurus camilae</i>	31-36/4	3-8/2-4	5-7/3-7	269/42
<i>M. mipartitus</i>	43-59 / 1-5	4-6 / 2-4	1/2-3	242-249 / 25-33
<i>M. multifasciatus</i>	40-55 / 3-5	4-6 / 2-4	1-2/2-3	250-265 / 29-33
<i>M. multiscutatus</i>	59 / 3-4	3-4 / 2-3	2-3/3-4	295 / 30
<i>M. stewarti</i>	13-25 / 3-5	8-14 / 7-12	2-4/3-6	200-207 / 50-55
<i>M. spurrelli</i>	47-53 / 6-7	3-4 / 2-4	2/2-3	231-241 / 35-37
<i>Scolecophis atrocinctus</i>	36-38 / 5-7			181-198 / 45-54

cubren 3 a 6 escamas dorsales. Ventralmente los anillos negros cubren de 2 a 4 escamas y los amarillos 3-7 escamas ventrales. El paratopótipo está deteriorado, y perdió la cola. La coloración es igual a la del holótipo.

Coloración en alcohol al 70%: El color amarillo desaparece quedando anillos blancos y negros, la franja mediodorsal de color rojo pálido, la cual con el tiempo desaparecerá.

Distribución. La especie es conocida únicamente de la localidad típica; los dos ejemplares fueron capturados a unos 300 metros de distancia el uno del otro.

Discusión

Con el ánimo de unificar criterios, **Savage & Slowinski** (1990) proponen una clasificación de los patrones de color basada en la disposición de los anillos negros y claros, tanto para las corales venenosas del género *Micurus* como para especies miméticas no venenosas. Siguiendo esta clasificación, *M. camilae* presenta una coloración particular que corresponde al patrón de coloración bicolor en cuanto a la disposición de los anillos negros y claros, pero difiere de ésta en que adicionalmente presenta una franja dorsal ancha de color rojo que cubre todo el dorso del cuerpo desde la cabeza hasta la extremidad posterior de la cola.

Entre las corales que presentan coloración bicolor se hallan: *M. mipartitus*, (Figura 2), *M. multifasciatus*, *M. multiscutatus* (Figura 3), *M. stewarti* y *M. spurrelli*, sin embargo existen marcadas diferencias en cuanto al tamaño y número de anillos, así como con respecto al número de escamas dorsales y ventrales (Tabla 1). Tal vez la especie que presenta mayor similitud en coloración es *Scolecophis atrocinctus* (Figura 4), colúbrido cuya distribución va desde los bosques montañosos de Honduras hasta Costa Rica (**Peters & Miranda**, 1970, **Taylor, E. H.** 1951). *Scolecophis*

atrocinctus presenta un patrón de coloración similar que difiere de *M. camilae* únicamente por la coloración cefálica dorsal negra (**Campbell & Lamar**, 1989). Aunque no se puede hablar de mimetismo entre estas especies ya que no son simpátricas y *S. atrocinctus* no ha sido registrada en Colombia. En la región de Urrá, además de *M. camilae*, se han registrado tres especies de serpientes que presentan combinación de anillos negros y claros (**Renjifo & Lundberg**, 1999), la coral venenosa *M. dissoleucus* con una coloración dispuesta en tríadas (Figura 5), así como *Urotheca euryzona* y *Oxyrhopus petola* (Figura 6), dos especies de serpientes no venenosas, estas dos últimas consideradas como especies miméticas de las corales (**Greene & McDiarmid** 1981, **Campbell & Lamar**, 1989, **Savage & Slowinski**, 1990). *Urotheca euryzona*, presenta una coloración de anillos negros y blancos que no tiene ninguna semejanza con las corales del área, mientras que la especie *O. petola* presenta una coloración bicolor de manchas negras y rojas las cuales corresponderían tanto en tamaño de los anillos negros y rojos como en disposición a la que se observa en la superficie dorsal de *M. camilae* (Figura 1).

Bibliografía citada

- Campbell, J. A., & W. W. Lamar.** 1989. The Venomous Reptiles of Latin America. Cornell Univ. Press, Ithaca. NY. 425 pp
- Greene, H. W. & R. W. McDiarmid.** 1981. Coral snake mimicry: does it occur? Science 213: 1207-1212.
- Renjifo J. M. & M. Lundberg.** 1999. Guía de Campo Anfibios y Reptiles de Urrá. Editorial Colina, Medellín. 96 pp.
- Roze, J. A.** 1996 Coral Snakes of the Americas, Biology, Identification and Venoms. Krieger Publishing Co. Malabar, Florida 327 pp
- Savage, J. M. & J. B. Slowinski.** 1990. A simple consistent terminology for the basic colour patterns of the venomous coral snakes and their mimics. Herpetology Journal 1: 530-532.
- Taylor, E. H.** 1951. A brief review of the snakes of Costa Rica. Univ. Kansas Sci. Bull. 34: 1-188.

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL ACADÉMICO LUIS EDUARDO MORA-OSEJO EL 7 DE NOVIEMBRE DE 2002 EN EL PARANINFO DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO, CON OCASIÓN DE SUSCRIBIRSE UN CONVENIO

Con profunda satisfacción y alegría me enteré de la decisión de las directivas del Alma Máter de los colombianos, la Universidad Nacional de Colombia, y del Alma Máter de los nariñenses, nuestra Universidad de Nariño, de suscribir un convenio en esta fecha que habrá de incorporarse a la historia de las dos instituciones, en cuanto permitirá que ambas Universidades pongan en marcha, de consuno, un programa de formación científica y académica, fundamentado en claros principios metodológicos, organizacionales, estructurales y funcionales.

Entre otros, el programa en referencia tendrá el soporte del personal académico de las dos instituciones con experiencia investigativa, contará con instalaciones en el campo, y facilidades de laboratorio y de biblioteca. Todo, tras el objetivo de transformar fundamentalmente, en nuestro país, la enseñanza y aprendizaje de las ciencias de la naturaleza; de tal manera que la enseñanza despierte en el alumno el interés y la curiosidad por los fenómenos naturales; el espíritu analítico-crítico y sobre todo la reflexión que lleve a la formulación de interrogantes sobre el “por qué” de este o de aquel otro fenómeno y, desde allí, proponer las explicaciones debidamente fundamentadas y dar el salto a la creatividad.

Es decir, la adopción de estrategias formativas promotoras de la contextualización de los conocimientos, mediante la enseñanza y el aprendizaje también contextualizado dentro de las complejas realidades de un medio tropical montañoso y multifacético. Vale decir, de cara a las realidades de nuestros litorales, selvas, llanuras, altas montañas y páramos andinos. Así, nuestros entornos dejarían de ser paradójicamente considerados, por nosotros mismos, como medios extraños y dar paso a la con-

cepción de ellos como escenario de nuestro desarrollo cultural, científico, económico y social.

El aprendizaje repetitivo de textos e informes sería sustituido por el interés de contemplar, llenos del mayor asombro, nuestras complejas, multifacéticas y aparentemente impredecibles realidades naturales, étnicas e históricas. Las mismas que sujetas a análisis y reflexiones espontáneas, inducidas por aquellas calidades de la formación académica a las que ya hemos hecho referencia, de seguro, motivarían al estudiante a formularse él mismo preguntas sobre el por qué de tal o cual fenómeno, que ha llamado su atención y por lo mismo quisiera saber cómo se originó, cuáles fueron las interrelaciones con otros fenómenos de la realidad que coincidieron en su iniciación o que determinaron que ocurriera.

Con la misma motivación que dio origen a las preguntas y a la formulación de los problemas, se plantearían las explicaciones hipotéticas, así como las evidencias de ellas derivables y, desde luego, los experimentos que las pondrían a prueba, ya sea para robustecerlas y convertirlas, poco a poco, en nuevos conceptos, o nuevas abstracciones explicativas o en nuevos conocimientos consolidados. Pero también lo contrario, o sea, que si contradicen la realidad o si ocurren falencias metodológicas habría que desecharlas.

Pero para que este nuevo proceso formativo del estudiante que lo habilite como creador de explicaciones y de conocimientos desde su condición de “sujeto”, inmerso en el contexto de las realidades que lo rodean y motivan por comprender los fenómenos individuales naturales o sociales del medio circundante es necesario, más pronto que tarde, ojalá desde la niñez y a lo largo de los niveles

de educación primaria y secundaria que las nuevas experiencias y conocimientos determinen que se sienta cada vez más cerca de esa realidad, más compenetrado con el conocimiento de ella. Luego, ya como alumno de los niveles superiores, podrá avanzar al conocimiento de las formas de aprovechamiento de los recursos sin que ello implique su desaparición o deterioro.

He ahí, en síntesis, el objetivo general de la contextualización de la enseñanza de las ciencias naturales y sociales con nuestras realidades y las razones que justifican superar la enseñanza formalista y el aprendizaje momentáneo y memorístico.

Los conocimientos sobre las realidades de otros contextos cercanos o remotos al nuestro, al medio tropical andino, tendrían interés en cuanto experiencias, ejemplos de lo ocurrido en otros ámbitos y aún como puntos de referencia, útiles para fortalecer la formación educativa endógena, contextualizada en nuestras realidades, mas nunca para sustituir el objetivo de la compenetración profunda con nuestros propios contextos; o menos aún para imitarlos, copiarlos y transformarlos sin haber siquiera comprendido de qué se trata.

Las directivas de la Universidad Nacional y de la Universidad de Nariño, al igual que ilustres personajes de la vida cultural nacional y regional han captado con toda claridad estos objetivos, y han aceptado ponerlos en práctica bajo la concepción didáctica y metodológica según la cual la propia realidad del entorno se convierta en la gran motivación de la adquisición de conocimientos y las que así surgirán, paulatinamente nuevas metodologías, nuevas aplicaciones, nuevas formas de aprovechamiento económico sustentable de nuestros recursos. Los mismos recursos que complementados mediante el valor agregado del conocimiento, ya no podrían ser subvalorados o, aun despreciados por nosotros mismos.

Por lo mismo se ha aceptado que las facilidades puestas a disposición del nuevo Programa Educativo que inicialmente se referirá al campo de la biología tropical andina de Nariño, disponga, a modo de núcleo central, de un Instituto de Investigaciones y formación ambiental de alta montaña, situado en el Páramo de Pueblo Viejo, relativamente cerca, a los Páramos del Colimba, Cumbal, Chiles, Paja Blanca y Quitasol, entre otros, que rodean el altiplano tuquerreño. Todos, caracterizados por su relativa alta luminosidad y por constituir la transición entre las altas montañas húmedas del norte de Colombia y las cada vez más secas montañas del hemisferio sur del continente, en particular en lo que a la vertiente occidental andina se refiere.

Poco a poco se complementarían la red mediante la instalación de estaciones de campo, como lo recomendaba ya el Consejo Académico de la Universidad de Nariño del año 2000, en la Bahía de Tumaco, en los manglares, en la selva pluvial de Barbacoas y Altaquer, en La Planada, el Cañón del Guabo, de los volcanes nevados de Cumbal y Chiles del Cañón del Guáitara, de los páramos de los volcanes del Galeras y del Doña Juana, cercanos al Valle de Atrís, los páramos azonales de la Laguna de La Cocha y los cañones áridos y profundos con fuertes corrientes convectivas de aire seco y caliente del Juanambú, Pasto y Patía.

Es decir, la compleja diversidad de los ecosistemas del Nudo de los Pastos estará abierta a la investigación científica para alcanzar su conocimiento científico por parte, sobre todo, de las nuevas generaciones que interactuarán cada vez más intensamente con tal diversidad y contribuirán al fortalecimiento cultural y al desarrollo social y económico de inspiración endógena de la región y del país.

Muchas gracias Sr. Gobernador del Departamento de Nariño, Sra. Ministra del Medio Ambiente, Sr. Alcalde de la ciudad San Juan de Pasto, Sr. Rector de la Universidad de Nariño, Sr. representante del Sr. Rector de la Universidad Nacional de Colombia, distinguidos Miembros de los Consejos Universitarios, señores profesores y estudiantes.

Sea la oportunidad de expresar, como nariñense, mi más profundo reconocimiento a quienes nos han prestado su concurso para que esta iniciativa sea una realidad. Desde el principio contó con el apoyo de los rectores magníficos aquí presentes, del Sr. Vicerrector de la Universidad Nacional, Dr. Leopoldo Múnera. Del Secretario General de la Universidad de Nariño, por entonces, el Dr. Luis Navas Rubio, así como de los señores miembros del Consejo Académico de la Universidad de Nariño, en el año 2000.

Deseo expresar, de manera especial, como nariñense, mi más profunda gratitud al profesor Jorge Bedoya y a su familia, por su gran generosidad hacia su tierra, al decidir ceder los terrenos de su propiedad necesarios para la instalación del Centro de Estudios Ambientales de Alta Montaña, en la Reserva de Pueblo Viejo.

Deseo, asimismo, expresar mis más profundos agradecimientos a los señores profesores de Biología de la Universidad de Nariño. En fin, a quienes impulsaron la iniciativa y formularon importantes recomendaciones para su pronta puesta en marcha.

Mis parabienes a todos, en esta fecha, cuando comienza a ser una incontrastable realidad lo que todos, de consuno, habíamos anhelado para nuestra querida tierra nariñense.

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL ACADÉMICO LUIS EDUARDO MORA-OSEJO EN LA REUNIÓN DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA DEL CARIBE, SANTO DOMINGO, NOVIEMBRE DE 2002

Permítanme presentarles mi más cordial saludo y al mismo tiempo manifestarles que para mí es motivo de la más honda satisfacción compartir con Uds. esta reunión con la cual se iniciará una nueva etapa en las actividades académicas y científicas de la Comunidad Científica del Gran Caribe. Reunión que tiene lugar en esta acogedora y bella ciudad de Santo Domingo, tan rica en historia y de tanto significado cultural para América Latina.

Sea la oportunidad de reiterar ante tan respetable auditorio, presidido por tan distinguidas personalidades, los principios que expuse en la reunión de la Junta Directiva de la Comunidad Científica del Caribe que tuvo lugar en la ciudad de Bogotá: solamente, mediante el trabajo compartido y los esfuerzos que de consuno realicemos, finalmente alcanzaremos el objetivo de fortalecer la capacidad científica de nuestros países. Capacidad ahora y siempre tan necesaria para abordar los problemas, cada vez más complejos de los tiempos que corren y de los que habrá de sobrevenir en el futuro.

Del éxito que alcancemos en esta tarea dependerá también la posibilidad de que seamos capaces de diseñar un plan de desarrollo, de inspiración endógena, cuya realización conduzca, a la postre, al bienestar de todos los miembros de nuestras sociedades.

Como es bien sabido y universalmente aceptado del conocimiento científico que nosotros mismos seamos capaces de generar, mediante el escudriñamiento sistemático y metódico de nuestras realidades naturales, ambientales, socioeconómicas, históricas, políticas y culturales, dependerá en buena parte que obtengamos éxito y logremos alcanzar la meta de diseño poner en práctica un modelo de desarrollo de inspiración endógena; como tal, independiente y promotor entre otros de nuestra soberanía nacional.

Tal como lo sentíamos y expresábamos en nuestras reuniones anteriores, es nuestro deber como Comunidad Científica del Caribe contribuir a fortalecer en nuestros respectivos países la capacidad científica propia que ponga a nuestro alcance el desarrollo de un conocimiento significativo y, al mismo tiempo, cada vez más profundo de nuestras realidades, de nuestras potencialidades. De lo contrario, continuará profundizándose la brecha que nos

separa de los países llamados desarrollados, al tiempo que simultáneamente será cada día mayor nuestra dependencia económica de tales países.

De allí que cada día sería más urgente fortalecer la calidad de la educación en todos sus niveles y, en especial, los sistemas pedagógicos y metodológicos tras el objetivo de lograr mayor eficiencia en la formación de las nuevas promociones de científicos. Así se robustecerá la calidad de la investigación científica y devendrá en herramienta eficaz para ampliar y mejorar cada vez más y más, el conocimiento científico, en particular, de nuestras realidades.

Me parece que en ello radica la trascendencia del comunicado que suscribimos en Bogotá el año pasado, para insistir ante nuestros gobiernos sobre la necesidad de adoptar políticas dirigidas a promover programas de cooperación entre los países de la región, inspirados en modelos de desarrollo de inspiración endógena, que a manera de luminaria nos alumbren en la tarea y nos muestren el camino para abordar y solucionar los problemas comunes a todos nuestros países.

Dado el importante papel que corresponde a la educación en el logro de esta meta, más pronto que tarde, deben ponerse en práctica políticas dirigidas a estrechar los nexos entre las instituciones de todos los niveles del sistema educativo y a crear redes de cooperación para las distintas disciplinas del saber, que abarquen en toda su extensión la región del Gran Caribe.

Por lo mismo, considero acertado que durante nuestras reuniones en la ciudad de La Habana, en Cartagena de Indias y en Bogotá, hayamos asumido el compromiso solemne, entre otros, de trabajar e integrar esfuerzos, diseñar acciones que nos permitan compartir las capacidades ya existentes en nuestros respectivos países y extender sus beneficios a toda la región del Gran Caribe, mediante programas de intercambios de profesores y estudiantes y de proyectos de Investigación compartidos.

Por la misma razón, como presidente de la CCC, posición para cuyo desempeño tuve el alto honor de haber sido elegido, una vez aprobados los estatutos que rigen la Comunidad, en la ciudad de Cartagena de Indias, insistí

en la necesidad urgente de complementar programas de robustecimiento de la capacidad científica regional, mediante la puesta en marcha de Redes de Cooperación entre las comunidades científicas respectivas, las universidades y, en fin, las entidades de educación científica encargadas de promover la cooperación científica en la región, pertenecientes a las disciplinas de las ciencias naturales y sociales, así como a los diferentes campos de aplicación del conocimiento.

Propuse también el fortalecimiento de la comunicación e información entre el Estado, la Comunidad Científica y los responsables de las decisiones de los sectores productivos, de tal manera que surja la posibilidad de diseñar y poner en práctica proyectos de investigación aplicada. A título de complemento de lo anterior, propuse la implementación de programas de formación científica en los niveles básico, secundario y universitario, dirigidos tanto a estudiantes como a maestros. Estos programas deberían apoyarse en el método de la internalización de las disciplinas y prácticas científicas. Así, se dinamizará el sistema educativo, el cual, más pronto que tarde, debe estar robustecido por los métodos de la ciencia y de la cultura científica, engendradores de creatividad.

Todo, desde luego, concediendo la más alta prioridad a la «contextualización» con la realidad de los conocimientos científicos universales, consolidados en otras latitudes mediante la confrontación crítica de tales conocimientos con los fenómenos de nuestras complejas y frágiles realidades, de nuestro medio tropical, tan dife-

rente del de la remota Europa, cuna del conocimiento científico moderno.

Es esta también la filosofía en la cual se apoyó el Proyecto presentado a ICSU para su financiación en marzo del año pasado y que mereció elogios por lo novedoso, inclusive por los representantes de ICSU. El mismo Proyecto que a finales del año pasado fue discutido y aprobado en la reunión de Bogotá, como quedó consignado en el Acta que suscribimos de común acuerdo al concluir la reunión de Bogotá, que tuvo lugar durante los días 23 y 24 de noviembre del año pasado. En la misma Acta quedaron consignados otros no menos importantes proyectos, cuyo logro habrá de contribuir a fortalecer la C.C.C.

Desde luego, pienso que con el transcurrir del tiempo y en la medida en que se fortalezcan los altos propósitos bajo los cuales fue creada la Comunidad Científica del Caribe, esos mismos propósitos dejarán de ser simples enunciados inspirados en la buena voluntad común que a todos nos anima y devendrán en espléndidas realidades para bien de nuestros países, de nuestra cultura y del porvenir de la región del Gran Caribe.

Por la misma razón, permítanme felicitar a quienes han recibido el honroso y merecido encargo de dirigir la Comunidad Científica del Gran Caribe durante el período que hoy se inicia y, al mismo tiempo, desearles el mejor de los éxitos en el logro de estos empeños y, desde luego, de los propios Programas que ellos mismos propondrán, oportunamente, a la C.C.C.

CONSTITUCIÓN DE LA ACADEMIA

JUNTA DIRECTIVA

Período 2002 - 2004

Presidente	:	Moisés Wasserman Lerner
Vicepresidente	:	Hernando Dueñas Jiménez
Secretario	:	José A. Lozano-Iriarte
Tesorero	:	Inés Bernal de Ramírez
Bibliotecario	:	Diógenes Campos Romero
Director de la Revista	:	Santiago Díaz-Piedrahita
Vocal	:	Luis Eduardo Mora-Osejo

MIEMBROS HONORARIOS

Carlo Federici Casa	Mohamed H. Hassan	Rodolfo R. Llinás
Hernando Groot Liévano	Thomas van der Hammen	

MIEMBROS DE NÚMERO

Sucesión de las sillas. Se distingue con asteriscos (*) a los miembros fundadores y con un punto (O) a los académicos que han pasado a la situación de extranumerarios (Art. 15 de los Estatutos)

- † Jorge Acosta Villaveces - 1936*.
† Leopoldo Guerra Portocarrero - 1954.
† Eduardo Acevedo Latorre - 1970.
Eduardo Calderón Gómez - 1984.
- † Jorge Álvarez Lleras - 1936*.
O Alfonso Tribín Piedrahita - 1967.
Xavier Caicedo Ferrer (e).
- † Antonio María Barriga Villalba - 1936*.
† Kalman C. Mezey - 1957.
Lorenzo Panizzo Durán - 1984.
- † Alberto Borda Tanco - 1936*.
† Hernando Franco Sánchez - 1960.
Manuel del Llano Buenaventura - 1986.
- † Julio Carrizosa Valenzuela - 1936*.
† Eduardo Caro Caycedo - 1976.
Jairo Mojica Corzo - 1997.
- † Víctor E. Caro - 1936*.
Jorge Arias de Greiff - 1966.
- † Luis Cuervo Márquez - 1936*.
† Daniel Mesa Bernal - 1960.
Jesús A. Eslava Ramírez - 1995.
- † Federico Lleras Acosta - 1936*.
† Andrés Soriano Lleras - 1957.
Gabriel Toro González - 1976.
- † Ricardo Lleras Codazzi - 1936*.
† Luis Duque Gómez - 1960.
Guillermo Páramo Rocha - 2001
- † Rafael Torres Mariño - 1936*.
Hernando Groot Liévano - 1966 (H).
José María Rincón - 2001
- † César Uribe Piedrahita - 1936*.
† Clemente Garavito Baraya - 1970.
Jaime Lesmes Camacho - 2002
- † Darío Rozo Martínez - 1936*.
† Luis Guillermo Durán Solano - 1970.
Jairo Charris Castañeda - 2002
- † Calixto Torres Umaña - 1936*.
† José María Garavito Baraya - 1970.
Humberto Rodríguez Murcia - 1993.
- † Luis María Murillo Quinche - 1936*.
† Hno. Daniel González Patiño - 1976.
Víctor Samuel Albis González - 1992.
- † Enrique Pérez Arbeláez - 1936*.
† Gerardo Reichel Dolmatoff - 1973.
Alicia Dussan de Reichel - 1994.
- † Luis López de Mesa - 1937.
Luis Eduardo Mora Osejo - 1970.
- † Luis Patiño Camargo - 1937.
† Guillermo Castillo Torres - 1983.
Diógenes Campos Romero - 2001.
- † Daniel Ortega Ricaurte - 1938.
O Alberto Morales Alarcón - 1970.
Vacante
- † Julio Garzón Nieto - 1939.
† Gustavo Perry Zubieta - 1970.
Hernando Dueñas Jiménez - 1989.
- † Ernesto Osorno Mesa - 1939.
Luis E. Gaviria Salazar - 1981.
- † Armando Dugand Gneco - 1941.
† Álvaro Fernández Pérez - 1973.
Enrique Forero González - 1997
- † Alfonso Esguerra Gómez - 1944.
† Carlos Páez Pérez - 1970.
Santiago Díaz-Piedrahita - 1988.
- † Jesús Emilio Ramírez - 1944.
Julio Carrizosa Umaña - 1983.
- † Luis H. Osorio - 1944.
† Antonio Olivares - 1966.
† José Rafael Arboleda C. - 1982.
Carlos Corredor Pereira - 1996.
- † Fabio González Tavera - 1945.
† Eduardo Rico Pulido - 1970.
† Carlos E. Acosta Arteaga - 1973.
Dimas Malagón Castro - 2002.
- † Eduardo Lleras Codazzi - 1945.
† Sven Zethelius Peñalosa - 1966.
Augusto Rivera Umaña - 1996.
- † Marcelino de Castellví - 1945.
† Francisco Lleras Lleras - 1970.
† Álvaro Torres Barreto - 1990.
Margarita Perea Dallos - 1996.
- † Manuel José Casas Manrique - 1945.
María Teresa Murillo Pulido - 1975.
- † Belisario Ruiz Wilches - 1946.
Moisés Wasserman Lerner - 1992.
- † Guillermo Muñoz Rivas - 1950.
Paulina Muñoz Vila - 1994.
- † Jorge Ancizar Sordo 1951.
Eduardo Posada - 1993.
- † Alfredo Bateman 1951.
Carlos E. Vasco Uribe - 1992.
- † Jorge Bejarano - 1951.
† Gabriel Sanín Villa - 1970.
O Jaime Ayala Ramírez - 1973.
Polidoro Pinto Escobar - 2001.
- † Vicente Pizano Restrepo - 1952.
José A. Lozano Iriarte - 1992.
- † Luis Augusto Cuervo - 1952.
† Santiago Triana C. - 1970.
Gonzalo Correal Urrego - 1984.
- † José Ignacio Ruiz - 1952.
Gerardo Pérez Gómez - 1995.
- † Lorenzo Uribe Uribe - 1952.
Inés Bernal de Ramírez - 1986.
- † Carlos Ortiz Restrepo - 1956.
Eduardo Brieva Bustillo - 1980.
- † Augusto Gast Galvis - 1957.
José Luis Villaveces Cardoso - 1988.
- O Hernando J. Ordóñez - 1957.
Jaime Rodríguez Lara (e).

MIEMBROS CORRESPONDIENTES ACTIVOS

Andrade Amaya, Carlos Alberto - Cartagena
Andrade, M. Gonzalo - Bogotá
Arboleda, Luis Carlos - Cali
Ardila Robayo, María Cristina - Bogotá
Barrera, Luis Alejandro - Bogotá
Buruticá Céspedes, Pablo - Medellín
Bustillo Pardey, Alex Enrique (e) - Manizales
Cadena García Alberto - Bogotá
Cadena Gómez, Gabriel (e) - Chinchiná
Cala Cala, Plutarco - Bogotá
Camacho Bernal, Ángela - Bogotá
Cantera Kintz, Jaime R. (e) - Cali
Caraballo, Luis - Cartagena
Castañeda del Gordo, Elizabeth - Bogotá
Castaño Zapata, Jairo (e) - Manizales
Castillo Córdoba, Rodolfo - Barranquilla
Castro, Alfonso - Texas, USA.
Cediel, Fabio - Bogotá
Chacón de Ulloa, Patricia (e) - Cali
Chamorro Bello, Clara - Bogotá
Cossio Betancur, Jorge Iván (e) - Medellín
Díaz Merlano, Juan Manuel (e) - Santa Marta
Duque Beltrán, Carmenza - Bogotá
Echeverri López, Luis Fernando (e) - Medellín
Egea Bermejo, Eduardo - Barranquilla
Escobar José Fernando - Ithaca, USA

Espinosa, Armando - Armenia
Fernández-Alonso, José Luis - Bogotá
Gaviria, Santiago - Viena, Austria
George Jaime - Bogotá
Gómez Moreno, Bernardo - Bogotá
Gordillo, Gerardo - Bogotá
Guzmán Ángela María - Bogotá
Hermelín, Michel - Medellín
Herrera Valencia, Sócrates (e) - Cali
Jaramillo Robledo, Álvaro - Manizales
Jaramillo Gómez, Luz Marina (e) - Cali
Lleras Pérez, Eduardo - Brasilia
Lynch, John D. - Bogotá
Martínez Collantes, Jorge - Bogotá
Martínez Valderrama, Juan - Bogotá
Mojica, Tobías - Bogotá
Moreno, Carlos Julio - New York
Moreno, Luis Enrique - México
Nieto, José Ignacio - Montreal
Olivero Verbel, Jesús - Cartagena
Ospina Hernández, Mariano - Boston
Pérez Alcázar, Germán Antonio - Cali
Poveda Ramos, Gabriel - Medellín
Prieto, Pedro Antonio - Cali
Puerta Llerena, Leonardo - Cartagena
Vargas Zapata, Rubén Antonio (e) - Cali

MIEMBROS CORRESPONDIENTES EXTRANJEROS

ARGENTINA

Sahade, Jorge - Buenos Aires

ALEMANIA

Schnetter, Marie-Luise - Giessen
Schnetter, Reinhard - Giessen
Weber, Hans - Mainz
Sturm, Helmut - Hildesheim

AUSTRIA

Flamm, Dieter - Institut für Theoretische Physik, Viena.
Sheidegger Adrian - Institut für Theoretische Geodäsie und Geophysik - Viena

ESPAÑA

Bermejo Barrera, Jaime - Tenerife
De Porta Vernet, Jaime - Barcelona
Fernández de Soto Morales, Fernando - Madrid
Lora Tamayo, Manuel - Madrid
Torroja Menéndez, José María - Madrid

ESTADOS UNIDOS

Horvath, John (e) 1301 Mathematics Building
Collage Park, Maryland 20742-4015.
Pipoly, John James - Fairchild Tropical Garden
Coral Gables. Florida

FRANCIA

Lourteig, Alicia - Muséum National d'Histoire Naturelle Laboratoire de Phanerogamie, París.
Tricart, Jean - Centre de Géographie Appliquée
Estrasburgo

HOLANDA

Cleef, Antoine M. - Amsterdam

MÉXICO

Guzmán Huerta, Gastón - Instituto de Ecología, Depto. de Hongos, Xalapá, Veracruz.
Joseph-Nathan, Pedro. Centro de Estudios Avanzados. Depto. de Química. Instituto Politécnico - México

PERÚ

Pulgar Vidal, Javier - Lima

SUECIA

Wassén, Henry S. - Gotemburgo

PUBLICACIONES DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

COLECCIÓN JORGE ÁLVAREZ LLERAS

- Volumen 1 - **Mora-Osejo, L.E.** 1987. Estudios morfológicos, autoecológicos y sistemáticos en Angiospermas. 1/16. 196 pp, 75 figs.
- Volumen 2 - **Murillo, M.T. & M.A. Harker.** 1990. Helechos y plantas afines de Colombia. 1/16. 326 pp, 145 figs.
- Volumen 3 - **Lozano-Contreras, G.** 1994. Las Magnoliaceae del Neotrópico 1/16, 148 pp, 46 figs.
- Volumen 4 - **Eslava Ramírez, J.A.** 1994. Aspectos relacionados con la erupción del volcán Nevado del Ruiz. 1/16, 174 pp, 46 figs.
- Volumen 5 - **Rocha de Campos, M.** 1994. Diversidad en Colombia de los cangrejos del género *Neostrengeria*. 1/16 iv + 144 pp, 47 figs.
- Volumen 6 - **Mora-Osejo, L. E. & H. Sturm.** 1994. Estudios ecológicos del páramo y del bosque altoandino, cordillera Oriental de Colombia. Tomos 1 y 2, 1/16, 716 pp, 190 figs.
- Volumen 7 - **Díaz, J.M., J. Garzón-Ferreira & S. Zea.** 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia, estado actual y perspectivas para su conservación. 1/16, 152 pp, 15 figs, 14 tablas, 9 fotografías.
- Volumen 8 - **Eslava Ramírez, J.A.** 1995. Régimen de la presión atmosférica en Colombia. 1/16, 152 pp, 94 figs, 59 tablas.
- Volumen 9 - **Donato, J.Ch., L. E. González & C. L. Rodríguez.** 1996. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. 1/16, 168 pp, 53 figs, 14 tablas, 9 fotografías.
- Volumen 10 - **Andrade-C. M., G. Amat & F. Fernández.** (eds.) 1996. Insectos de Colombia - Estudios escogidos. 1/16, 544 pp, 145 figs, tablas y mapas.
- Volumen 11 - **González, F.** 1998. Inventario preliminar de gases de efecto invernadero en Colombia, 1990, Fuentes y sumideros. 1/16, xiv + 174 pp, 108 figs, tablas y gráficas.
- Volumen 12 - **Díaz-Piedrahita, S. & J. Cuatrecasas.** 1999. Asteráceas de la flora de Colombia, Senecioneae I, géneros *Dendrophorbium* y *Pentacalia*. 1/16, 392 pp, 110 figs, 24 mapas.
- Volumen 13 - **Amat, G., M. C. Andrade, M. G. & F. Fernández** (eds.) 1999. Insectos de Colombia. 1/16, 438 pp. + tablas, figuras y mapas.
- Volumen 14 - **Rodríguez, H. & F. González.** Opciones para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia. 1/16 (262 pp.)
- Volumen 15 - **Rodríguez, H. & González, F.** 2000. Portafolio colombiano de proyectos para el MDL –sector en energía–. 1/16 (164 pp.)
- Volumen 16 - **Espinosa, Baquero A.** 2000. Erupciones históricas de los volcanes colombianos, 1/16. (292 pp.)
- Volumen 17 - **Mora Osejo, L. E.** 2001. Contribuciones al estudio comparativo de la conductancia y de la transpiración foliar de especies de plantas del páramo. 1/16. xii + 282.
- Volumen 18 - **Roldán, G., J. A. Posada & J. C. Gutiérrez.** 2001. Estudio Limnológico de los Recursos Hídricos del Parque de Piedras Blancas. 1/16. x + 146.
- Volumen 19 - **Donato-Rondón, J. Ch..** 2001. Fitoplancton de los Lagos Andinos del Norte de Sudamérica (Colombia). 1/16, xii+222.
- Volumen 20 - **Aristizábal García, H.** 2002. Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. 1/16. xv+242, 331 figs.
- Volumen 21 - **Pinto, M.** 2002. Estudio sistémico del género *Cavia*. 1/16. 216 pp. 38 figs. 31 láminas, 59 tablas.
- Volumen 22 - **Orozco Pardo, C. I.** 2003. Evolutionary biology of *Brunellia* Ruiz & Pavón (Brunelliaceae, Oxalidales). 1/16, 198 pp. + tablas, figuras y mapas.

COLECCIÓN ENRIQUE PÉREZ ARBELÁEZ

- Volumen 1 - Memorias del seminario en conmemoración del centenario de Erwin Schrödinger. 1987, 1/16, 221 pp.
- Volumen 2 - **Díaz-Piedrahita, S. & A. Lourteig.** 1989. Génesis de una flora. 1/16, vii. + 362 pp, 35 figs.
- Volumen 3 - **Cubillos, G., F.M. Poveda & J.L. Villaveces.** 1989. Historia epistemológica de la Química. 1/16, 128 pp.
- Volumen 4 - **Hernández de Alba, G. & A. Espinosa.** 1991. Tratados de minería y estudios geológicos de la época colonial, 1616-1803, 1/16 xii + 92 pp, 1 fig.
- Volumen 5 - **Díaz-Piedrahita, S.** (ed.) 1991. José Triana, su vida, su obra y su época. 1/16, viii + 188 pp, 73 figs.
- Volumen 6 - **Díaz-Piedrahita, S.** 1991. La Botánica en Colombia, hechos notables en su desarrollo. 1/16, x + 126 pp. 30 figs, (reimpreso 1997).
- Volumen 7 - **Mantilla, L.C. & S. Díaz-Piedrahita.** 1992. Fray Diego García, su vida y su obra científica en la Expedición Botánica. 1/16, xv + 284, 14 figs. (reimpreso 1995).
- Volumen 8 - **Arias de Greiff, J.** 1993. Historia de la Astronomía en Colombia. 1/16, 200 pp, 32 figs.
- Volumen 9 - **Lértora Mendoza, C.** 1995. Fuentes para el estudio de las ciencias exactas en Colombia. 1/16, 316 pp.
- Volumen 10 - **Gauss, C. F.** 1995. Disquisitiones Arithmeticae. Traductores: H. Barrantes, M. Josephy & A. Ruiz Zúñiga. 1/16, 540 pp.
- Volumen 11 - **Murillo Quinche, L.M.** 1997. Obra selecta. 1/16, x + 188 pp, 29 figs, 4 mapas.

- Volumen 12 - **Romero Beltrán, A.** 1997. La investigación de las dolencias infecciosas en la historia. 1/16, xiv + 540 pp.
- Volumen 13 - **Barrantes, H. & A. Ruiz.** 1998. La historia del Comité Interamericano de Educación Matemática. 1/16, x + 198 pp. (español e inglés). Edición electrónica paralela.
- Volumen 14 - **Díaz-Piedrahita, S.** 2000. Matís y los dos Mutis, 1/16, x 346 pp, 41 figs.

COLECCIÓN JULIO CARRIZOSA VALENZUELA

- Volumen 1 - **Castillo, G.** 1992. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. Tomo I, 1/16, xxxii + 410, 77 figs.
- Volumen 2 - **Bernal de Ramírez, I.** 1993. Análisis de alimentos. 1/16, xviii + 314 pp, 28 figs. (reimpreso 1998).
- Volumen 3 - **Castillo, G.** 1994. Física Cuántica, teoría y aplicaciones. Tomo II. 1/16, xx + 406 pp., 49 figs.
- Volumen 4 - **Cáceres, D.** (ed.). 1995. Creando ciencia crean docencia. 1/16, 140 pp, 38 figs.
- Volumen 5 - **Romero, C.M. & L.H. Blanco.** 1996. Tópicos de Química Básica. 1/16, 240 pp, 56 figs.
- Volumen 6 - **Peña, G. & M. Pinto.** 1996. Mamíferos más comunes en sitios precerámicos de la sabana de Bogotá. 1/16, 98 pp, 1 mapa, 6 dibujos a color, 18 láminas y 48 gráficos.
- Volumen 7 - **López, C.** 1998. Mecánica Newtoniana. 1/16, 280 pp, 69 figs.
- Volumen 8 - **Charris, C. J., De Castro K. & J. Varela B.** 2000. Fundamentos del análisis complejo de una variable. 1/16, 384 pp.
- Volumen 9 - **Varela, J. de D.** 2000. Principios de Cristalografía. 1/16, xx + 250 pp., 141 figs.
- Volumen 10 - **Kairuz de Civetta, A.** 2002. Introducción al estudio de la composición de los alimentos. 1/16. xx + 166 pp. 16 figs., 30 tablas.

COLECCIÓN MEMORIAS

- Volumen 1 - (1994) Memorias del Seminario Nacional "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista. 1/16, viii + 184 pp.
- Volumen 2 - (1994) Memorias del Seminario Konrad Lorenz sobre Etología. 1/16, iv + 38 pp.
- Volumen 3 - (1995) Memorias del Seminario-taller sobre Alta Montaña Colombiana. 1/16, 116 pp.
- Volumen 4 - (1996) Memorias del Primer Congreso Nacional de Neurocomputación. 1/16, xiv + 184 pp.
- Volumen 5 - (1996) Memorias del Primer Congreso Nacional de sobre Cambio Climático. 1/16, 138 pp, 9 figs.
- Volumen 6 - (1996) Memorias del Coloquio "Ciencia, tecnología y cultura". 1/16, xii + 198 pp.
- Volumen 7 - (1996) Memorias de la III Escuela de verano en Geometría Diferencial, ecuaciones diferenciales parciales y análisis numérico. 1/16, xiv + 174 pp.
- Volumen 8 - (1996) Memorias del Seminario de Ciencia Teórica. 1/16, xv + 170 pp.
- Volumen 9 - (1997) Memorias del Seminario en conmemoración de los 440 años del nacimiento de René Descartes. 1/16, xii + 174 pp.
- Volumen 10 - (2001) Memorias del Simposio Pueblos y Ambientes del pasado precolombino 1/16, viii + 312 pp.
- Volumen 11 - (2001) Reflexiones sobre la ciencia y la tecnología: Colombia al iniciarse el siglo XXI, 1/16, x+166 pp.

EDICIONES ESPECIALES

- Francisco José de Caldas, su vida, su personalidad, su obra y el descubrimiento de la hipsometría. 1958. 1/16 refilado. 94 pp.
- Alexander von Humboldt en Colombia. Extractos de sus diarios. 1982. Arias de Greiff, J. (ed.). 1/8 refilado. 286 pp., 20 figs.
- Status and problems of Science in Latin America and the Caribbean. 1990. Guardiola, M.L., J.L. Villaveces & G. Violini (eds.). 1/16, 542 pp.
- Science in Latin America and the Caribbean and its role in regional development. 1992. Hamende, A., M.H. Hassan, J.L. Villaveces & G. Violini (eds.) 1/16, 2 vols. 824 pp.
- El cambio global, ciencia para entender el mañana. 1998. Lozano, J. (ed.), carta, 322 pp. Figs., mapas y gráficos.
- Tradición Académica. Diccionario Biográfico y Bibliográfico de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1/16, x + 434 pp.
- **Díaz Piedrahita, S. & L.C. Mantilla R.** 2001. La terapéutica en el Nuevo Reino de Granada. Un recetario franciscano del siglo XVIII. Publicación especial No. 7 208 pp. 502 figs.

Las anteriores publicaciones pueden ser solicitadas directamente a la Academia,
 Apartado **44763**, Bogotá, D.C., Fax (571) 2443186 Tel. (571) 3414805
 Trans. 27 No. 39A - 63/67 - E.Mail: accefyn@org.co
 Se ofrecen en venta o mediante intercambio por publicaciones similares.
 Mayor información a través de Internet: URL: <http://www.accefyn.org.co>

**EL COMITÉ EDITORIAL DE LA REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA
DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES NO CONSIDERARÁ
AQUELLOS MANUSCRITOS QUE NO CUMPLAN
CON LAS SIGUIENTES NORMAS**

1. Los manuscritos deben entregarse en original y copia, acompañados del texto grabado en disco o disquete, señalando el lenguaje o el programa empleado en la elaboración del texto. Las páginas deben llevar numeración consecutiva, incluyendo las tablas de datos.
2. La página inicial debe incluir:
 - a. Título del artículo en español e inglés.
 - b. Nombre y apellido del autor (es);
 - c. Resumen en castellano del contenido sin exceder de 8 renglones y con palabras clave.
 - d. Traducción al inglés del resumen con Key words.
 - e. Dirección postal del autor (es), indicando la Institución donde se realizaron las investigaciones.
3. El texto debe ser inobjetable en cuanto a presentación y contenido. Los nombres de los autores citados deben imprimirse en **negrita** (bold), los nombres científicos de animales o plantas (género y especie) deben imprimirse en *itálica*.
4. Las referencias bibliográficas dentro del texto, deben contener los nombres de los autores y el año de la publicación. Las referencias bibliográficas al final del artículo deben constar de:
 - a. Apellidos e iniciales de los nombres de todos los autores.
 - b. Año de publicación.
 - c. Título completo del artículo.
 - d. El nombre de la revista, que puede abreviarse de acuerdo con las respectivas reglas internacionales.
 - e. El número de volumen subrayado con línea ondulada, o escrito en **negrita** (bold).
 - f. Número de entrega entre paréntesis seguido de dos puntos ():
 - g. Número de la primera y última páginas.Las referencias bibliográficas relativas a libros deben contener:
 - a. Nombres de los autores.
 - b. Año de publicación.
 - c. Título completo.
 - d. Edición.
 - e. Editor o editorial.
 - f. Lugar de publicación.
5. La bibliografía debe ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el apellido del autor principal. Deben incluirse sólo los artículos citados en el texto.
5. Las gráficas y figuras deben ser originales y estar dibujadas o impresas en forma nítida. Los signos o convenciones deben estar listos para su reproducción.
6. Las fotografías deben ser nítidas, en papel brillante de alta calidad y de tamaño igual al de su reproducción.
7. Todas las ilustraciones deben numerarse consecutivamente utilizando caracteres arábigos. Cada ilustración debe traer una leyenda explicativa y sucinta. Las leyendas de todas las ilustraciones deben adicionarse al manuscrito en página (s) separada (s) en su respectivo orden.
8. Cada autor recibirá gratuitamente 50 separatas del artículo; en el caso de autor y coautor cada uno recibirá 25 separatas.
9. Cuando se envíen contribuciones en forma digital, las normas por cumplir son las siguientes:
 - Los textos deben venir en el programa word para PC o compatible, con las características de las fuentes clave (**negrillas**, *itálica*, VERSALITA) incluidas en el archivo final y acompañado de una versión en papel. Allí se podrá pegar el material gráfico en el orden en que se desea, pero sólo como una guía, dado que no responde a la calidad requerida para la impresión de la Revista.
 - Los dibujos, fotografías, mapas y demás material gráfico escanografiado debe ser en una resolución de 300 dpi y en un tamaño lo más cercano al real. Debe ser guardado como formato TIFF, en color o en blanco y negro según sea el caso. Se debe incluir una impresión en papel de este material para un control de calidad. En su defecto se debe enviar la ilustración original que será devuelta al finalizar la producción gráfica de la Revista.
 - En el caso de tablas se recomienda enviarlas en programa excel para PC o en un programa compatible; si van pegadas en el archivo de word deben ser vinculadas para poder acondicionarlas al tamaño y letra usados en la Revista.
 - El material gráfico debe ser copiado en un CD-R con sus partes debidamente vinculadas y marcadas con el respectivo archivo indicando el programa y versión usados; para su envío por correo el CD debe ser forrado en papel de aluminio para proteger la información de los rayos x.

ACLARACIONES

- a. La responsabilidad de las ideas emitidas en la Revista corresponde a sus autores.
- b. Sólo se someterán a consideración del Comité Editorial trabajos inéditos.
- c. No se devuelve la colaboración espontánea ni se mantiene correspondencia sobre ella.

**REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

Precios de suscripción

Subscription rates

Cuatro entregas por año
En Colombia

Four issues per year
Other Countries

Un año	\$100.000.00	One year	US \$100.00
Dos años	\$150.000.00	Two years	US \$180.00
Tres años	\$200.000.00	Three years	US \$200.00

El valor de la suscripción incluye el envío por correo ordinario o de superficie.

Payment in U.S. dollars includes shipment by surface mail.

Checks in U.S. dollars only, made out to “Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales”.

Apartado Aéreo 44763 Bogotá, 1 D.C. COLOMBIA

<http://www.accefyn.org.co>

ADPOSTAL