

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

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXVIII

DICIEMBRE DE 2004

NÚMERO 109

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DÍAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Botánica [Botany]		Historia de la Ciencia [History of Science]	
- Una nueva especie de <i>Dimerocostus</i> (Costaceae) de Colombia. [A new species of <i>Dimerocostus</i> (Costaceae) from Colombia] <i>Nelson Salinas & Julio Betancur</i>	465	- Jorge Lleras Parra y la producción de la vacuna antivariólica en Colombia 1897-1946. [Jorge Lleras Parra and the production of smallpox vaccine in Colombia, 1897-1946] <i>Juana Salamanca Uribe</i>	545
- Pteridófitos de Colombia V. El género <i>Anemia</i> (Schizaeaceae) en Colombia. [Pteridophytes of Colombia V. The genus <i>Anemia</i> (Schizaeaceae) in Colombia] <i>María Teresa Murillo-Pulido & José Murillo-A.</i>	471	Química [Chemistry]	
- Novedades colombianas en <i>Schefflera</i> (Araliaceae). [Colombian novelties in <i>Schefflera</i> (Araliaceae)] <i>Bernardo Ramiro Ramírez Padilla</i>	481	- Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá. [Mineral and chemical composition of the clays used for red ceramics in the zones of Medellín, Itagüí and Amagá] <i>L. Duitama, C. Espitia, J. Mojica, J. Quintero & F. Romero</i>	555
Ciencias de la Tierra [Earth Sciences]		- Estudio químico de la nuez del marañón gigante (<i>Anacardium giganteum</i>). [Chemical study of the giant cashew nut (<i>Anacardium giganteum</i>)] <i>Freddy A. Ramos, Coralia Osorio, Carmenza Duque, Claudia Cordero, Fabio Aristizábal, Cristina Garzón & Yoshinori Fujimoto</i>	565
- Procesos erosivos en una microcuenca andina: el valle alto del río Medellín, Cordillera Central, Antioquia. [Erosional processes in a small Andean drainage: upper basin of the Río Medellín. Cordillera Central, Antioquia] <i>Pedro de Greiff, Michel Hermelin & Diego Rendón</i>	487	- Caracterización preliminar de enzimas relacionadas con la síntesis de exopolisacáridos producidos por <i>Raoultella terrigena</i> y <i>Pseudomonas fluorescens</i> . [Preliminary characterization of enzymes related with the synthesis of exopolysaccharides produced by <i>Raoultella terrigena</i> and <i>Pseudomonas fluorescens</i>] <i>Angela María Wilches Flórez</i>	577
- Relación entre procesos de erosión y geoquímica de sedimentos y suelos de Checua, Cuenca Alta del río Bogotá. [Relationship between erosional processes and the geochemistry of sediments and soils of Checua, upper basin of the Río Bogotá] <i>Sergio Gaviria, Orlando Hernández & Orlando Vargas</i>	497	Zoología [Zoology]	
Ecología [Ecology]		- Descubrimiento de <i>Oscacelia polyzona</i> (Amphibia: Gymnophiona: Caeciliidae) en el Magdalena Medio con apuntes sobre su abundancia y hábitat. [Descubrimiento de <i>Oscacelia polyzona</i> (Amphibia: Gymnophiona: Caeciliidae) en el Magdalena Medio con apuntes sobre su abundancia y hábitat] <i>John D. Lynch & Andrés R. Acosta</i>	585
- Ecología química en hongos y líquenes. [Chemical Ecology of fungi and lichens] <i>Francisco J. Toledo, Ana García C., Francisco León Oyola & Jaime Bermejo Barrera</i>	509	- Algunos tremátodos digéneos (Rophaliasidae, Opistorchiidae) de <i>Phyllander opossum</i> (Marsupialia: Mammalia) de la costa Pacífica colombiana, incluyendo <i>Rhopalias caucensis</i> n. sp. [Some digenic trematodes (Rophaliasidae, Opistorchiidae) from <i>Phyllander opossum</i> (Marsupialia: Mammalia) of the Pacific coast including <i>Rhopalias caucensis</i> n. sp.] <i>C. Rivillas, F. Caro, H. Carvajal & I. Vélez</i>	591
- Ecología trófica de la Carrura, <i>Bairdiella ronchus</i> (Pisces: Sciaenidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. [Trophic ecology of the carrura <i>Bairdiella ronchus</i> (Pisces: Sciaenidae) in Ciénaga Grande of Santa Marta, Caribbean Colombia] <i>Liliana Torres C., Arturo Acero & Adriana Santos-Martínez</i> ...	529	Vida Académica [Academic Life]	601
- Efecto del cadmio y el cobre sobre el flujo de nitrógeno y fósforo en la interfase agua-sedimento en una laguna costera tropical. [Effect of cadmium and copper on the flow of nitrogen and phosphorus in the water-sediment interface in a coastal tropical lake] <i>Maribed Castro-González & Néstor Hernando Campos</i> ...	535	Índice general del volumen XXVIII, año 2004 [General Index of volume XXVIII]	605
		Índice de autores [Author index]	607
		Constitución de la Academia [Members of the Academy] ...	611
		Publicaciones de la Academia [Publications of the Academy]	613

UNA NUEVA ESPECIE DE *DIMEROCOSTUS* (COSTACEAE) DE COLOMBIA

por

Nelson R. Salinas¹ & Julio Betancur¹

Resumen

Salinas, N. & J. Betancur: Una nueva especie de *Dimerocostus* (Costaceae) de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 465-470, 2004. ISSN: 0370-3908.

Se describe e ilustra una especie nueva de *Dimerocostus* (Costaceae) y se presenta una nueva clave para las especies de este género neotropical. La especie nueva se distribuye en los departamentos colombianos de Antioquia, Boyacá y Chocó.

Palabras clave: Colombia, Costaceae, *Dimerocostus*, plantas neotropicales, Zingiberales.

Abstract

A new species of *Dimerocostus* (Costaceae) is described and illustrated. The new species is distributed in the Colombian departments of Antioquia, Boyacá and Chocó. Also, a new key for this Neotropical genus is presented.

Key words: Colombia, Costaceae, *Dimerocostus*, neotropical plants, Zingiberales.

Introducción

Dimerocostus fue descrito en 1891 por Kuntze en la obra "Revisio Generum Plantarum" (Maas, 1972), distinguiéndolo de *Costus* por poseer ovarios con dos lóculos (vs. tres). En el período comprendido entre 1893 y 1931 se describieron siete especies más de *Dimerocostus*, una de las cuales fue transferida posteriormente a *Monocostus* por Maas (1972), en su monografía para el neotrópico. En esta misma obra fue transferida una especie desde *Costus*

a *Dimerocostus*, mientras que las demás fueron reducidas a la sinonimia. Así, actualmente se reconocen para el género sólo dos especies, *Dimerocostus strobilaceus* O. Kuntze y *D. argenteus* (Ruiz & Pav.) Maas, la primera con tres subespecies (Maas, 1972).

Dimerocostus es un género neotropical distribuido desde Honduras hasta Bolivia y Surinam (Maas, 1972; 1977), cuyas especies prefieren los ambientes perturbados como bordes de caminos, carreteras y bosques. Para

¹ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá, Colombia. N. R. Salinas: salinas_nr@yahoo.com; J. Betancur: jebetancur@unal.edu.co

Colombia tan sólo se conocía la especie tipo, *Dimerocostus strobilaceus*, la cual está ampliamente distribuida por el país, siendo más abundante en zonas bajas (0-1000 m de altitud), pero existen registros hasta los 1500 m de altitud.

Después de la revisión de los especímenes de Costaceae depositados en el Herbario Nacional Colombiano (COL) y los provenientes de algunas exploraciones recientes, presentamos una especie nueva de *Dimerocostus* para Colombia, junto con una clave revisada para el género en el neotrópico, modificada de la presentada por **Maas** en 1972.

Dimerocostus cryptocalyx N. R. Salinas & Betancur, sp. nov. Figs. 1-2

Tipo. COLOMBIA. ANTIOQUIA: municipio Frontino, corregimiento Nutibara, 7-8 km entre el Alto de las Cuevas y La Blanquita, 1285-1400 m de altitud, 6° 45' 00" N - 76° 18' 00" W, 27 ene 1995, *J. Betancur & W. J. Kress 5976* (holotipo COL, isótipes HUA, US).

Herba 1-5 m alta. Ligula 2-5 mm longa. Lamina 28-46 cm longa, 5-10 cm lata, oblongo-elliptica, glabra. Inflorescentia 27-45 cm longa; bracteae 7-10 cm longae, (0.9) 1.2-2 cm latae, oblongae ad oblongo-lanceolatae, glabrae, viridibus, pruinosis, chartaceis, callo carens. Bracteola 18-20 mm longa, glabra. Calyx 28-35 mm longus, bracteis tectus. Corolla 58 mm longa. Labellum 7.6 cm longum, 6 cm latum, orbicularum, album, striis scarlatinis basalibus. Stamen 35 mm longum. Capsula 2.5-2.9 mm longa; semen 1.5-2 mm longum.

Hierba terrestre, 1-5 m de altura, cespitosa; tallos cilíndricos, entrenudos (1.5-) 2-3.5 cm de largo. **Hojas** simples, alternas, espiraladas, distribuidas a lo largo de todo el tallo; **vaina** 14-18 mm de diámetro, cerrada, glabra; **lígula** 2-5 mm de largo, truncada, ligeramente oblicua, glabra, margen entera; **peciolo** 5-10 x 3-5 mm, acanalado, rugoso, glabro, generalmente después del secado rompiéndose transversalmente hacia los márgenes; **lámina** 28-46 x 5-10 cm, oblongo-elíptica, acanalada hacia la base de la vena media, glabra, base cuneada a truncada, a veces ligeramente cordada, ápice estrechamente acuminado, margen entera, nervadura pinnada-paralela, vena media prominente por el envés y plana por la haz, verde claro por ambas superficies y tornándose amarilla con la senescencia, venas secundarias orientadas 5-10° respecto a la vena media, prominentes por la haz e impresas por el envés. **Inflorescencia** una espiga, 25-45 cm de largo, 4.5-7 cm de diámetro, terminal, erecta cuando joven y péndula en fructificación, cilíndrica, subsésil, 6-7 brácteas por fila transversal. **Brácteas de la inflorescencia** 5-9 x (0.9-) 1.2-2 cm,

imbricadas, oblongas a oblongo-lanceoladas, glabras, verdes, pruinosas cuando jóvenes, ascendentes, cartáceas, márgenes levemente sinuadas, sin callos nectaríferos ni apéndice, base amplexicaule, ápice recto, agudo o acuminado. **Bractéola** 18-20 x 12-13 mm, tubular cuando joven, luego rompiéndose por el lado adaxial (opuesto a las carinas) para quedar laminar y ovada, glabra, verde, bicarinada, ápice truncado, a veces bifido, margen entera. **Cáliz** gamosépalo, 28-35 mm de largo, 7-8 mm de diámetro cuando joven, a veces ligeramente ensanchado hacia el ápice, tubular, rompiéndose en el fruto, glabro, amarillo-verde, oculto por las brácteas; lóbulos del cáliz 4-10 x 3-5 mm, oblongos a deltoides, cuculados, ápice agudo a redondeado, el anterior sin callo nectarífero, los posteriores con callo nectarífero de 1-1.5 mm de largo. **Corola** gamopétala, 58 mm de largo, glabra, blanca, membranosa, con puntos glandulares inmersos en el tejido; lóbulos de la corola 32-34 x 11-14 mm, oblongo-elípticos, con 10-18 venas paralelas que los recorren longitudinalmente, ocasionalmente anastomosadas hacia la margen, ápice redondeado, cuculado, margen entera. **Tubo estaminal** 20 mm de largo, 2.5 mm de diámetro, glabro por la superficie externa, densamente pubérulo por la superficie interna; **labelo** efímero, 7.6 x 6 cm, orbicular, unguiculado, infundibuliforme-rotado, blanco, con estrías escarlata hacia la base, pubérulo hacia el ápice, glabro hacia la base, ápice redondeado, margen ciliada; **estambre** 1, 3.5 cm de largo; filamento 9-10 mm de ancho, oblongo, constricto hacia la base en el punto de unión con el labelo, ensanchado hacia el ápice, pubérulo hacia la mitad basal de la superficie abaxial, con puntos glandulares similares a los de corola, excepto hacia el ápice, blanco, membranoso, ápice premoroso, margen entera; antera 11 x 2 mm, oblonga, ápice y base obtuso-redondeados, con el extremo apical a 20 mm por debajo del filamento, dorsifija, dehiscencia longitudinal. **Ovario** ínfero, 8-10 mm de largo, 2 mm de diámetro hacia la base, 5 mm de diámetro hacia el ápice, obcónico, glabro; **estilo** 42-43 mm de largo, 1 mm de diámetro, con puntos morados cuando seco; estigma 2-3 mm de largo, 5 mm de ancho, crateriforme, margen fimbriada, con un pequeño proceso bifurcado hacia la base. **Fruto** una cápsula, indehiscente, 2.5-2.9 mm de largo, 9-11 mm de diámetro, glabro, obovoide, verde, amarillo pálido cuando maduro, bilocular. **Semillas** 1.5-2 mm de largo, cúbico-esféricas, negras, lisas, con arilo blanco.

Etimología

El nombre de la especie se refiere a que los sépalos (antes y después de la antesis) permanecen ocultos por las brácteas de la inflorescencia, una de las principales características que distingue esta especie de las otras de *Dimerocostus*.



Figura 1. *Dimerocostus cryptocalyx* N. R. Salinas & Betancur. A (holótipo, Betancur *et al.* 5676): hábito de crecimiento. B-D (Franco-Rosselli *et al.* 5655): B, hojas apicales e inflorescencia; C, detalle de la inflorescencia; D, labelo. (Fotografías de Julio Betancur).

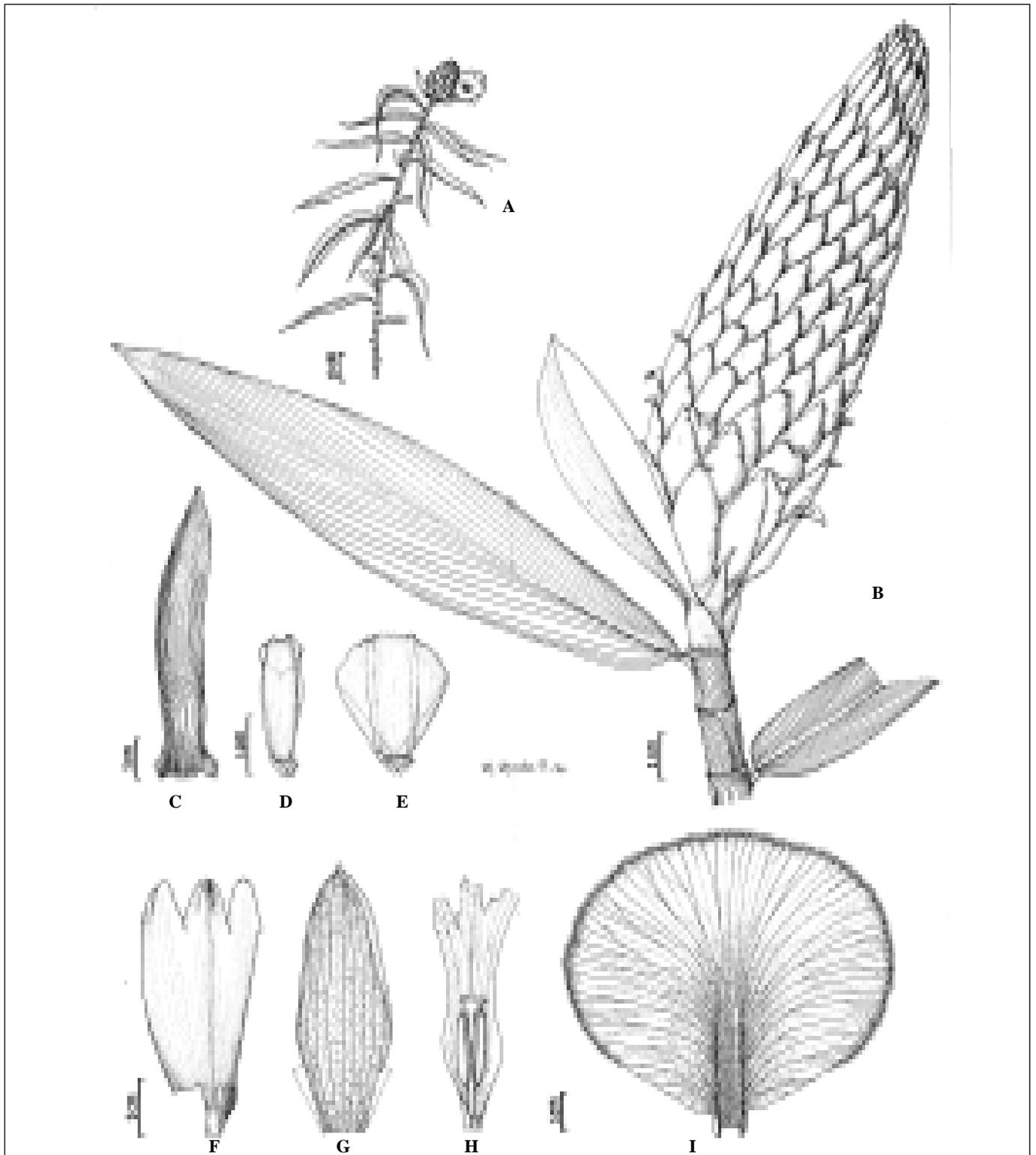


Figura 2. *Dimerocostus cryptocalyx* N. R. Salinas & Betancur. **A:** hábito de crecimiento. **B:** inflorescencia con las hojas apicales. **C:** bráctea de la inflorescencia. **D:** bractéola joven. **E:** bractéola madura. **F:** ovario y cáliz extendido. **G:** lóbulo de la corola. **H:** estambre y filamento. **I:** labelo extendido.

Comentarios taxonómicos. En la tabla 1 se presentan las diferencias morfológicas básicas que diferencian las tres especies de *Dimerocostus* conocidas para el neotrópico. Los caracteres morfológicos más distintivos que diferencian a *D. cryptocalyx* de las otras dos especies son: 1) las brácteas de la inflorescencia oblongas a oblongo-lanceoladas, cartáceas, pruinosas, con la margen levemente sinuada y sin dilacerarse en cilios, 2) el cáliz oculto por las brácteas de la inflorescencia, 3) los lóbulos de la corola de menor longitud; y 4) el labelo blanco con estrías escarlata hacia la base (Tabla 1).

Distribución y hábitat. La especie se conoce de cuatro recolecciones que corresponden a tres localidades, dos de las cuales hacen parte de la región del Chocó Biogeográfico (departamentos de Antioquia y Chocó) y una a la vertiente magdalenense de la Cordillera Oriental (departamento de Boyacá, Serranía de las Quinchas). Todas las localidades están dentro del bosque pluvial premontano (bp-PM), según el sistema de zonas de vida de Holdridge (Espinal-T. 1990), y entre 1100 y 1400 m de altitud.

Otros especímenes examinados. COLOMBIA. **BOYACÁ:** municipio Puerto Boyacá, vereda El Carmen, Serranía de las Quinchas, 1345 m de altitud, 5° 48' 7" N - 74° 15' 8" W, 21 jul 2000, *N. Castaño 77* (COL); municipio Puerto Boyacá, corregimiento Puerto Romero, vereda El Laurel, en la vía a Otanche, Serranía de las Quinchas, 1300-1400 m de altitud, 12 jun 1997, *P. Franco-Rosselli 5655* (COL). **CHOCÓ:** municipio El Carmen del Atrato, 20 millas carretera Bolívar-Quibdó, 1190 m de altitud, 5° 50' N - 76° 16' W, 16 dic 1980, *T. Croat 52086* (COL, MO).

Clave artificial para identificar las especies de *Dimerocostus*

1. Brácteas de la inflorescencia cartáceas, sin apéndice, pruinosas cuando jóvenes y con la margen levemente sinuada y sin cilios. Bractéola menos de 20 mm de largo. Cáliz oculto por las brácteas de la inflorescencia. Lóbulos de la corola menos de 35 mm de largo. Labelo blanco con estrías escarlata hacia la base *D. cryptocalyx*

Tabla 1. Principales caracteres morfológicos diagnósticos de las especies de *Dimerocostus* (algunos datos tomados de Maas 1972, 1977, 1985).

Característica	<i>D. argenteus</i>	<i>D. cryptocalyx</i>	<i>D. strobilaceus</i>
Distribución de las hojas	sin datos	a lo largo del tallo	agrupadas hacia el ápice del tallo
Indumento de la lámina foliar	seríceo por el envés	glabro por ambas superficies	glabro/pubérulo por el envés
Medidas de las brácteas de la inflorescencia (cm)	sin datos	5-9 x (0.9-) 1.2-2	2-6 x 2-4
Apéndice de las brácteas de la inflorescencia	presente	ausente	generalmente ausente
Forma de las brácteas de la inflorescencia	ovado-trianguulares	oblongas a oblongo-lanceoladas	deltoides a ovado-trianguulares
Indumento de las brácteas de la inflorescencia	glabras a seríceas, con el apéndice densamente seríceo por el envés	totalmente glabras	glabras a densamente pubérulo-seríceas
Textura de las brácteas de la inflorescencia	coriáceas, con el apéndice foliáceo	cartáceas	coriáceas
Margen de las brácteas de la inflorescencia	ciliada	levemente sinuada y sin cilios	ciliada
Callo nectarífero en las brácteas de la inflorescencia	sin datos	ausente	presente
Color de las brácteas jóvenes de la inflorescencia	amarillentas, con apéndice verde	pruinosas	verdes
Longitud del cáliz vs. brácteas de la inflorescencia (en antesis)	exerto	incluido	exerto
Longitud de la bractéola (mm)	20-27	18-20	20-30
Indumento de la bractéola	glabra a esparcidamente serícea	glabra	pubérulo-serícea
Longitud de los lóbulos de la corola (mm)	45	32-34	45-60
Longitud del labelo (cm)	5-7.5	6	8-13
Color del labelo	amarillo	blanco con estrías escarlata hacia la base	blanco a amarillo

- 1'. Brácteas de la inflorescencia coriáceas, con o sin apéndice, a veces el apéndice membranoso, amarillas a verdes cuando jóvenes y con la margen recta y ciliada. Bractéola más de 20 mm de largo. Cáliz no oculto por las brácteas de la inflorescencia. Lóbulos de la corola más de 45 mm de largo. Labelo blanco a amarillo 2
2. Lámina foliar seríceo-plateada por el envés. Brácteas de la inflorescencia amarillas, siempre con apéndice membranoso. Labelo de menos de 7.5 cm de largo *D. argenteus*
- 2'. Lámina foliar glabra o pubérula por el envés. Brácteas de la inflorescencia verdes, generalmente sin apéndice y cuando presente entonces coriáceo. Labelo más de 8 cm de largo *D. strobilaceus*

Agradecimientos

Al Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia por facilitar nuestro estudio sobre

las costáceas de Colombia. A W. John Kress del Instituto Smithsonian por hacer posible la recolección del espécimen tipo y su amable compañía en el campo. A Marcela Morales por la elaboración de la ilustración. A Rodrigo Bernal y Diego Giraldo por la lectura crítica del manuscrito.

Bibliografía citada

- Espinal-T, L. S.** 1990. Zonas de vida de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Medellín.
- Maas, P. J. M.** 1972. Costoideae (Zingiberaceae). Flora Neotropica, Monograph No. 8. Hafner Publishing Company, New York.
- 1977. *Renealmia* (Zingiberaceae – Zingiberoideae). Costoideae (Additions) (Zingiberaceae). Flora Neotropica, Monograph No. 18. The New York Botanical Garden, New York.
- 1985. Zingiberaceae. Flora of The Guianas. Koeltz Scientific Books, Königstein.

Recibido el 15 de marzo de 2004

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

PTERIDÓFITOS DE COLOMBIA V. EL GÉNERO *ANEMIA* (SCHIZAEACEAE) EN COLOMBIA

por

María Teresa Murillo-Pulido¹ & José Murillo-A.¹

Resumen

Murillo-Pulido, M.T., & J. Murillo: Pteridófitos de Colombia V. El género *Anemia* (Schizaeaceae) en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 471-480, 2004. ISSN: 0370-3908.

Se presenta una sinopsis de las especies de *Anemia* en Colombia: El género, formado por 14 especies y un híbrido, se distribuye ampliamente en el país desde el nivel del mar hasta ca 2500 m de altitud, con la mayor concentración de taxones en la región andina. Las especies más ampliamente distribuidas son *A. ferruginea*, *A. phyllitidis* y *A. villosa*. Se presenta una clave para las especies y para cada una se hace una descripción corta; además, se hacen anotaciones sobre la distribución geográfica y altitudinal.

Palabras clave: *Anemia*, Colombia, diversidad, Pteridófitos, Schizaeaceae.

Abstract

A synopsis of Colombian *Anemia* is presented. The genus has 14 species and one hybrid. These are distributed widely in Colombia, but the greatest concentration is in Andean region, and occur to 2500 m. *A. ferruginea*, *A. phyllitidis* y *A. villosa* are the most widely distributed. A key to species is presented and for each one a short description is given, with comments about geographical and altitudinal distribution.

Key words: *Anemia*, Colombia, Diversity, Pteridophytes, Schizaeaceae.

Introducción

Los helechos leptosporangiados aparecieron durante el carbonífero, hace cerca de 280 a 345 millones de años; una de las familias de Pteridófitos que ha sido considerada entre las más antiguas es Schizaeaceae; datos muy im-

portantes sobre esta familia y sus géneros los presenta **Mickel** (1962, 1966, 1967, 1981 y 1985). En sus trabajos señala que Swartz, autor del género *Anemia*, fue quien encontró afinidades en el anillo apical del esporangio de *Anemia*, *Lygodium*, *Mohria* y *Schizaea*, por lo cual los ubicó en el Orden "Spurie Gyrateae". **Kaulfuss** (1827) co-

¹ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 7495, Santafé de Bogotá, D.C. mariateresamurillo@yahoo.com.mx, jcmurilloa@unal.edu.co

locó los cuatro géneros en la familia Schizaeaceae y posteriormente **Reed** (1948) elevó cada género a familia.

Bierhorst (1971) esta de acuerdo con **Reed** en reconocer las familias; Anemiaceae, Lygodiaceae y Schizaeaceae, pues el hábito, la morfología y el número de cromosomas de estos taxones es muy diferente, además, concluye que Schizaeaceae es la más antigua y que de ella se derivan las otras dos familias. **Pichi-Sermolli** (1977) conociendo el trabajo realizado y publicado por **Bierhorst** (1971), consideró que se deberían aceptar las tres familias. Anemiaceae con *Anemia* y *Mohria*, Lygodiaceae con solo el género *Lygodium*, y Schizaeaceae con *Actinostachys* y *Schizaea*; no obstante, en todos los herbarios se mantiene sólo la familia Schizaeaceae, teniendo en cuenta que sus características principales son: esporangios dispuestos en partes especializadas de la lámina, anillo apical y presencia de numerosas esporas.

Anemia es un género con ca. 100 especies del trópico y subtrópico, es el más rico en especies de la familia Schizaeaceae y el más abundante en el Nuevo Mundo (**Moran & Mickel** 1995); en Colombia las especies crecen entre el nivel del mar y los 2500 m. *Actinostachys*, de regiones tropicales, es común en el viejo mundo; en Colombia presenta tres especies distribuidas entre los 200 y 700 m; *Lygodium* de la zona tropical es abundante en el Viejo Mundo, en Colombia se encuentran tres especies entre 0-1000 m; *Mohria* de Madagascar e islas adyacentes. De *Schizaea* del trópico y Norte América, hay cinco especies en Colombia que crecen entre 10 y 1800 m de altitud.

Métodos

Se revisaron ca. 280 exsiccados de los herbarios COL, HUA y NY, *A. clinata*, *A. Phyllitidis*, *A. villosa* fueron estudiadas en el campo. Las colecciones se confirmaron y determinaron con base en las claves disponibles en la literatura (**De la Sota & Mickel** 1968, **Duek** 1980, **Lellinger** 1985, **Mickel** 1962, 1966, 1981, 1982, 1984, 1985, **Moran & Mickel** 1995). Se elaboró una clave dicotómica para especies y los taxones se ordenaron alfabéticamente. Para cada especie se hizo una descripción corta con anotaciones sobre la ecología y la distribución geográfica y altitudinal. Las colecciones estudiadas se citan en el anexo 1.

Resultados

Composición

Anemia en Colombia esta formado por 14 especies, dos variedades y un híbrido (*A. ferruginea* var. *ferruginea* x *villosa*), lo cual representa el 14% de las especies del

género. Las especies más comunes son *A. ferruginea*, *A. phyllitidis* y *A. villosa* y las menos frecuentes *A. adiantifolia*, *A. clinata* y *A. glareosa*.

Distribución geográfica

El género *Anemia* esta ampliamente distribuido en todo el país, las especies crecen en sitios abiertos, sobre rocas y barrancos de carretera; generalmente se encuentran en suelos arenosos, pero a veces también en sitios sombreados y húmedos. El mayor número está en la región Andina, donde se registran todas las especies del género. En las regiones Atlántica y Orinoquia se han recolectado 6 y 4 especies respectivamente, mientras que las regiones Amazónica (2 spp.) y Pacífica (1 spp.) son las más pobres. La mayoría de las especies están distribuidas ampliamente en el neotrópico, solo *A. sancta-martae* es endémica de Colombia.

Distribución altitudinal

Las especies de *Anemia* crecen desde el nivel del mar hasta 2500 m de altura. La mayor concentración de especies (13 spp) está entre los 500 y 1000 m, solo *A. flexuosa*, *A. phyllitidis* y *A. villosa* alcanzan los 2500 m. Las especies más ampliamente distribuidas altitudinalmente son *A. flexuosa*, *A. hirsuta*, *A. oblongifolia*, *A. phyllitidis* y *A. villosa*.

Anemia Sw.

Plantas generalmente terrestres, a veces rupícolas; rizoma generalmente corto, reptante a subrecto; cubierto abundantemente con pelos simples, pluricelulares, estramíneos a marrón-oscuros, a veces anaranjados. Frondas dimórficas o subdimórficas y en este caso debido a la modificación del par de pinnas basales para portar esporangios; glabrescentes a vellosas; peciolos acanala-dos o teretes, a veces más largos que las láminas; láminas deltadas, a veces oblongas, membranáceas a coriáceas, pinnadas a 3-pinnadas; pinnas pocas a numerosas, subopuestas a alternas, sésiles a cortamente pecioladas; ápices agudos a redondeados, márgenes generalmente aserradas; venación libre, anastomosada en *A. phyllitidis* o parcialmente anastomosada en *A. semihirsuta*. Esporangios dispuestos en dos hileras sobre estructuras paniculiformes, pecioladas, erectas, pecíolos más largos o mas cortos que las láminas estériles, 2 - 3 pinnadas, tejido laminar reducido o ausente, anillo apical; esporas subglobosas, triletas, con muros paralelos, superficie granulada o equinada.

Los principales caracteres que permiten separar las especies dentro del género son: la división de la lámina,

la venación, la forma de las láminas y de las pinnas, la posición y longitud de las pinnas fértiles, aunque la mayoría de especies se pueden separar con relativa facilidad, *A. flexuosa* y *A. villosa* comparten muchos caracteres y a veces es difícil separarlas. Además existe el inconveniente de que varias especies hibridizan fácilmente evitando establecer límites definidos entre ellas.

Composición y distribución: *Anemia* es un género que posee cerca de 100 especies distribuidas principalmente en el neotrópico, sólo 10 se encuentran en Africa y el sur de India (Moran & Mickel 1995). En Colombia se encuentran 14 especies, dos variedades y un híbrido (*ferruginea* var *ferruginea* X *villosa*). *A. tomentosa* var *mexicana* (C. Presl) Mickel ha sido registrada por Mickel (1962), sin embargo, no hay material en COL por lo tanto no se incluye en este estudio. El género está ampliamente distribuido en todo el país, sin embargo, la mayor diversidad esta en la región Andina, entre el nivel del mar y 2500 m de altitud. Generalmente las especies crecen en suelos arcillosos o sobre rocas de arenisca.

Clave para las especies de *Anemia*

- a. Rizoma reptante, frondas dísticas ... *A. adiantifolia*
- a. Rizoma erecto o semierecto, frondas polísticas
 - b. Frondas totalmente dimórficas
 - c. Lámina estéril a veces dicotómicamente ramificada, deltoide-ovada; pinnas anádromas, las fértiles pecioladas *A. buniifolia*
 - c. Lámina estéril conspicuamente pinnada, oblongo-ovada; pinnas catádromas, las fértiles subsesiles *A. millefolia*
 - b. Frondas subdimórficas
 - d. Nervaduras anastomosadas *A. phyllitidis*
 - d. Nervaduras libres o algunas veces con pocas anastomosadas
 - e. Láminas estériles pinnatífidas a simplemente pinnadas; algunas veces con 1-2 lóbulos acroscópicos más desarrollados en la base de las pinnas.
 - f. Pinnas con ápices agudos a obtusos, láminas deltadas, pecíolos de las frondas subdimórficas mayores de 9 cm de long *A. pastinacaria*

- f. Pinnas con ápices redondeados, láminas ovadas u oblongas, pecíolos de las frondas subdimórficas menores de 9 cm de long.
 - g. Márgenes de las pinnas conspicuamente serradas *A. sancta-martae*
 - g. Márgenes de las pinnas serruladas a enteras
 - h. Lámina estéril pinnatífida, con el par de pinnas basales pinnadas; el peciolo común de la lámina fértil y estéril mayor de 12 cm de long *A. glareosa*
 - h. Lámina estéril totalmente pinnada; el peciolo común de la lámina fértil y estéril menor de 7 cm de long *A. oblongifolia*
- e. Láminas estériles pinnado-pinnatífidas a bipinnado-pinnatífidas, por lo menos en las pinnas basales
 - i. Las pinnas fértiles divergentes, más cortas que las pinnas estériles basales *A. clinata*
 - i. Las pinnas fértiles erectas y generalmente más largas que la lámina estéril.
 - j. Láminas estériles bipinnado-pinnatisectas
 - k. Pecíolos glabrescentes o cubiertos con pelos dispersos *A. ferruginea*
 - k. Pecíolos cubiertos con abundantes pelos *A. flexuosa*
 - j. Lámina estériles pinnado-pinnatífida a pinnado-pinnatisecta
 - l. Venación escasamente reticulada *A. semihirsuta*
 - l. Venación libre
 - m. Márgenes de los segmentos aserrados *A. hirsuta*
 - m. Márgenes de los segmentos subenteros *A. villosa*

1. *Anemia adiantifolia* (L.) Sw., Syn. Fil. 157. 1806.

Osmunda adiantifolia L., Sp. Pl. 1065. 1753. Leptotipo designado por Proctor, Fl. L. Antill. 2: 53. 1977, Plumier, Traite Foug. Amér. t. 158. 1705

Plantas de 40-60 cm de long.; rizoma largo, reptante, horizontal. Frondas subdimórficas, dísticas; pecíolos 20-36 cm de long.; lámina deltada, 16-22 cm de long., tripinnada, anádroma, coriácea, glabrescente; pinnas 9-18 pares, alternas, a veces subopuestas; venas libres. Pinnas fértiles 13-15 cm de long., erectas, generalmente más cortas que la lámina estéril; pecíolo 4-7.5 cm de long., 2-2.5 cm abajo de las pinnas estériles basales.

Esta especie crece en lugares semisombreados sobre suelos y rocas calcáreas.

2. *Anemia buniifolia* (Gardner) T. Moore, Index Fil. 116. 1857.

Coptophyllum buniifolium Gardner. Tipo: Brasil. Prov. Goyazanae, Gardner 4084 Fig. 1.

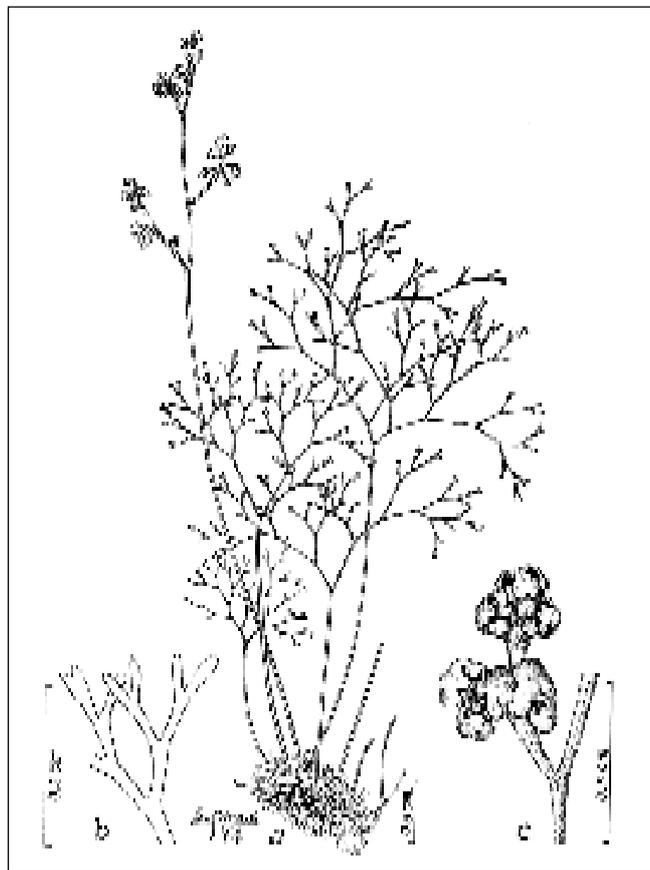


Figura 1. *Anemia buniifolia* (Gardner) T. Moore

Planta de (1.5-) 6-18 (-25) cm de long.; rizoma corto, cercanamente horizontal, cubierto con pelos ferrugíneos. Frondas dimórficas; la estéril (0.8-) 5-18 cm de long., pecíolo (0.3-) 1.5-7 (-14) cm de long.; lámina 3-4 pinnada, deltoide-ovada, ramificada subdicotómicamente; pinnas 3-5 pares, alternas, anádromas; venación libre. Fronda fértil (1.5-) 6-18 (-25) cm de long., pecíolo (1-) 4-14 (-21) cm de long.; lámina 2-3 pinnadas.

Es una especie que se distribuye en los departamentos de Amazonas, Caquetá, Meta, Tolima y Vaupés, entre los 300 y 620 m., crece sobre rocas y en suelos arenosos de arenas blancas, en sitios húmedos.

3. *Anemia clinata* Mickel, Amer. Fern J. 56: 58, t. 4. 1966.

TIPO: Perú, Junín, Killip & Smith 25194 (US; isotipos F, NY) Fig. 2.

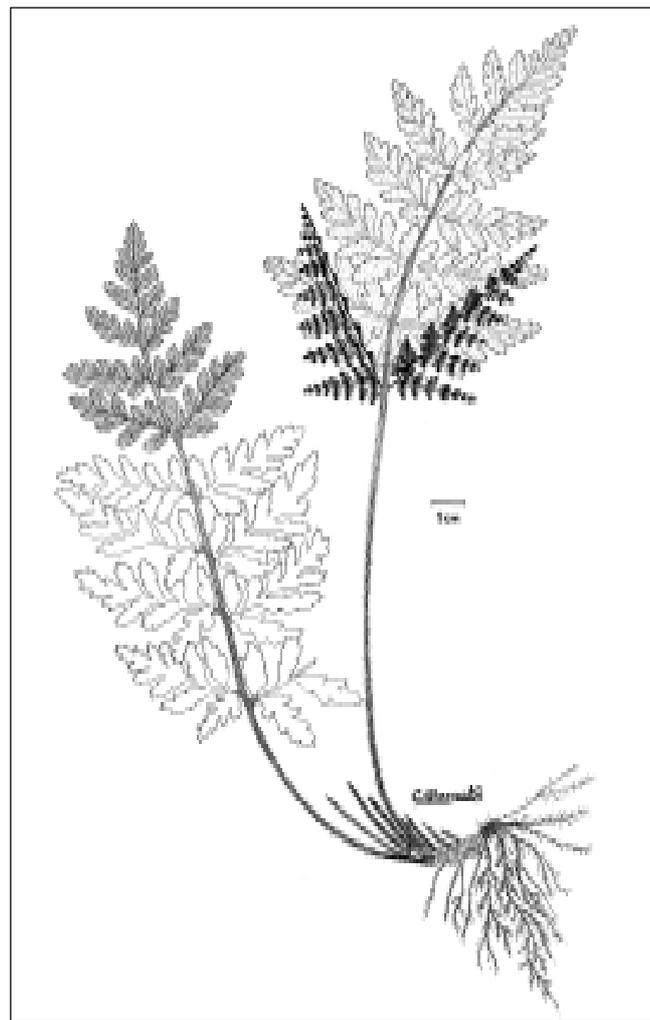


Figura 2. *Anemia clinata* Mickel

Plantas rupícolas de 26-29 cm de long.; rizoma corto, suberecto, cubierto de pelos anaranjados, claros a oscuros. Frondas subdimórficas; pecíolos 6-15 cm de long., vellosos; láminas estériles 10-13.5 cm de long., bipinnadas; pinnas 6-7 pares, sésiles o muy cortamente pecioladas, subopuestas a alternas, márgenes irregularmente crenado-serradas; venación libre. Pinna fértil 4.5-7 cm de long., divergentes, más cortas que la lámina estéril, pecíolo 0.2-0.5 cm de long., (0.8-) 1.4-1.9 cm abajo de las pinnas estériles basales, no erectas, inclinadas.

Esta especie se distribuye en los departamentos de Boyacá y Meta, en alturas comprendidas entre 550 y 800 m. En lugares escarpados asociada con *Adiantum*, *Adiantopsis* y *Blechnum occidentale*.

4. *Anemia ferruginea* Kunth, Nov. Gen. Sp. 1: 32-33. 1815 [1816]. var *ferruginea*

TIPO: Venezuela, *Humboldt & Bonpland sn* (P?)

Fig. 3.

Planta de 20-37 cm de long.; rizoma corto, postrado, cubierto de pelos marrón. Frondas subdimórficas; pecíolo (4.5-) 10-40 cm long., las frondas estériles con pecíolos más cortos, marrón oscuro o púrpura, glabrescente o cubiertos con pelos dispersos; láminas estériles 5.5-10 cm de long., bipinnadas a bipinado-pinnatifidas en la base, glabrescentes; pinnas 9-12 pares, subopuestas a alternas; venación libre. Pinna fértil 11-14 cm de long., erectas, más largas que la lámina estéril, pecíolo 2-4 cm de long., 0.1-0.3 cm abajo de las pinnas estériles basales.

Esta especie crece a lo largo de la cordillera Oriental desde Nariño hasta Santander, también en la Sierra Nevada de Santa Marta, Cesar y La Guajira, Valle del Cauca y Cauca, en alturas comprendidas entre los 300 y 1300 m. Crece sobre rocas de areniscas o sobre suelos muy secos la mayor parte del año.

5. *Anemia flexuosa* (Savigny) Sw., Syn. Fil. 156. 1806.

Osmunda flexuosa Savigny in Lam Enc. 4: 625. 1797.
TIPO: Savigny designó un ejemplar del Herbario de Jussieu

Planta de 23 - 52 cm de long., rizoma corto, cubierto de pelos marrón o ferrugineos. Frondas subdimórficas; pecíolos 15-26 (-34) cm de long., las frondas estériles con pecíolos más cortos, cubiertos con abundantes pelos; lámina estéril (-8) 15-23 cm de long., bipinnada a bipinado-pinnatisecta en la base; pinnas 8-15 pares, subopuestas a alternas; venación libre. Pinna fértil (6-) 9-16 cm de long., erectas, iguales o más cortas que la lámina estéril, pecíolos 2-4.5 cm de long., (0.1-) 0.6-1 cm abajo de las pinnas estériles basales.

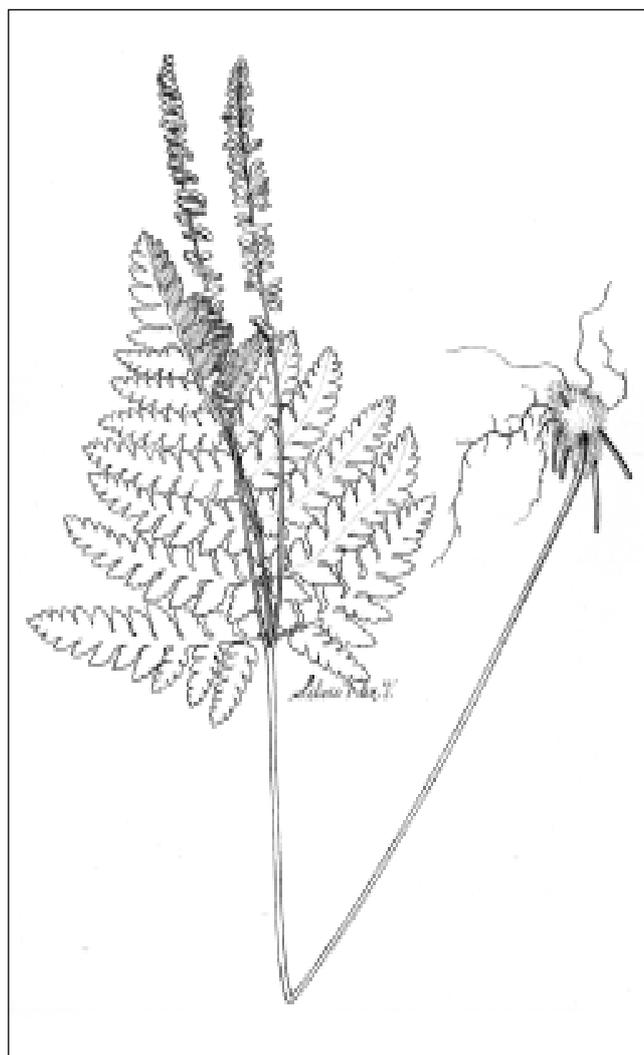


Figura 3. *Anemia ferruginea* Kunth var. *ferruginea*

Se encuentra en los departamentos de Caldas, Cundinamarca y Tolima, entre 200 y 2500 m. Crece en taludes de carreteras.

6. *Anemia glareosa* Gardner, Sert. Pl. t. 70. 1844

TIPO: Brasil, Goias, *Gardner 4086* (US)

Fig. 4 C.

Frondas subdimórficas; pecíolos de las frondas subdimórficas mayor de 12 cm de long.; lámina estéril ovado-deltada; pinnatisecta a pinnada en la base; pinnas con margen serrulada a entera, ápice redondeado; venación libre; las pinnas fértiles más largas que la lámina estéril.

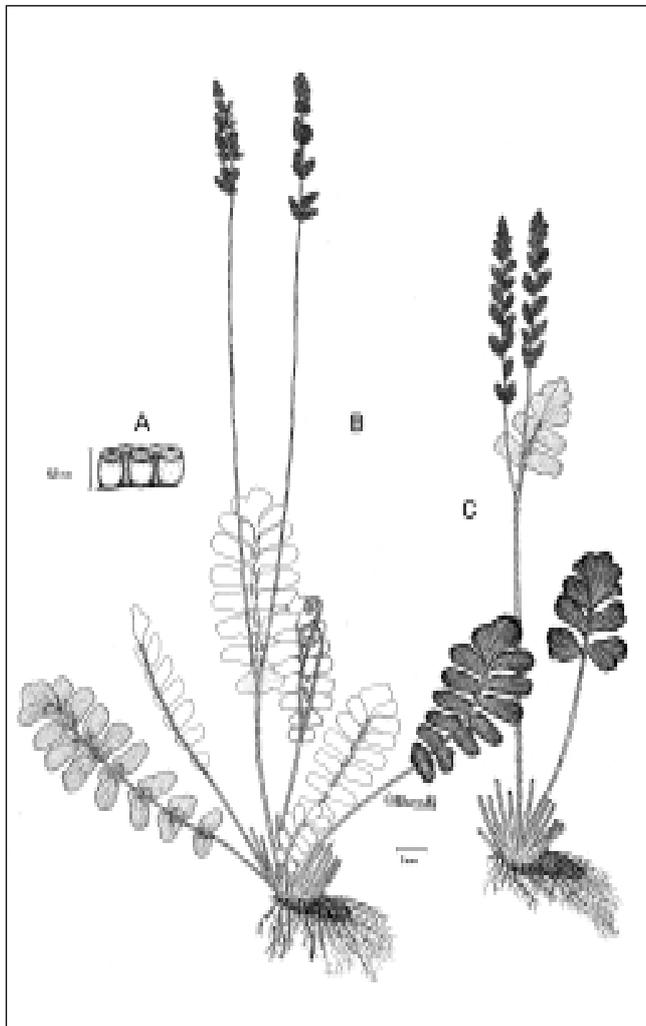


Figura 4. *Anemia oblongifolia* (Cav.) Sw. A. Detalle de los esporangios, B. Hábito. *Anemia glareosa* Gardner C. Hábito.

No hay ejemplares de esta especie en COL, sin embargo **Mickel** (1962) cita: Cauca, valle del Patía, ca. Bordo, *White 18* y Tolima *Lehmann 6402*

7. *Anemia hirsuta* (L.) Sw., Syn. Fil. 155. 1806.

Osmunda hirsuta L. Sp. Pl. 1064. 1753. Leptotipo designado por Proctor (1985): Plumier, *Traité Foug. Amér. t. 162. 1705.* Fig. 5.

Planta de (10-) 17-34 (-47) cm de long.; rizoma corto, cubierto de pelos anaranjados a rojizos. Frondas subdimórficas, vellosas, pecíolo de (4-) 8 – 20 (-23.5) cm de long., las frondas estériles con pecíolos más cortos, láminas estériles (3-) 5-11 cm long., pinnado pinnatífida a pinnado-

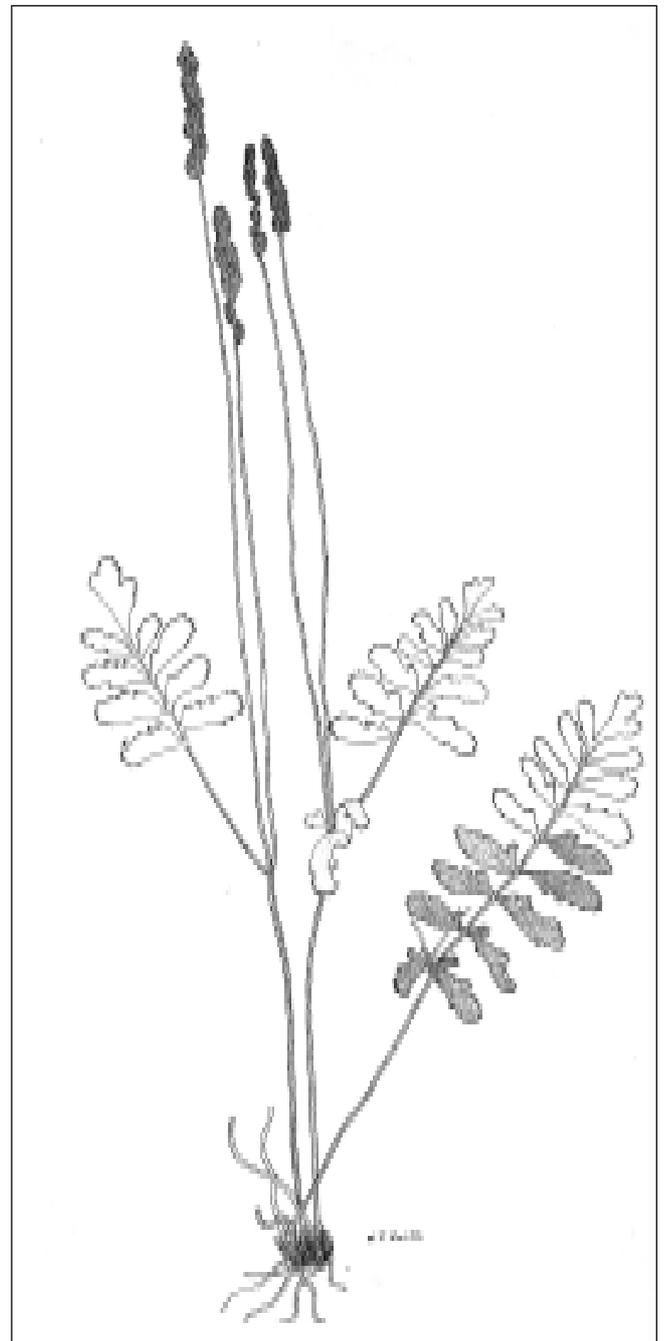


Figura 5. *Anemia hirsuta* (L.) Sw.

pinnatisecta, oblonga a deltada; pinnas 7-12 pares, subopuestas a alternas segmentos con márgenes aserrados; venación libre. Pinna fértil (4-) 8-16 (-26) cm de long., erectas; pecíolo de (3-) 7-17.5 cm de long., situadas en el mismo punto que las pinna estériles basales, 2-3 veces más largas que éstas.

Esta especie crece desde los departamentos de Nariño y Tolima hasta Antioquia y Santander, también en la Sierra Nevada de Santa Marta y Cesar, entre los 120 y 2000 m de altitud. Prospera en barrancos y en sitios con suelos arenosos, con sombra y humedad permanentes.

8. *Anemia millefolia* (Gardner) C. Presl, Suppl. Tent. Pterid. 80 1845.

Coptophyllum millefolium Gardner, London J. Bot. 1: 133. 1842. Tipo: Brasil, *Gardner 4083* (K) Fig. 6.

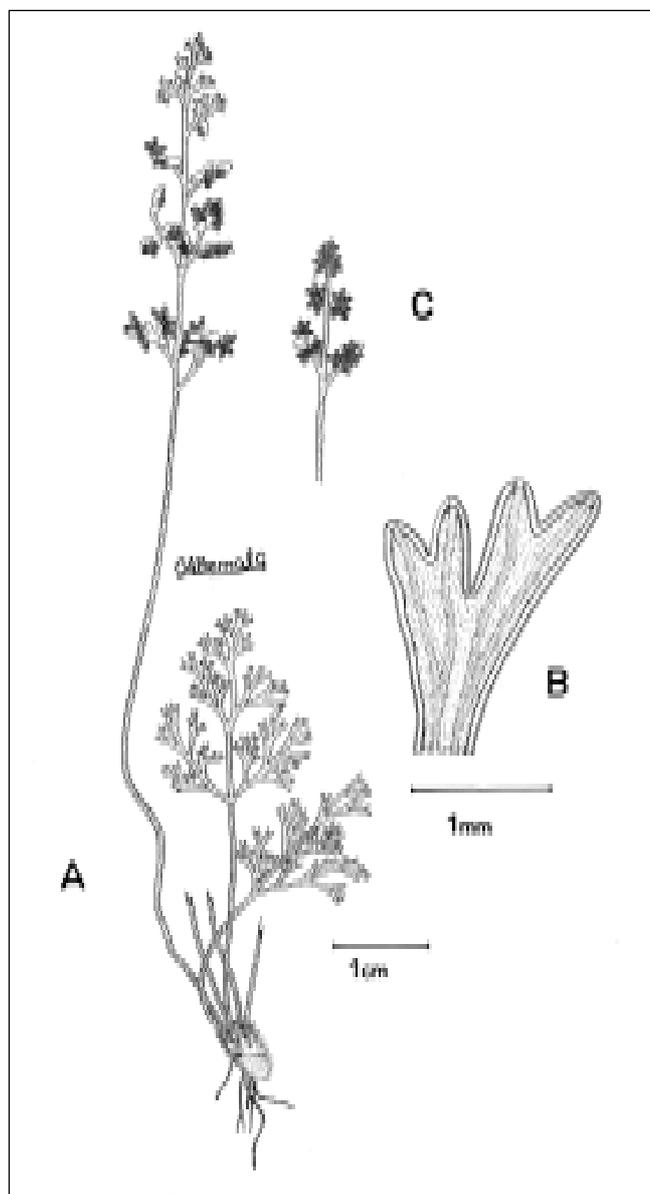


Figura 6. *Anemia millefolia* (Gardner) C. Presl A. Hábito, B. Detalle de los segmentos, C. Detalle de la fronda fértil

Planta de 11-18 cm de long.; rizoma, corto, postrado; más de 5 mm de diámetro, cubierto con pelos ferrugíneos. Frondas dimórficas; las estériles 6-12 cm de long., pecíolos 1.5–4 (-8) cm de long., más cortos que los de las fértiles; lámina oblongo-ovada, 3-4 pinnada; pinnas 9-12 pares, subpuestas a alternas; venación libre. Fronda fértil 11-18 cm de long., más largas que las estériles; pecíolos 4-10.5 cm de long.; lámina 2-3 pinnada; pinnas catádromas, pecioladas, distantes; segmentos fértiles con lámina foliar muy reducida, a veces el ápice de la fronda fértil con pinnullas y segmentos estériles.

Se ha registrado para los departamentos de Boyacá, Caquetá y Tolima, en alturas cercanas a los 900 m. Crece sobre rocas de arenisca en sitios húmedos.

9. *Anemia oblongifolia* (Cav.) Sw., Syn. Fil. 156. 1806.

Osmunda oblongifolia Cav., Icon. 6: 69. 1801. Tipo: Panamá, *Nee sn.* (MA) Fig. 4 B.

Planta de (2.5-) 12-25 cm de long.; rizoma corto, cubierto con abundantes pelos anaranjados a rojizos. Frondas subdimórficas; pecíolo (0.3-) 1-5 cm de long.; láminas estériles (0.8-) 3-6.5 cm de long., oblongas, pinnadas; pinnas (1-) 3-9 pares, generalmente el par basal reducido, margen serrulada a entera, ápice redondeado, la pinna apical obdeltada; venación libre. Pinnas fértiles (2.5-) 7.5-19 cm de long., erectas, más largas que la lámina estéril; pecíolos (2-) 6-14 cm de long.; situadas en el mismo punto que las pinnas estériles basales.

Esta especie se encuentra en los departamentos de Boyacá, Casanare, Cauca, Huila, La Guajira, Magdalena, Meta y Tolima, entre los 100 y 1725 m de altitud. Crece en sabanas arbustivas sobre rocas, en lomas lateríticas y suelos arcillosos.

10. *Anemia pastinacaria* Moritz ex Prantl, Unters. Morph. Gefässkrypt. 2: 110. 1881. Lectotipo: Designado por Lellinger (1985): “Nueva Granada”, Valle del tigre, *Moritz 26* (B).

Planta de 20-30 cm de long.; rizoma corto, cubierto de pelos estramíneos a rojizos. Frondas subdimórficas, pecíolo 9-21 cm de long.; lámina estéril 2.5-5 cm de long., pinnada, deltada, cartácea; pinnas 4-6 pares, subpuestas, ápices agudos a obtusos; las pinnas basales algunas veces incisas o con lóbulos en el lado acroscópico; venación libre, Pinnas fértiles 4.5-12 cm de long., erectas, más largas que la lámina estéril, pecíolos 4-6.5 cm de long., situadas en el mismo punto que las pinnas estériles basales.

Esta especie se distribuye en los departamentos de Casanare, Magdalena, Meta y Tolima, entre los 300 y 880

m de altitud. Crece en lugares sombreados sobre suelos arcillosos.

11. *Anemia phyllitidis* (L.) Sw., Syn. Fil. 155. 1806.

Osmunda phyllitidis L. Sp. Pl. 1064. 1753. Lectotipo designado por Proctor (1985): Plumier, *Traité Foug. Amér.* t. 156. 1705. Fig. 7.

Planta de 20-70 cm de long.; rizoma corto, inclinado, cubierto con pelos estramíneos a rojizos. Frondas subdimórficas; pecíolos 10-40 (-50) cm de long.; lámina estéril (7-) 12-20 cm de long., pinnada, deltada, paripinada o imparipinada; pinnas (2-) 3-5 (-7) pares, generalmente subopuestas, ovadas a lanceoladas, ápice acuminado,



Figura 7. *Anemia phyllitidis* (L.) Sw.

pinna apical conforme, márgenes serradas a crenuladas; venas anastomosadas. Pinnas fértiles 15-37 cm de long., erectas, generalmente más largas que la lámina estéril, pecíolos 5-15 cm de long., situadas en el mismo punto que las pinnas estériles basales, a veces 0.4 cm abajo.

Esta es una especie fácilmente diferenciable por sus láminas pinnadas y de venación anastomosada. El ejemplar de *Smith 2566* posee láminas pinnadas como en *A. phyllitidis*, pero la venación es principalmente libre, esto podría colocarla dentro de *A. semihirsuta*, sin embargo, las pinnas basales no son incisas como en ésta especie, además, las esporas están bien formadas y no parecen corresponder a un híbrido, por lo cual se ha preferido colocarla por ahora en *A. phyllitidis*. El ejemplar *C. Acosta 1157* presenta las pinnas basales pinnadas.

Esta especie se distribuye principalmente en la región andina desde el Cauca hasta Antioquia y Norte de Santander, Además, en los departamentos de La Guajira, Magdalena y Cesar, entre el nivel del mar y los 2500 m. Es una especie de hábitats muy variados crece desde sitios sombreados y húmedos hasta lugares abiertos como sabanas y barrancos de carreteras y desde suelos arcillosos hasta areniscas.

12. *Anemia semihirsuta* Mickel, *Brittonia* 34: 410. 1982.

TIPO: México, Oaxaca, Dist. Villa Alta, vía de Villa Alta al aeropuerto, 1220 m, 5 ago 1962, *J. Mickel 1120* (NY)

Planta de 30-50 (-80) cm de long., rizoma corto. Frondas subdimórficas, pecíolos de (12-) 21-25 (-38) cm de long.; lámina estéril (5.5-) 8.5-17 (-19) cm de long., deltada, pinnada hacia el ápice, con 1-5 pares de pinnas basales pinnatisectas; pinnas 7-10 pares, opuestas a subopuestas, cortamente pecioladas a sésiles; venación escasamente reticulada. Pinnas fértiles 17-22 (-32) cm de long., erectas; más largas que la lámina estéril, pecíolos 9-14 (20) cm de long., 0-7 mm abajo de las pinnas estériles basales.

Esta especie se encuentra en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca, Huila, Meta y Valle del Cauca, entre los 500 y 1500 m de altitud. Es una planta terrestre de sitios más o menos sombreados y de terrenos arcillosos ligeramente húmedos

13. *Anemia sancta-martae* H. Christ, *Bull. Herb. Boissier* 2,7: 791. 1907.

TIPO: Colombia, Santa Marta, *Smith H.H. 1114* (NY).

Planta de 13-26 cm de long.; rizoma corto, oblicuo. Frondas subdimórficas, fasciculadas, numerosas; pecíolos 1-3 (-4) cm de long.; lámina estéril (4-) 5-9 cm de long.,

oblonga, pinnada, reducida hacia el ápice, membranáceas; pinnas 7-12 pares, sésiles, subopuestas a alternas, ápice redondeado; márgenes serradas, a veces con un lóbulo basal acroscópico; pinna terminal obtusa, cuneada, lobada; venación libre. Pinnas fértiles (10-) 12-18 cm de long., erectas, más largas que la lámina estéril, pecíolo 9-17 cm de long., situadas en el mismo punto que las pinnas estériles basales.

Esta especie crece en los departamentos de Cesar, Guajira y Magdalena, entre los 150 y 700 m de altitud. El ejemplar de *C.I. Orozco 1666* de Norte de Santander recolectado a 2800 m, podría pertenecer a *A. sancta-martae*, sin embargo, difiere por la altitud en la cual fue encontrada. Crece en lugares secos entre rocas y barrancos de ríos, principalmente sobre suelos arenosos y soleados.

14. *Anemia villosa* Humb. & Bonpl. ex Willd., Sp. Pl. Editio quarta 5: 92. 1810.

TYPE: protologue, Habitat in America meridionali, *Humboldt & Bonpland s.n.* Fig. 8.

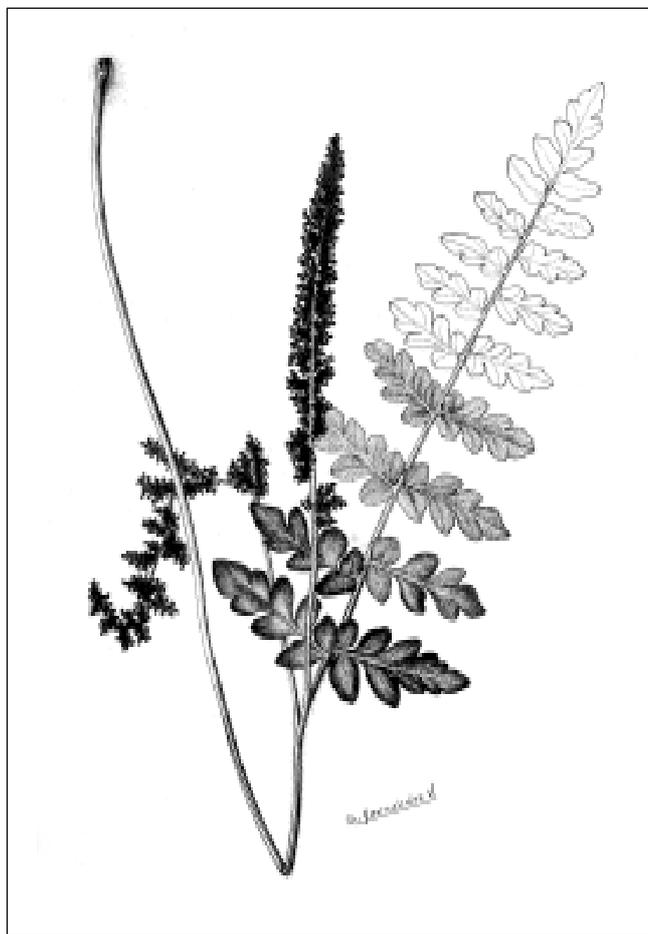


Figura 8. *Anemia villosa* Humb. & Bonpl. ex Willd.

Planta de (14-) 25-37 (-70) cm de long.; rizoma corto, suberecto. Frondas subdimórficas, cubiertas abundantemente con pelos; pecíolos 6-26 (-43) cm de long.; lámina estéril (6-) 9-17 (-28) cm de long., ovado-deltada, pinnado-pinnatifida a pinnado-pinnatisecta; pinnas 7-11 (-14) pares, subopuestas a alternas, con lóbulos redondeados, márgenes subenteros; venación libre. Pinnas fértiles (5-) 7-18 cm de long., erectas, más cortas o más largas que la lámina estéril; pecíolos 2-6.5 cm de long., 3-10 (-15) mm abajo de las pinnas estériles basales.

Los ejemplares *C. Acosta 1106* y *1169* tienen pinnas basales pinnadas. Esta es una especie ampliamente distribuida en la región andina, principalmente en la parte central, entre los 600 y 2500 m de altitud. Esta especie crece en sitios abiertos y perturbados generalmente en los barrancos a la orilla de los caminos, sobre suelos generalmente secos y a veces sobre suelos arcillosos.

Agradecimientos

Agradecemos a J. T. Mickel por la revisión crítica del manuscrito y por la determinación de algunos ejemplares. A los herbarios HUA, MO y NY por el préstamo de algunos ejemplares del género. A COL por permitir el estudio de los especímenes. C. Bernal y S. Fernández elaboraron la mayoría de ilustraciones.

Bibliografía

- Bierhorst, D.W.** 1971. Morphology and anatomy of new species of *Schizaea* and *Actinostachys*. Amer. J. Bot. **58**: 634-648.
- De la Sota, E.R. & J. Mickel.** 1968. Sinopsis de las especies argentinas del género *Anemia* Swartz (Schizaeaceae) Rev. Mus. La Plata N.S. Secc. Bot. **11**: 133-152.
- Duek, J.** 1980. A taxonomical monograph of *Anemia* subgenus *Anemiorrhiza* (Filicinae). Fedd. Repp. Sp. Nov. **91**: 69-87.
- Kaulfuss, G.F.** 1827. Das wesen der farrnkänter. Leipzig 4.
- Lellinger, D.B.** 1985. Nomenclatural and taxonomic notes on the Pteridophytes of Costa Rica, Panama, and Colombia. Proc. Biol. Soc. Wash. **98**: 366-390.
- Mickel, J.** 1962. A monographic study of the fern genus *Anemia* subgenus *Coptophyllum*. Iowa State J. Sci. **36**: 349-482
- _____ 1966. A new species of *Anemia* from south America. Amer. Fern J. **56**: 58-60.
- _____ 1967. The phylogenetic position of *Anemia colimensis*. Amer. J. Bot. **54**: 432-437.
- _____ 1981. Revision of *Anemia* subgenus *Anemiorrhiza* (Schizaeaceae). Brittonia **33**: 413-429.
- _____ 1982. The genus *Anemia* (Schizaeaceae) in Mexico. Brittonia **34**: 388-413.

_____. 1984. New tropical American fern. Amer. Fern J. 74: 111-114.

_____. 1985. Three new anemias from northern south America. Amer. Fern J. 75: 33-37.

Moran, R. & J. Mickel. 1995. *Anemia*. En Moran, R. & R. Riba (editores del volumen) Psilotaceae a Salviniaceae. En Davide, G. M. Sousa & S. Knapp (editores generales) Flora Mesoamericana. Vol 1: 53-56.

Pichi Sermolli, R.E.G. 1977. Tentamen pteridophytorum genera in taxonomicum ordinem redigendi. Webbia 3: 313-512.

Reed, C.F. 1948. The phylogeny and ontogeny of the Pteropsida. I. Schizaeales. Bol. Soc. Broter. Ser. 2. 21: 71-197.

Recibido el 12 de marzo de 2004

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

Especímenes estudiados

Acosta-Arteaga, C.E. 30 (7); 47, 56 (14); 148 (5) (COL, NY), 256, 257, 274, 284, 457, 547, 549, 600 (14); 617 (COL, NY) (7); 674 (14); 727, 733 (7); 743 (11); 750 (7); 751 (12); 789 (14); 864 (7); 865 (COL, NY) (4), 872A (11); 874 (7), 877 (COL, NY) (4), 878 (7); 885 (4), 899, 900 (COL, NY), 904 (7), 905 (COL, NY) (11), 908 (7); 911, 932, 934 (14); 935 (7); 971 (12); 972 (11); 984 (7); 985 (11), 999, 1018 (7); 1103 (11), 1106 (14); 1116 (9); 1117 (7); 1118 (4), 1121 (4), 1124, 1129 (11); 1131 (4), 1141 (7), 1143 (NY) (13), 1145 (9); 1147 (4), 1150, 1157 (11); 1160 (14); 1161 (4), 1162, 1164, 1167 (7); 1169, 1186A, 1235 (14); 1244 (7); 1246 (14); 1252 (4)

Aguilar, J. 168 (14); 233 (7)

Araque, J. 18An206, 19An088 (14)

Archer, W.A. 787 (7)

Balick, M. 10, 1065 (14)

Barkley, F.A. 17C828 (4); 38C283, 38C477 (7)

Bernal, R. 1476 (12)

Blydenstein, J. 1032 (9)

Cadena, A. 21 (2), 22-A, s.n. (9)

Callejas, R. 2171 (MO, NY) (11); 7217 (12)

Cardiel, J. 4712

Cuatrecasas, J. 7688 (2); 24377 (7); 24405 (11); 24377 (7); 25380 (11)

Díaz, P., S. 172 (7)

Echeverry, R., 1279 (4); 2066 (2)

Espina, J. 411 (12)

Espinal, S. 1523, 2701 (14); 3543 (11); 3569 (14)

Estrada, J. 355 (2)

Fernández, A. 1186 (11)

Fernández-A., J.L. 11563 (7); 16241 (14)

Fosberg, W.R. 19816 (9)

Foster, M.B. 1299 (11); 1305 (7)

Franco, P. 1963, 2034 (11); 2034A (3)

Fosberg, F.R. 19475 (US) (3); 19806 (NY) (11)

Galindo, R. 367 (11)

García-Barriga, H. 3131 (11); 4395 (14); 17266 (11); 19923 (14)

Gil, M. 05 (14)

Giraldo-Cañas, D. 3454 (2)

González F. 2302 (2)

Grant, M.L. 9687 (14); 9749 (COL, NY) (9); 9894 (NY) (11)

Grubb, P. 70 (14)

Gutiérrez, G. 17An661 (14)

Hagemann, W. 318 (11); 321 (5); 344, 411 (14); 723 (3); 1220 (3); 1230 (14); 1650 (11); 1651 (7); 1796 (4)

Haight, O. 2104 (5); 2308 (11); 2318 (13); 2423 (5); 3573 (9); 3731 (13); 3768 (4); 3769, 3774 (11); 3903 (13); 3977 (11); 4296 (NY) (7); 5251 (7); 5252, 5873, 6049 (14); 6335 (7); 6380 (4)

Hno. Daniel 57 (11), 2454 (7)

Holton, I.F. 78 (NY) (7); 776 (NY) (11)

Idrobo, J.M. 577 (11); 668, 9468 (2); 10188 (11)

Jaramillo-M., R. 1155 (10); 3207 (14); 3940 (9); 3945 (8); 4749(7); 4750 (4); 4759 (7); 4817 (14); 4819 (11)

Killip, E.P. 16201 (4) (NY), 16381 (4) (NY); 21155 (7) (NY); 33679, 38413 (14)

Kirkbride Jr., J.H. 1983 (11)

Laegaard, S. 17560 (9)

Lehmann 496 (11); 6400 (8) (K, US)

Linares, E. 1912 (11); 1927, 1937 (14)

Little, E.L. 7121 (9); 7191 (4); 7192 (10); 7193 (9), 7194 (2); 8936 8941 (7), 8947 (4); 9251, 9252, 9260, 9478 (7)

Lozano, G. 5968 (7)

Madriñán, S. 499, 572 (11); 578 (7)

Mägdefrau, L. 1287 (14)

Martínez, A. 39 (4)

Maxon, H.L. 13804 (7)

Mejía, F. 123 (14)

Mora, L. 4509 (14)

Murillo, J. 1456 (14); 2649 (11); 2653 (3); 2716, 2790, 2841 (14)

Murillo, M.T. 181, 189 (7); 585 (5) (COL, NY); 989, 1447 (14); 2154 (9)

Murphy, H. 372 (11)

Nee, M. 3882 (14)

Osorio, G. 171 (12)

Orozco, C. 1895 (14)

Palacios, P. 814 (2)

Pennell, F.W. 1343 (7) (NY); 1349, 1545 (NY) (9); 3569 (5)

Pinto, P. 190 (2); 353 (3)

Pittier, H. 1696 (11)

Ramírez, B. 12836 (14)

Rangel, A. 75, 146 (14)

Rodríguez, W. 3207 (14)

Ros, D. 2 (11); 028 (14)

Santa, J. 494 (12)

Saravia, C. 944, 1712 (7), 2626 (9); 4155 (14)

Sastre, C. 4959 (2)

Schneider, M. 184 (14); 218 (7); 752 (4); 752-A (7); 826 (11)

Schmetter, R. 269 (11)

Schultes, R.E. 19144 (2)

Smith, H.H. 1051A (13); 1108 (COL, NY) (11); 1109 (4) (NY); 1110 (7) (NY), 1111 (NY) (9); 1113 (10); 1115 (7) (NY); 2566 (11)

Smith, S.G. 1269 (9); 1269A (10); 1505 (11); 1563 (9)

Toro, R.A. 860 (NY) (11)

Triana, J. 53 (11); 661/1, 661/2, 661/3 (14); 661/4 (7)

Troyano, D. s.n. (11)

Uribe-Urbe, L. 366 (11); 1967 (14); 2487, 2539 (11); 4388 (COL, NY) (9); 4427, 4526 (COL, NY), 4822 (11)

van der Hammen, Th. 1057 (11); 1059 (7)

Vélez P. de 224 (11)

White, R.B. s.n. (4) (NY); s.n. (NY) (9); s.n. (NY) (11)

Yepes, S. 18Ca007 (14)

NOVEDADES COLOMBIANAS EN *Schefflera* (ARALIACEAE)

por

Bernardo Ramiro Ramírez Padilla *

Resumen

Ramírez, B.: Novedades colombianas en *Schefflera* (Araliaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 28 (109): 481-485. 2004. ISSN 0370-3908.

Se describen e ilustran dos nuevas especies de Araliaceae [*Schefflera munchiquensis* y *Schefflera awa*] propias del sur de la cordillera Occidental de Colombia. Las nuevas especies pertenecen al grupo *Sciadophyllum* que comprende cerca de 175 especies distribuidas desde el nivel del mar hasta cerca de los 3500 m. de altitud en Centroamérica, los Andes, Jamaica y el altiplano Guayanés. Adicionalmente se registran dos especies [*Schefflera diplodactyla* Harms y *Schefflera epiphytica* A. C. Smith] para la flora de Colombia.

Palabras clave: Araliaceae, Colombia, corología, nuevas especies, *Schefflera*, taxonomía.

Abstract

New species of Araliaceae, *Schefflera munchiquensis* and *Schefflera awa* from western mountain range of south Colombia are described. The new species belong in the *Sciadophyllum* group that comprises about 175 species distributed in Mesoamerica, the Andes, Jamaica and Guyana Altiplane at altitudinal elevations from sea level to over 3500 m. Furthermore, two species are recorded for Colombia: *Schefflera diplodactyla* Harms and *Schefflera epiphytica* A. C. Smith.

Key words: Araliaceae, Colombia, chorology, new species, *Schefflera*, taxonomy.

Introducción

El género *Schefflera* Forst presenta distribución tropical y abarca cerca de 900 especies, en su mayoría paleotropicales, pero con una importante presencia en el

área neotropical, donde se encuentran cerca de 300 especies. De ellas aproximadamente 60 se hallan en la Guayana de Venezuela (Maguire *et al.*, 1984) y regiones adyacentes de las Guayanas y Colombia; 45 especies han sido registradas para Brasil, especialmente en las montañas del

* Departamento de Biología, Museo de Historia Natural, Universidad del Cauca, Cra. 2 No. 1A-25. Popayán, Colombia, E-mail: branly@unicauca.edu.co

sur, las elevaciones centrales y el occidente de la Amazonia; algo más de 180 especies se hallan en los Andes y en Centroamérica y 15 en otras regiones (Frodin, 1993, 1995). Para Centroamérica se reconocen 25 especies, algunas de las cuales extienden su distribución al norte de Sudamérica (Cannon & Cannon, 1989).

El conocimiento de las especies colombianas de *Schefflera* se fundamenta en los trabajos de (Harms, 1895, 1936, 1938, 1940), y en las publicaciones de (Cuatrecasas, 1946, 1951, 1968). Hasta el presente se tienen registradas 51 especies distribuidas especialmente en la región andina y la costa del Pacífico y unas pocas en la Amazonia.

Las nuevas especies que se describen a continuación pertenecen al grupo *Sciodaphyllum*, caracterizado por presentar inflorescencias globales paniculadas, flores dispuestas en umbelas, capítulos o espículas, pétalos caliptrados, ovario con 2-8 lóculos y estilos unidos en una columna alargada y comúnmente con la porción terminal libre (Frodin, 1995).

Para el presente estudio se estudiaron colecciones pertenecientes a los siguientes herbarios CAUP, COL, CUV, PSO, TULV y VALLE.

Schefflera munchiquensis Ramírez-Padilla sp. nov.

Fig. 1

Typus: COLOMBIA, CAUCA: Municipio de El Tambo, Parque Nacional Natural Munchique, vía al Observatorio, alt. 2670 m, 2 Feb. 2002, B. E. Salgado N. 490, fr (**Holotypus:** CAUP).

Arbuscula hemiepiphytica; caulis 4-5 cm diam. Folia alterna, 7-digitato-foliolata; petiolus teretis 32-35 cm longus, 0.7 cm crassus, glabrus. Lamina foliolorum coriacea late oblongo-elliptica, minima 32 cm long. x 9 cm lata, maxima 35 cm long. 13 cm lata, base rotundata, apicem versus acuminata, costa prominula; supra atroviridia, glabra, bullato-reticulata; infra brunneo-viridia, foveato-excavata, costa valde prominentia; margine integra. Inflorescentia terminalia paniculata; rhachis ramique adpresso-tomentoso vel glabrescente. Capitula orbiculata 3-4 mm. diam. floris parvis, 2 mm. margine calycinae 5-dentata tomentoso-lanata; stamina 5; styli 5 apice liberi basi in columnam coaliti. Fructus obconico-globosus, 7 mm longus x 5 mm latus in sicco profundae 5 sulcato-costatus.

Arbusto semiepífito, 1.5-4 m de alto. Tronco grácil, 4-5 cm de diámetro, no ramificado. Hojas alternas, arracimadas en el extremo del tallo, 7 folioladas. Lígula



Figura 1. *Schefflera munchiquensis* Ramírez-Padilla. Fotografía del holotipo: B.E. Salgado N. 490.

lanceolada, leñosa, 4-4.5 cm de largo, base de 2 cm de ancha, velutina a glabra; porción libre de 1.8 cm de largo, lenticelada. Pecíolos cilíndricos, 32-35 cm de largo, 0.7 cm de diámetro, glabros. Pecíolulos de 3.5-5 cm de largo, engrosados en la base y en el extremo apical, 2-3 mm de diámetro, ligeramente deprimidos, glabros. Láminas oblongo-elípticas, 27-35 cm de largo, 9-13 cm de ancho; base redondeada; ápice acuminado; acumen 2.5-3.5 cm de largo; margen entera; haz bullado-reticulada, glabra, brillante; envés foveado-excavado, café verdoso oscuro en seco; nervio medio prominente por la haz, prominente por el envés; nervios secundarios pinnados, paralelos, ligeramente ascendentes, semicraspedódromos, 17-19 por lado, distanciados entre sí 0.7-2.2 cm, impresos por la haz y prominentes por el envés; nervios intersecundarios cortos, perpendiculares al nervio central; vénulas reticuladas. Nervios por el envés adpreso pilosos.

Inflorescencia terminal, paniculada; eje central 20-30 cm de largo, adpreso tomentoso; brácteas que soportan las ramas lanceoladas, 0.4 cm de largo, tomentosas; ramas laterales, 15-35 cm de largo, 2-3 mm de diámetro, tomentulosas a glabrescentes; bractéolas triangulares, di-

minutas, 1.5 mm de largo; pedicelos gráciles, 1-1.2 cm de largo, 0.7-1 mm de diámetro, tomentulosos. Cabezuelas con 5-12 flores, 3-4 mm de diámetro. Flores pequeñas, 2 mm. Cáliz 5-dentado, tomentoso-lanoso. Estambres 5, anteras subsésiles. Estilos 5, fusionados hasta la mitad en una columna cónica, corta, menor de 1 mm.

Cabezuelas fructíferas 1.5-2 cm de diámetro. Frutos obcónico-globosos, 7 mm de largo por 5 mm ancho, 5-costulados, coronados por el estigma, con una columna de 2 mm de largo y 5 lóbulos que se extienden a partir de la mitad de la columna.

Distribución y ecología. Hasta ahora esta especie solo se conoce del Parque Nacional Munchique (Colombia, departamento del Cauca), en la vereda Santa Ana, sector de la Romelia, en altitudes que van de los 2600 a los 3000 m. El rango de distribución corresponde a selva andina muy húmeda. La población se encuentra en áreas parcialmente intervenidas; la especie crece en áreas donde predominan *Saurauia chiliantha* R. E. Schultes, *Saurauia multinervis* Soejarto, *Croton polycarpus* Benth., *Oreopanax albanensis* Cuatrec., *Tovomita parviflora* Cuatrec., *Pentacalia silvascandens* (Cuatrec.) Cuatrec., *Cavendishia divaricata* A.C.Smith, *Juanulloa speciosa* (Miers) Dunal, *Begonia killipiana* Smith & Schubert, *Brunellia glabra* Cuatrec., *Maytenus laxiflorus* Triana & Planch., *Clusia bernardoi* Pipoly & Cogollo, *Cornus peruvianus* Macbride, *Citronella silvatica* Cuatrec.

Etimología. El epíteto específico hace alusión al Parque Nacional Munchique, localizado en el municipio de El Tambo, departamento del Cauca, Colombia, lugar donde se recolectó el ejemplar típico.

Material adicional examinado: COLOMBIA, CAUCA, El Tambo, Parque Nacional Munchique, La Romelia, Sendero El Oso, 2700 m, 3 Ene. 2001, *S. L. Diaz I., B. Salgado N., O. L. Casañas & L. Perdomo* 1199, fr (CAUP); Parque Nacional Munchique, La Romelia, camino al observatorio, 2600 m, 23 Jul. 1993, *G. Lozano C.* 6665, fr (COL); ibídem, vereda Santa Ana, La Romelia-Cerro Santa Ana, 3000 m, 22 Jul. 1993, *N. Ruiz* 145, fl (COL).

Schefflera awa Ramírez-Padilla sp. nov. Fig. 2

Typus: COLOMBIA, NARIÑO: Barbacoas, Km. 2-8 E. de Junín, alt. 1.100 m, 26 Jul. 1986, *A. Gentry, O. de Benavides, G. Castillo & B. R. Ramírez P.* 55194, fr (**Holotypus:** PSO; **Isotypus:** MO).

Arbuscula hemiepiphytica. Folia alterna, 9-digitatofoliolata. Ligula lanceolata. Petiolus teretis, 32-63 cm



Figura 2. *Schefflera awa* Ramírez-Padilla. Ejemplar Tipo.

longus, 1-1,5 cm crassus, robustus, ferrugineo-pulverulentus, lenticelatus. Lamina foliolorum crassa coriacea oblongo-elliptica, minima 20 cm long. x 8 cm lata, maxima 36 cm long. 9 cm lata, basi subtruncata, apicem versus rotundata acuminata; margen integra, supra viridis, micans, bullato-reticulata; infra puberula, foveado-excavata, costa valde prominente. Inflorescentia terminalis paniculata multiramea. Rhachis ramique ferrugineo-pulverulentis. Capitula orbiculari 0.8-1 cm. Margine calycinæ 5-lobulato. Stamina 5. Styli 5 apice liberi, basi in columnan coaliti. Fructus obconicus, 7 mm long. x 3 mm latus in sicco profundo 5 costatus.

Arbusto hemiepífito. Hojas alternas, digitado-compuestas, 9-folioladas. Lígula leñosa, lanceolada, 10 cm largo, 6 cm ancho, externamente con lenticelas grandes y verrucosas, porción libre 4.5-5.5 cm largo. Pecíolos robustos, 32-36 cm largo, 1-1.5 cm grueso, ferrugíneo-pulverulentos, lenticelados, con base verrucoso-lenticelada. Pecíolulos deprimidos, 5-9 cm largo, ferrugíneo-pulverulentos. Láminas de los foliolos craso-coriáceas, oblongo-elípticas, 20-35 cm largo x 8-12 cm ancho; base subtruncada; ápice redondeado, corta y abruptamente

acuminado, acumen 1 cm largo; margen entera. Haz glabra, bulloso-reticulada, verde brillante, costilla prominente; nervios secundarios hundidos; vénulas reticuladas, hundidas. Envés foveolado-excavado, pubérulo, verde claro brillante; costilla prominente; nervios secundarios prominentes, incurvados, ligeramente ascendentes, pubescentes; nérvulos prominentes, reticulados, pubescentes.

Inflorescencia paniculada, multiramada. Ramas de 28-40 cm largo, ferrugíneo-pulverulentas. Pedúnculos de las cabezuelas ferrugíneo-pulverulentas, 0.6-1 cm largo. Bractéolas pequeñas, 0.5 cm largo, envainadoras. Cabezuelas globosas, 0.8-1 cm diámetro, densifloras. Cáliz membranáceo, 5-lobulado-triangular, 1 mm. Corola caliptrada, ferrugíneo-tomentosa, 3 mm, cubierta con pelos estrellados. Ovario tomentoso, 2 mm, con pelos estrellados. Estambres 5, filamentos 3 mm. Estilos connados solo en la base, 3 mm largo, extremos suberectos. Cabezas fructíferas globosas, 1.3-1.5 cm de diámetro. Frutos obcónicos, 0.7 x 0.3 cm, pentasulcados, ferrugíneo-pulverulentos en tiernos, coronados por la columna con los estilos extendidos.

Distribución y ecología. La especie se conoce del municipio de Barbacoas, corregimientos de Junín y Altaquer en el departamento de Nariño, en selvas muy húmedas y pluviales, entre 900 y 1300 m, en áreas naturales y parcialmente intervenidas, compartiendo espacios con *Schefflera cajambrensis* Cuatrec., *S. magnifolia* Cuatrec., *Clusia venusta* Cuatrec., *Anthopterus wardii* A. C. Smith, *Columnnea nariniana* (Wiehler) L. P. Kvist & L. E. Skog., *Columnnea minor* Hook., *Anthurium andreanum* Linden, *Tibouchina narinoensis* Wurdack, *Saurauia parviflora* Triana & Planch., *Gutteria alta* R. E. Fries, *Rollinia pittierii* Saff., *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb., *Banisteriopsis pubescens* (Nied.) Cuatrec. y *Marcgraviastrum sodiroi* (Gilg.) Bedell.

Etimología. El epíteto rinde homenaje a la comunidad indígena Awa, cuyo territorio se extiende entre el sur de Colombia y el norte del Ecuador e incluye el área donde crece la especie.

Material adicional examinado. COLOMBIA, NARIÑO: Km 2-10 N. de Junín, carretera Junín-Barbacoas, 1° 30' N. 78° 10' W, 900-1000 m, 26 Jul. 1986, A. Gentry & al. 55349, fl (MO, PSO); Junín-Altaquer, El Barro, 1300 m, 10 Dic. 1992, B. R. Ramírez P. 5231 (PSO).

Nuevos registros para la flora de Colombia

Schefflera diploactyla Harms, Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem 14: 337. 1939.

Especie descrita de Papayacu en el Oriente del Ecuador; presenta una amplia distribución en la Amazonía ecuatoriana y la región andina, en las provincias de Morona-Santiago, Napo, Pastaza, Pichincha, Sucumbios, Tungurahua y Zamora Chinchipe. También se tienen registros del departamento del Amazonas en Perú. (Borchsenius & Bergman, 1999; W³Tropicos, 2003). Se halla en altitudes que oscilan entre 300 y 1300 m. Se caracteriza por presentar los foliolos en dos verticilos separados e inflorescencias del tipo panícula con las flores dispuestas en umbelas que se insertan sobre ramas laterales. Guarda cierta semejanza con *S. silvatica* Cuatrec., especie conocida de Antioquia, Santander y Valle, la cual también presenta los foliolos en dos verticilos pero las flores se disponen en cabezuelas y con *S. trianae* (Planch. & Lind. ex Seem.) Harms, especie capitulígera con hojas cubiertas por doble capa de indumento.

Material revisado. COLOMBIA, PUTUMAYO: Municipio de Mocoa. Puente El Aguacate sobre el río Mocoa, costado derecho. Alt. 650 m, 15 Jun. 2002, B. R. Ramírez P. & al 15695, fl (CAUP, COAH, COL).

Schefflera epiphytica A.C. Smith, in Ann. Mo. Bot. Gard. 28: 437. 1941.

Especie descrita de Coclé en Panamá y conocida de Costa Rica y Panamá y de la Provincia de Esmeraldas en el Ecuador, entre los 250 y 1250 m (Borchsenius & Bergman, 1999; W³Tropicos, 2003), se caracteriza por presentar hojas simples, glabras y flores dispuestas en umbelas, que conforman una panícula con tres ramas. La posesión de hojas simples es bastante escasa dentro del género; *Schefflera cracens* Frodin de Venezuela suele tener ocasionalmente un solo foliolo, aunque normalmente presenta 3 y en ocasiones 4-5 foliolos, pero en ella la inflorescencia es una umbela compuesta.

Material revisado. COLOMBIA, NARIÑO: Barbacoas, corregimiento de Altaquer, El Barro, vía Altaquer-Reserva Los Colibríes, 1300 m, 8 Mar. 1995, G. Lozano C. & al. 6821, fl (COL). Ricaurte, resguardo indígena de Gualcalá, alrededores de Santa Fé, 1° 19' N. 77° 55' W. 1100 m, 17 Dic. 1995, B. R. Ramírez P. & M. S. González 9113, fl (PSO). Tumaco, vía Altaquer-Tumaco, Angostura, 3 Km antes de la Guayacana, K, 82, 620 m, 15 Mar. 1995, J. L. Fernández A. & al. 12563, fr (COL).

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a los herbarios Nacional Colombiano (COL), de la Universidad del Valle (CUVC), de la Universidad de Nariño (PSO), del Jardín Botánico Juan María Céspedes (TULV) y de la Universi-

dad Nacional seccional Palmira (VALLE) por el préstamo de los ejemplares que se emplearon en la descripción de las especies o por permitir la revisión de sus colecciones. Un agradecimiento especial Al profesor José Luis Fernández del Instituto de Ciencias Naturales por la revisión crítica del documento.

Bibliografía citada

- Borschenius, F. & B. Gergmann.** 1999. Araliaceae. En: Jorgensen, P. M. & S. León-Yañez (Eds.): Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. Monographs in Systematic Botany. Missouri Botanical Garden, **75**: 246-248.
- Cannon, M. J. & J. F. M. Cannon.** 1989. Central American Araliaceae—a precursory study for the Flora Mesoamericana. Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Bot.) **19**: 5-61.
- Cuatrecasas, J.** 1946. Notas a la Flora de Colombia: Araliaceae. Rev. Acad. Colomb. **6**: 533-547.
- 1951. Araliaceae. Rev. Acad. Colomb. **8**: 308-316.
- 1968. Dos Araliaceas nuevas de Colombia. Colletanea Botanica VIII. 7. Fasc. **1**(10): 221-226.
- Frodin, D. G.** 1993. Studies in *Schefflera* (Araliaceae), VI. New Species and Subordinate Taxa in the Venezuelan Guayana and Immediately Adjacent Areas. Novon **3**: 367-403.
- 1995. Neotropical Montane Araliaceae: An Overview. En S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero & J. L. Luteyn (eds.): Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests. 421-431.
- Harms, H.** 1895. Araliaceae. in Engl. Botanische Jahrbuchern **20**(49): 66-70.
- 1936. Araliaceae andinae I. Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem **13**(19): 30-448.
- 1938. Eine neue Araliacee aus Colombia (*Schefflera elachistocephala*). Fedde **43**: 110.
- 1940. Araliaceae andinae V. Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem **15**: 680-692.
- Maguire, B., J. A. Steyermark & D. G. Frodin.** 1984. The Botany of the Guayana Highland-Part XII, Araliaceae. Memoirs of the New York Botanical Garden. **38**: 46-82.
- W³Tropicos** 1993. Nomenclatural Data Base of Missouri Botanical Garden. sept. 2003. <URL: <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>>.

Recibido el 29 de octubre de 2003

Aceptado para su publicación el 15 de julio de 2004

PROCESOS EROSIVOS EN UNA MICROCUENCA ANDINA: EL VALLE ALTO DEL RÍO MEDELLÍN, CORDILLERA CENTRAL, ANTIOQUIA

por

Pedro de Greiff, Michel Hermelin & Diego Rendón*

Resumen

de Greiff, P., M. Hermelin & D. Rendón: Procesos erosivos en una microcuenca andina: El valle alto del río Medellín, Cordillera Central, Antioquia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 487-496, 2004. ISSN: 0370-3908.

Entre septiembre de 1999 y marzo de 2001 se realizó un estudio de procesos geomorfológicos en la cuenca alta del río Medellín-Porce, reserva Ecológica de San Miguel, Cordillera Central. El estudio de los procesos y depósitos allí presentes no es uniforme en su dinámica geomorfológica, presentándose zonas estables con tasas de erosión superficial (escorrentía, salpicadura) de 0.0007 mm/a, con coberturas locales de ceniza volcánica, en otras zonas el proceso dominante es la remoción en masa con tasas de denudación de hasta 0.1mm^a, allí los movimientos están controlados por las lluvias y la disposición estructural de los macizos rocosos.

Palabras clave: procesos geomorfológicos, trópico húmedo de montaña, procesos superficiales y en masa, Andes, Colombia

Abstract

Geomorphic processes were studied during eighteen months in the upper Medellín River Basin, located in the northern Central Cordillera; deposits and processes showed that the area does not have a uniform evolution. Some areas are very stable with very low erosion rates confirmed by runoff and splash erosion monitoring and by the presence of pre-Holocene volcanic ash on moderate slopes; mass movements area predominate in the steepest part of the watershed where denudation rates may reach 0.1 mma⁻¹.

Key words: geomorphological processes, humid tropical mountains, mass wasting, surface erosion, Andes, Colombia.

Introducción

El estudio de los procesos geomorfológicos en las montañas tropicales húmedas es aún limitado y las publi-

caciones especializadas no cubren la totalidad del tema (Thomas 1994, Reading *et al.*, 1995). Algunos autores recalcan la importancia de los procesos superficiales (Ruxton, 1967; Bruening, 1975, en Larsen *et al.*, 1999;

* Universidad EAFIT A.A 3300, Medellín, pedrogd@eudoramail.com, hermelin@eafit.edu.co

Vis, 1995), otros señalan que los procesos primordiales son los de remoción en masa (**Ruxton y McDougall**, 1967; **Page y James**, 1981; **Thomas**, 1994; **Larsen y Torres-Sánchez**, 1996; **Larsen et al.**, 1999), lo que plantea la necesidad de desarrollar más estudios que arrojen claridad sobre este aspecto.

El grupo de Geología Ambiental de la Universidad EAFIT decidió realizar estudios detallados sobre los procesos geomorfológicos en el valle alto del río Medellín, Reserva Ecológica del Alto San Miguel, que presenta características que la convierten en un lugar adecuado para la realización de este tipo de proyectos; allí se desarrollaron simultáneamente mediciones hidrológicas e hidrogeoquímicas (**Balbín**, en preparación, **Osorio**, 2002).

La división natural de la montaña andina subecuatorial puede establecerse con las zonas de vida de Holdridge (en **Espinal**, 1977), que a su vez dependen de la temperatura (altura) y de la humedad disponible. A la dificultad de definir los procesos naturales para cada piso se agrega la necesidad de determinar para cada uno la influencia humana actual y pasada.

Zona de estudio

El valle alto del río Medellín-Porce se encuentra ubicado a unos 25 km al sur de la ciudad de Medellín, en el extremo sur del valle del Aburrá: allí se estableció una zona protegida denominada Reserva Ecológica del Alto de San Miguel. (Figura 1). La zona de estudio tiene un área aproximada de 12 km², con alturas entre 1800 y 3050 msnm, se caracteriza por vertientes con pendientes fuertes, localmente mayores a 100%, con temperatura media de 16°C a 1800 msnm y lluvia media anual superior a 2500 mm (**IDEAM**, 2000), con máximos en los meses de mayo y octubre. Se clasifica como bosque húmedo Montano Bajo y bosque húmedo Montano, (en **Espinal**, 1977). La ocupación humana desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX introdujo pastos para ganadería; en la actualidad este proceso se suspendió, y aproximadamente 6 km² de la zona presentan estatus de conservación con procesos de recuperación vegetal pasiva; aproximadamente el 60% de la zona está cubierta por bosque secundario.

La zona se encuentra en un macizo ígneo-metamórfico del norte de la Cordillera Central el cual está recubierto parcialmente por cenizas volcánicas terciarias y cuaternarias. Las unidades litológicas en la zona de estudio son esquistos cuarzosericíticos devónicos (**Restrepo & Toussaint**, 1984) y ortoneis del Devónico inferior

(**Restrepo et al.**, 1991), que presentan contactos intrusivos y fallados con los esquistos; un cuerpo pegmatítico triásico intruye los esquistos (**González**, 1980; **Botero**, 1963). Finalmente se encuentran depósitos aluviales y de vertiente recientes. (Figura 1).

El marco tectónico de la zona está dominado por la cercanía de la falla San Jerónimo, perteneciente al sistema Romeral-Cauca, que se extiende en dirección Sur-Norte por más de 600 km (**Barrero et al.**, 1969) y separó en el Cretácico el dominio continental oriental del dominio oceánico occidental

Las divisiones geomórficas en la zona son las siguientes:

- Cimas: están formadas por la denominada Cuchilla de San Antonio, que marca la divisoria de aguas de la cuenca Medellín-Porce con las cuencas Cauca y Nare; es una zona estable con cenizas volcánicas; está dividida en 5 tramos definidos por cambios de dirección y de altura, a veces relacionados con estructuras claramente definidas.
- Vertientes discontinuas: Son vertientes compuestas por tramos cortos a medianos con fuertes cambios de pendiente en la parte baja, dando lugar a pequeños peldaños; la pendiente varía entre el 50 y 80%, con alturas entre los 2050 y 2700 msnm; esta unidad presenta recubrimiento de cenizas volcánicas, pero también evidencias de procesos de remoción en masa inactivos de gran tamaño.
- Vertientes continuas: Son vertientes largas y continuas disectadas por valles profundos en V, con pendientes fuertes, localmente escarpadas, a alturas entre 2150 y 3050 msnm; predominan los procesos de remoción en masa y no se presentan cenizas volcánicas.
- Geoformas derivadas de depósitos aluviales.

Los suelos en la zona se dividen en tres grupos principales:

- Andosoles generados a partir de numerosos aportes de cenizas volcánicas durante el Cuaternario (**Toro & Hermelin**, 1990); ocupan aproximadamente el 20% de la zona;
- Inceptisoles, derivados de los depósitos de vertientes a veces de pocos centímetros de espesor, que cubren gran parte de la zona;
- Litosoles derivados de material aluvial (**Aguilar & Loaiza**, 2001). (Figura 1).

Metodología

Para determinar los procesos superficiales (lluvia, salpicadura y escorrentía), se instalaron equipos que permitieran su cuantificación; los procesos en masa se observaron en el campo y por medio de fotografías aéreas. Los depósitos, aluviales y de cenizas volcánicas, fueron cartografiados y analizados.

Para determinar la lluvia efectiva se instalaron 13 pluviómetros, 1 a cielo abierto, para determinar la lluvia efectiva, 8 bajo bosque secundario y 4 bajo rastrojo; la lluvia efectiva se definió a partir de los promedios de los pluviómetros ubicados bajo cada cobertura.

La salpicadura se determinó con 3 platos de Morgan (**Morgan**, 1978) instalados bajo bosque secundario con doseles con altura mayor de 6 m, para garantizar una velocidad terminal equivalente al 90% de la de las gotas a cielo abierto (**Styczen & Morgan**, 1995), en vertientes con pendiente entre los 30° a 35°, con suelos derivados de ceniza volcánica, subyacentes por esquistos. La medición se realizó durante 330 días, entre el 4 de abril de 2000 y el 6 de marzo de 2001, con recolección de 10 muestras, a las cuales se les determinó la fracción mineral (0.1 mg de precisión), con eliminación de materia orgánica por ignición a 550°C. Debido a la pequeña área de muestreo de los platos (78 cm²), los resultados presentados son el promedio de los tres platos y éstos están ponderados según la duración del período de muestreo.

Para la medición de la escorrentía y de la erosión por escorrentía se instalaron 12 trampas de Gerlach (**Gerlach**, 1967). Las trampas fueron ubicadas en forma de pares escalonados en 6 sitios diferentes, 3 bajo bosque secundario y 3 bajo rastrojo bajo, en lotes abiertos con áreas de captación de 4 y 6 m²; la pendiente osciló entre 30° y 35°, en suelos con aportes de cenizas volcánicas subyacentes por esquistos, con cobertura vegetal mayor al 70% y con cobertura de hojarasca mayor al 90% para el caso del bosque secundario. El muestreo se realizó entre el 14 de marzo de 2000 y el 6 de marzo de 2001, con un total de 11 mediciones. Las determinaciones se realizaron tomando una alícuota de 500 ml de los recipientes almacenadores, a la que se le determinó materia orgánica y fracción mineral (0.1 mg de precisión); la materia orgánica se eliminó por ignición a 550°C. Los resultados para cada una de las coberturas son el promedio de los tres lotes instalados bajo cada una de éstas y están ponderados de acuerdo con la duración de cada período de muestreo.

Para el estudio de los movimientos de masa se hizo un inventario inicial de los procesos existentes y un segui-

miento posterior, lo que permitió la determinación de nuevos movimientos; también se realizó un estudio histórico del comportamiento de estos procesos mediante fotografías aéreas de diferentes épocas.

El estudio de los depósitos aluviales se hizo caracterizando las columnas estratigráficas con el fin de determinar la presencia de elementos indicadores de su dinámica de formación tales como estructuras, contactos y/o materiales para datación.

Para las cenizas volcánicas se elaboró un mapa esquemático de su distribución, a partir del cual se escogieron 24 sitios para sondeo general y tres para muestreo detallado; cada sitio representa un ambiente morfodinámico diferente de la zona de estudio. (Figura 1).

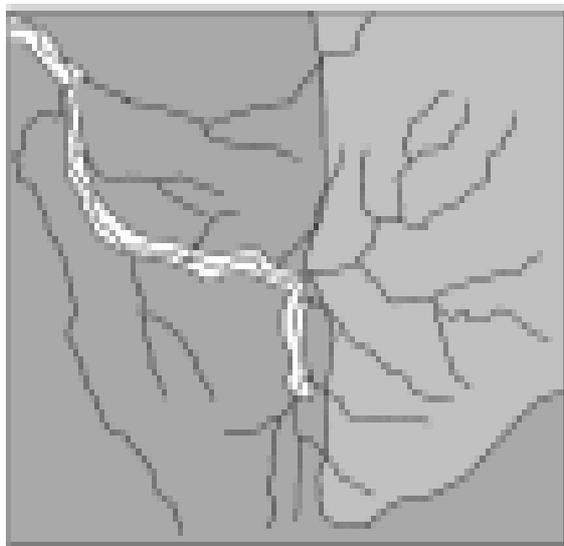
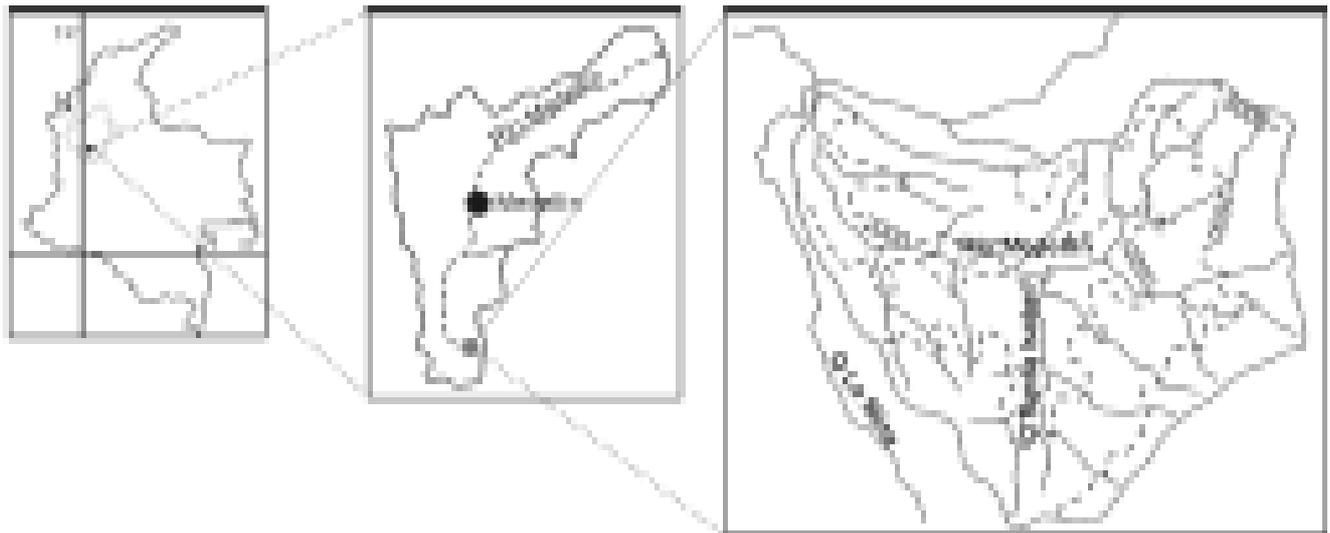
Resultados y discusión

Lluvia y procesos superficiales

Los valores acumulados totales de lluvia durante el período fueron de 3023.2 mm a cielo abierto, 2725.7 mm bajo bosque y 2302.1 mm bajo rastrojo; la retención por la vegetación fue de 9,8% para bosque y de 23,9% para rastrojo. La retención determinada en este estudio es baja comparada con otros estudios realizados en bosques tropicales (**Nortcliff & Thornes**, 1978; **Wiersum**, 1985; **Vis**, 1995; **Tobón**, 1999). Lo anterior se puede explicar de acuerdo con lo planteado por **Vis** (1995), ya que en la franja altitudinal donde se instalaron los pluviómetros (entre 2000 y 2100 msnm) las nubes están cerca a la superficie y puede presentarse interceptación de las gotas por la vegetación, dando lugar a aportes por lluvia de niebla o lluvia atrapada.

La erosión por salpicadura fue de 354 kg/ha de suelo equivalente a 391 kg/ha/a; la cantidad de material desprendido no fue uniforme a lo largo del período de muestreo, presentándose una diferencia entre los valores máximo y mínimo de 460%, con una concentración del 25% del total del material en un período equivalente a 12% del tiempo (Figura 2). La comparación de las curvas de lluvia y de material desprendido no muestra un comportamiento claro que permita una correlación de los dos fenómenos; es de notar que entre los muestreos sexto y décimo (9.08.2000 - 6.03.2001), la cantidad de material desprendido aumentó más del 300%, mientras que la lluvia disminuyó en un 77%.

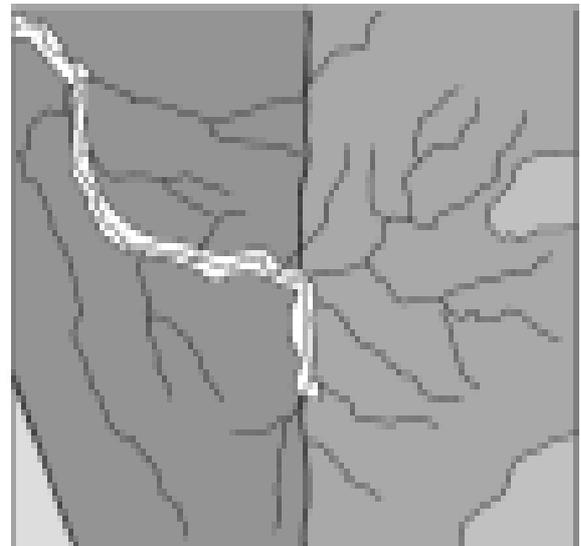
Mediciones para salpicadura realizadas en pisos climáticos similares y bajo cobertura boscosa en la Cordillera Central por **Vis** (1995) dieron como resultado va-



Esquema de suelos

Legenda

-  Predominio de suelos derivados de conchas volcánicas
-  Predominio de suelos derivados de depósitos de volcánico
-  Suelos derivados de depósitos aluviales



Geología General

Legenda

-  Depósitos aluviales recientes
-  Secuencia volcanosedimentaria cenozóica
-  Plegamiento mioceno
-  Cenozoico devónico
-  Eozóico de Colombia
-  Falda Filicopada

Figura 1. Localización de la zona de estudio, geología general y suelos

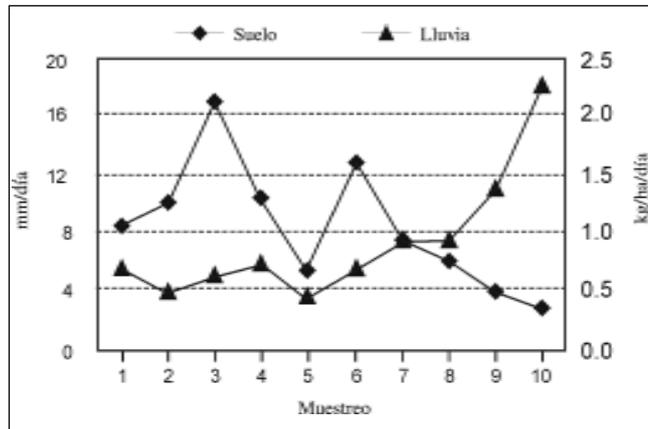


Figura 2. Relación de suelo desprendido con lluvia efectiva

lores de desprendimiento de suelo que varían entre 0 y 7440 kg/ha/a, siendo éste un rango muy amplio que no permite comparación.

La escorrentía presentó valores de 9.8 mm y de 8.9 mm bajo bosque secundario y rastrojo bajo respectivamente, equivalentes al 0.4 % de la lluvia bajo bosque secundario y el 0.7% bajo rastrojo bajo. El comportamiento del proceso fue similar bajo las dos coberturas y como es de esperar la escorrentía está claramente relacionada con la lluvia efectiva en cada uno de los períodos (Figura 3, Tabla 1 y 2).

Estos resultados están en concordancia con mediciones realizadas en zonas tropicales de montaña (Vis, 1995; Larsen, et al., 1999) y su valor se explica por la alta capacidad de infiltración de los suelos de vertiente con cobertura boscosa, mayor a 30 cm/h (Balbín en preparación). Esta capacidad de infiltración es dada por la capa

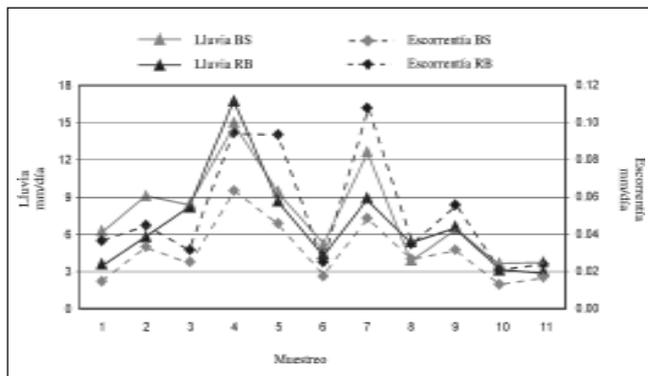


Figura 3. Relación de lluvia efectiva y escorrentía bajo bosque secundario (BS) y rastrojo bajo (RB)

de hojarasca, el alto número de raíces superficiales y la alta actividad de la fauna edáfica, que dan lugar a la formación de macroporos que canalizan el flujo.

La alta capacidad de infiltración de los suelos bajo las coberturas boscosas descarta que la escorrentía en la zona sea de tipo hortoniano, coincidiendo con lo determinado en otras zonas tropicales, incluyendo montañas húmedas de Colombia (Bonnel & Guilmour, 1978; Dunne 1978; Walsh, 1991 en Reading et al., 1995; Vis, 1995).

La erosión por escorrentía fue determinada en 5.9 kg/ha/año para el suelo bajo bosque secundario y de 6.1 kg/ha/año para suelo bajo rastrojo bajo, lo que es equivalente a una denudación de 0.0007 mm/a. Al comparar los valores de erosión obtenidos en las dos coberturas se observa un patrón diferente en cada caso; mientras que al comparar los valores obtenidos con la escorrentía, se observa un comportamiento cualitativo similar en la mayoría de los períodos en las dos coberturas (Figura 4, Tabla 1 y 2).

Los valores aquí obtenidos son muy bajos con respecto a los obtenidos por Vis (1995) en zonas con características similares y sólo son comparables con los obtenidos por Wiersum (1985), quien no registra erosión bajo rastrojo en suelos de Indonesia. Estos valores se pueden explicar por la baja escorrentía y por la espesa hojarasca bajo bosque secundario y la presencia de pastos bajo el rastrojo bajo, los cuales son considerados como unos de los principales agentes que previenen la erosión (Raungpanit, 1985; Wiersum, 1985).

Movimientos de vertiente

En la zona se determinaron 18 movimientos de masa activos, 17 flujos de lodo y escombros y 1 movimiento rotacional, de los cuales 5 flujos fueron detonados por

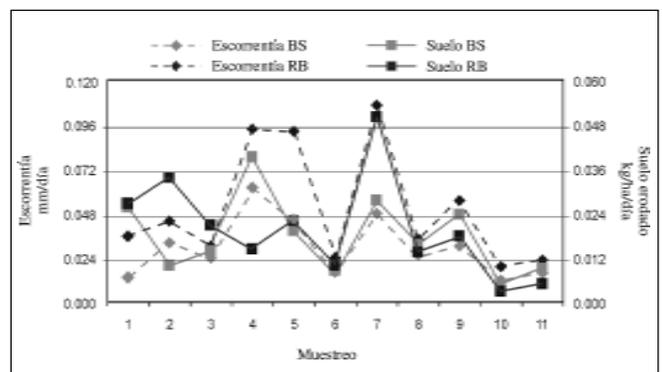


Figura 4. Relación de suelo erodido y escorrentía bajo bosque secundario (BS) y rastrojo bajo (RB)

Tabla 1. Resumen de resultados. Trampas de Gerlach bajo bosque secundario

Muestreo	Fecha	Duración Días	Neto			Ponderado		
			Lluvia mm	Escorrentía mm	Suelo kg/ha	Lluvia mm	Escorrentía mm	Suelo kg/ha
1	5.04.00*	21	110.57	0.26	0.50	6.30	0.01	0.03
2	26.04.00	22	200.50	0.74	0.23	9.11	0.03	0.01
3	16.05.00	20	170.13	0.51	0.29	8.51	0.03	0.01
4	7.06.00	22	331.63	1.40	0.88	15.07	0.06	0.04
5	1.07.00	24	226.57	1.10	0.48	9.44	0.05	0.02
6	18.07.00	17	88.33	0.30	0.15	5.20	0.02	0.01
7	9.08.00	22	279.33	1.08	0.62	12.70	0.05	0.03
8	12.9.00	34	133.00	0.92	0.54	3.91	0.03	0.02
9	8.11.00	57	363.30	1.81	1.38	6.37	0.03	0.02
10	16.01.01	69	256.47	0.89	0.38	3.72	0.01	0.01
11	6.03.01	49	187.07	0.83	0.47	3.82	0.02	0.01

* En este período una de los sitios de muestreo tuvo una duración menor así el valor ponderado no es igual a la división del valor por la duración mostrada en la tabla.

Tabla 2. Resumen de resultados. Trampas de Gerlach bajo rastrojo bajo

Muestreo	Fecha	Duración Días	Neto			Ponderado		
			Lluvia mm	Escorrentía mm	Suelo kg/ha	lluvia mm/día	Escorrentía mm/día	suelo kg/ha/día
1	5.04.00	21	105.80	0.78	0.57	3.63	0.04	0.03
2	26.04.00	22	209.40	0.99	0.75	5.84	0.05	0.03
3	16.05.00	20	160.70	0.63	0.43	8.22	0.03	0.02
4	7.06.00	22	363.40	2.08	0.33	16.73	0.09	0.01
5	1.07.00	24	248.50	2.25	0.54	8.75	0.09	0.02
6	18.07.00	17	91.80	0.43	0.18	4.46	0.03	0.01
7	9.08.00	22	273.00	2.37	1.11	8.99	0.11	0.05
8	12.9.00	34	165.10	1.20	0.48	5.40	0.04	0.01
9	8.11.00	57	339.00	3.19	1.05	6.67	0.06	0.02
10	16.01.01	69	204.50	1.42	0.25	3.14	0.02	0.00
11	6.03.01	49	177.20	1.27	0.27	3.05	0.02	0.01

altas precipitaciones durante el período de estudio. El tamaño de los movimientos varía entre 2 y 60 m de ancho en la corona y su distribución parece definirla la litología: todos los flujos se dan en esquistos y el movimiento rotacional se origina sobre el ortoneis.

La ubicación de los movimientos dentro de las vertientes es irregular: algunos se encuentran en la parte baja de las vertientes cerca de las corrientes y seguramente produjeron avenidas torrenciales, mientras que otros se encuentran en la parte alta, y sus materiales se depositan



Figura 5. Cicatriz de movimiento de masa

en zonas de cambio de pendiente en la parte media de las vertientes.

El estudio de fotografías aéreas tomadas entre 1959 y 1996 permitió definir la ocurrencia de varios eventos masivos de movimiento de masa en la cuenca alta del río Medellín. El primer evento se registra en fotografías de 1959 y muestra al menos 15 movimientos superficiales alargados tanto en la parte alta como en la parte baja de las vertientes. Teniendo en cuenta que las cicatrices se encontraban frescas y las altas tasas de recuperación de la vegetación para estos eventos en la zona (**Hermelin et al.**, 1992; **Piedrahita**, 1996; **Cadavid**, 2001), se estima que este evento ocurrió hace menos de 20 años antes de la toma de las fotografías; un segundo evento se observó en las fotografías de 1983 (Figura 5), en el cual se presentaron 9 movimientos que movilizaron aproximadamente 25 000 m³; en las fotografías de 1996 se observó un tercer evento durante el cual se presentaron 4 movimientos que removieron aproximadamente 12 000 m³ de material.

Teniendo en cuenta el período de ocurrencia de los eventos, determinado a partir de las fotografías aéreas y de los relatos de los habitantes de la zona, se calculó un período de recurrencia para los movimientos de masa múltiples de 10-24 años; la tasa de denudación generada por cada uno de éstos en 0.1 mm/a unas 700 veces mayor a los valores obtenidos para erosión superficial. Estos valores coinciden en rango con los medidos por **Ruxton & McDougall** (1967), **Simonett** (1967) y **Pain & Bowler** (1973) en Papua-Nueva Guinea y por **Brown et al.**, (1995) en Puerto Rico.

Se considera que en todos los eventos analizados, los deslizamientos se presentaron de manera simultánea y que el mecanismo de activación se generó en lluvias intensas de corta duración en la parte alta de la cuenca. Esto se

definió teniendo en cuenta que éste es un mecanismo activo en la zona y que los movimientos encontrados, de tipo superficial, corresponden a este tipo de lluvias (**Hermelin, et al.**, 1992; **Terlien**, 1996; **Cadavid**, 2001). Adicionalmente los sismos registrados en la zona no tuvieron la capacidad de generar este tipo de eventos (**Keefer**, 1984).

Al momento del estudio, los movimientos registrados en las fotografías de 1959 y 1983 se encuentran inactivos y cubiertos de vegetación, confirmando la rápida recuperación de la vegetación en la zona y el enmascaramiento de los procesos. (**Hermelin et al.**, 1992; **Piedrahita**, 1996; **Cadavid**, 2001). En cuanto a la distribución de los movimientos con respecto a la litología, el análisis de 250 datos de discontinuidades medidas en la unidad de esquistos permitió determinar la formación de cuñas de roca: el plano necesario para que se presente un deslizamiento debe tener una orientación general NW y una inclinación mayor a 44°, lo cual es común en la parte alta de la cuenca del río Medellín.

Dentro de un contexto de evolución de la cuenca, los movimientos de masa de gran tamaño presentan un claro control sobre el desarrollo de las vertientes y los cauces, ya que su ocurrencia da lugar a avenidas torrenciales que amplían los cauces existentes; se forman surcos en las vertientes y cuencas de primer orden donde las cicatrices son sometidas a carcavamiento dando lugar a pequeñas áreas de captación, que presentan aporte continuo de material a las corrientes y se van ampliando con lluvias fuertes. Procesos similares han sido observados por **Larsen & Torres-Sánchez**, (1996, 1998), quienes determinaron que el aporte de materiales no parece tener relación con la edad de las cicatrices y por **Mills** (1989, en **Wohl**, 2000) y **Dietrich & Dunne** (1993) quienes definieron los flujos de escombros como elementos dominantes en la evolución de cuencas de alta montaña.

Depósitos aluviales

En la zona se encontraron 3 depósitos aluviales que permitieron establecer un marco de evolución de la cuenca; dos de los depósitos son abanicos aluviales y el tercero es un depósito de planicie aluvial.

Los abanicos se encuentran ubicados en la parte alta de la zona de estudio; fueron depositados por corrientes que actualmente tienen caudales medios de 20 L/s. Cada uno de los depósitos presenta un espesor mínimo de 3 m y un volumen mínimo aproximado de 120000 m³; están conformados por fragmentos de esquistos no meteorizados, poco redondeados, con diámetro hasta de 1 m., sin intercalaciones o cambios composicionales. Con base

en la ausencia de cenizas volcánicas en la superficie (**Toro & Hermelin**, 1990) y en el poco grado de alteración de los fragmentos que conforman los depósitos, se les atribuye a estos depósitos una edad holocena.

El depósito de planicie aluvial pertenece al río Medellín; se encuentra ubicado en la parte baja de la zona de estudio, tiene un espesor máximo de 15 m y se extiende a lo largo de unos 300 m, conformando una pequeña llanura aluvial. Este depósito está compuesto por 3 niveles, dos niveles de materiales gruesos, heterométricos con diámetro hasta de 1 m, redondeados, frescos, de composición variable, ubicados en la base y el techo del depósito y un nivel intermedio de arenas medias y limos sin estructuras, con alto contenido de materia orgánica y en contacto neto con ambos niveles de gruesos.

La presencia del nivel de finos entre las capas de gruesos marca un cambio fuerte en las características de la corriente, durante el cual el proceso de depósito de materiales gruesos, característico de una corriente de montaña, se interrumpe por la ocurrencia de un evento que modificó el comportamiento de la cuenca para dar lugar a una etapa de depósito de materiales finos y una vez finalizado el efecto de dicho evento retoma una dinámica de materiales gruesos que continúa hasta la actualidad; así dicho nivel no está marcando un cambio general de las características de la cuenca o de la corriente, marca un evento de duración relativamente corta que modifica temporalmente las condiciones de las corrientes, las que retoman luego sus características previas.

Para determinar la fecha de formación de dicho nivel se tomaron muestras de materia orgánica en tres sitios diferentes y se dataron por radiocarbono. Las edades obtenidas dan entre 4180 ± 170 y 4750 ± 170 a.A.P., confirmando así la hipótesis de un evento de corta duración.

Como evento generador de este nivel se considera la ocurrencia de un evento convulsivo de movimientos de masa ocurrido en la parte alta de la cuenca, donde los finos representan la fase distal de depósito de material, de manera similar a lo observado por **Hermelin et al.**, (1992) y **Usselman** (2001, comunicación personal) en eventos convulsivos de movimientos de masa en zonas tropicales de montaña.

Por la falta de datos que permitan datar los abanicos de la cuenca alta, no se puede establecer una correlación entre dichos depósitos y el nivel de finos de la parte baja; sin embargo estos abanicos, al igual que el depósito aluvial, son una evidencia clara de la ocurrencia de eventos convulsivos de transporte de material en la cuenca.

Tefraestratigrafía

Con el fin de tener un marco temporal más amplio de la evolución geomorfológica de la zona, se levantó un mapa esquemático de recubrimiento de cenizas volcánicas (Figura 6), mediante interpretación de fotografías aéreas y observaciones de campo respaldadas con sondeos con barreno. En este mapa se observa como las cenizas están ausentes hacia las vertientes nororientales de la cuenca en las cabeceras del río Medellín y en la cuenca de la quebrada La Vieja, mientras que para el resto del área su conservación a lo largo de las cimas de las colinas y en la divisoria de la cuenca es más o menos homogénea, independientemente de la litología.

Con base en la distribución de los minerales densos de las tres secuencias estudiadas, se pudo determinar que los niveles de tefras encontrados en la zona de estudio se correlacionan con las unidades de tefras definidas en el altiplano de Rionegro por **Toro & Hermelin** (1990) con edades entre 0.3 ma y 10.7 ma.

Conclusiones

El conocimiento de los procesos geomorfológicos actuales en los Andes tropicales y su posible influencia pasada en la evolución del paisaje son un tema importante para obtener un marco de referencia para el manejo sostenible de entornos naturales e intervenidos en Colombia.

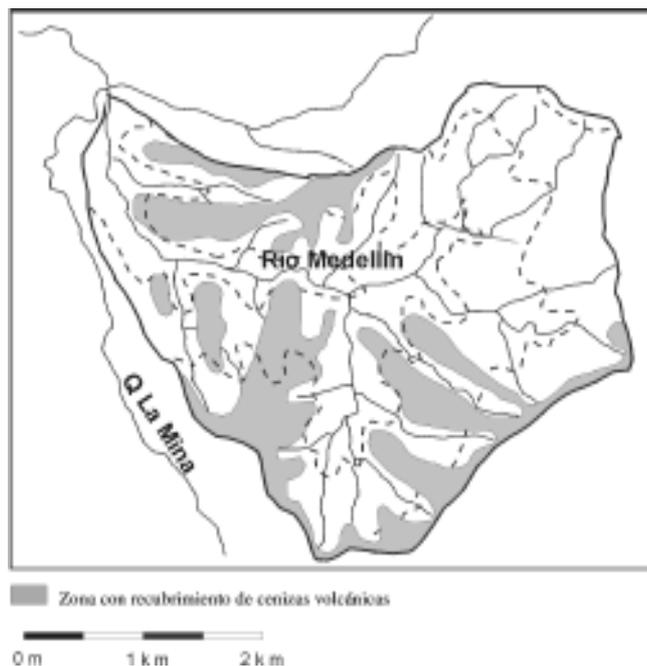


Figura 6. Mapa de recubrimiento de cenizas volcánicas

La cuenca alta del río Medellín presenta dos esquemas de evolución geomorfológica opuestos. Uno dominado por la erosión superficial donde los procesos son lentos y la estabilidad de las geoformas es alta y otro donde dominan los procesos de remoción en masa que dan lugar a altas tasas de denudación.

Las dataciones y correlaciones realizadas con las cenizas volcánicas permitieron determinar que la parte de la cuenca dominada por procesos superficiales ha permanecido estable como mínimo durante 20000 años, mostrando la poca influencia de este tipo de procesos en la evolución del paisaje de la zona.

Los depósitos y cicatrices encontrados muestran como la actividad de movimientos de masa en la zona es un proceso que se presenta de forma recurrente, afectando la evolución de las vertientes y en algunos casos dando lugar a eventos que modifican de forma drástica el comportamiento de la cuenca. Se ha presentado al menos un evento de estas características durante el Holoceno.

El factor de activación de los movimientos de masa parece estar relacionado con aguaceros intensos que remueven rocas fracturadas, poco meteorizadas, con disposición en forma de cuñas que se desprenden fácilmente en zonas con altas pendientes, dejando amplias cicatrices que son recubiertas por la vegetación, dando una impresión falsa de estabilidad de las vertientes.

A una conclusión similar llegaron **Page & James** (1981) para áreas situadas a alturas menores. La presencia de andosoles es un claro indicador de estabilidad con respecto a los movimientos de masa, los cuales se presentan en una zona donde la disposición estructural y las pendientes favorecen su presencia. Se estima que la evolución de las cuencas de la zona se da principalmente por movimientos de masa.

Lo anterior muestra la complejidad de los procesos geomorfológicos en el trópico húmedo de montaña, aun en zonas pequeñas, y muestra que la comprensión de estos procesos sólo puede lograrse por medio de estudios detallados y de observaciones cuidadosas y continuadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación de COLCIENCIAS y de la Universidad EAFIT, así como el apoyo logístico del Instituto Mi Río. Pierre Usselman aportó valiosas ideas durante los recorridos de campo. Roberto Hernández, director del Centro de Laboratorios de la Universidad EAFIT, prestó apoyo irrestricto en la construc-

ción de equipos y en los ensayos de laboratorio. Las dataciones de radiocarbono fueron realizadas en los laboratorios Geochron (EE.UU) y se identifican con los números de muestra GX- 27522, GX – 27523 y GX – 27524. El proyecto se realizó como trabajo de grado de Maestría en Ciencias de la Tierra, del primer autor de este trabajo.

Referencias

- Aguilar, M.E. & Loaiza, J.C.**, 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 edafológico. 28 p.
- Balbín, O.L.**, (en preparación). Balance hidrológico de la reserva ecológica del Alto de San Miguel. Universidad EAFIT, Medellín.
- Barrero, D., Álvarez, A. & Kassem, T.**, 1969. Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. *Boletín Geológico*, v.17 (1-3), p. 145-172.
- Bonnel, M. & Guilmore, D.A.**, 1978. The development of overland flow in a tropical forest catchment. *Journal of Hydrology* v. **39**, p. 365-382.
- Botero G.**, 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia. *Anales Facultad de Minas*, No **57**, Medellín, 101 p.
- Brown, E. T., Stallard, R.F., Larsen, M.C., Raisbeck, G. M. & Yiou, F.**, 1995. Denudation rates determined from the accumulation of in situ-produced ^{10}Be in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Earth and Planetary Sciences Letters*, v. **29**, p. 193-202.
- Cadavid, M.F.**, 2001. Análisis de los fenómenos asociados al aguacero del 29 de mayo de 2000 en los municipios de La Estrella y Sabaneta. Proyecto de Grado de Geología, Universidad EAFIT, Medellín, 94 p.
- de Greiff, P.**, 2002. Procesos Morfológicos de El Alto de San Miguel. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, Medellín, 140 p.
- Dietrich, W.E. y Dunne, W.**, 1993. The channel head. En *Channel network hydrology*, Beven, K & Kirkby, M. J, Editors, Wiley, Chichester, p. 175-220.
- Dunne, W.**, 1978, Field studies of hillslope flow processes. En: *Hillslope Hydrology*, Kirkby, M. J. Editor, John Wiley and Sons, Chichester, p.227-293.
- Espinal, L.S.**, 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, p. 6-19.
- Gerlach, T.**, 1967. Hillslope troughs for measuring sediment movement. *Revue de Géomorphologie Dynamique, Special Edition to the International Hydrological Decade*, v.4, p 173.
- González, H.**, 1980. Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). *Boletín de Geología, INGEOMINAS*, v. **23**, Bogotá, 174 p.

- Hermelin, M.**, 1993. Stone lines in Antioquia (Colombia). Quaternary of South American and Antarctic Peninsula, v. 8. Rotterdam, p.137-156.
- Hermelin, M., Mejía, O. & Velásquez, E.**, 1992. Erosional and depositional features produced by a convulsive event, San Carlos, Colombia, September 21.1990. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, v. 45, p. 89-95.
- IDEAM**, 2000. Registros pluviométricos estación La Salada, 1983 – 2000.
- Keefler, D.K.**, 1984. Landslides caused by earthquakes. GSA Bulletin, v. 95, p 406 –421.
- Larsen, M. C. & Torres Sánchez, A.**, 1996. Geographic relations of landslide distribution and assessment of landslide hazards in the Blanco, Cibuco and Coamo basins, Puerto Rico. USGS, Water-Resources Investigations Report 95-4029, San Juan, 56 p.
- Larsen, M. C. & Torres Sánchez, A.**, 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. Geomorphology, v. 24, p. 309-331.
- Larsen, M.C., Torres-Sánchez, A, J. & Concepción, I.M.**, 1999. Slopewash surface runoff and fine litter transport in forest and landslide scars in humid-tropical steeplands, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Earth Surface Landforms and Processes, v. 24, p. 481- 502.
- Morgan, R.C.P.**, 1978. Field studies of rainsplash erosion. Earth Surface Processes, v. 3, p.298- 299.
- Nortcliff, S. & Thornes, J.B.**, 1978. Water and cation movement in a tropical rain forest environment. Acta Amazonica, v. 8, p. 245-258.
- Osorio, J.C.**, 2002. Balance geoquímico para la cuenca alta del río Medellín, en el área de la Reserva Ecológica del Alto de San Miguel, Cordillera Central, Antioquia. Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, Medellín, 124 p.
- Page, W & James, M.E.**, 1981. The antiquity of the erosion surfaces and late Cenozoic deposits near Medellín, Colombia; implications to tectonics and erosion rates. Revista CIAF, Bogotá, v. 6, p.373-390.
- Pain, C.F. & Bowler, J.M.**, 1973. Denudation following the November 1970 earthquake at Madanf, Papua New Guinea. Zeitschrift fuer Geomorphologie, Supplement Band, No 18, p. 92-104.
- Piedrahita, I.**, 1996. Estudio preliminar de amenazas por eventos torrenciales en la vertiente occidental del río San Juan, Suroeste antioqueño. Proyecto de grado Universidad EAFIT, Medellín, 127 p.
- Raungpanit, T.**, 1985. Percent crown cover related to water and soil losses in mountain forest in Thailand. En Soil Erosion and Conservation, El-Swaify, S.A., Mooldenhauer, W.C. y Lo, A., Editors, Soil Society of America, Ankeny, p. 128-138.
- Reading, A.J., Thompson, R. D. & Millington, A. C.**, 1995. Humid tropical environments. Blackwell, Oxford, p. 186 – 265.
- Restrepo, J.J., & Toussaint, J.F.**, 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. Memorias I Conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá, Sociedad Colombiana de Geología, Medellín, p. 1 - 26.
- Restrepo, J.J., Toussaint, J.F., González, H., Cordani, U., Kawashita, K., Linares, E. & Parica, C.**, 1991. Precisiones geocronológicas sobre el Occidente Colombiano. En Memorias sobre Magmatismo Andino y su Marco Tectónico, Manizales, Tomo 1, p. 1-21.
- Ruxton, B.P.**, 1967. Slopewash under mature primary rainforest in northern Papua. In Landform studies in Australia and New Guinea, Jennings, N. J. & Mabruitt, J.A., Editors, Australian National University Press, Canberra, p. 85-94.
- Ruxton, B.P. & McDougall, I.**, 1967. Denudation rates in northeast Papua from Potassium-Argon dating of lavas. American Journal of Science, v. 265, p. 545- 561.
- Schwabe, E.**, 1996. Datación por trazas de fisión y correlación de secuencias vulcano-sedimentarias de Amalfi y La Unión (Antioquia). Proyecto de grado, Universidad EAFIT, 108 p.
- Simonett, D.S.**, 1967. Landslide distribution and earthquakes in the Bewani and Torricelli Mountains, New Guinea, Statistical Analysis. in Landform studies from Australia and New Guinea Jennings, N. J. y Mabruitt, J.A., Editores, Australian National University Press, Canberra, p. 68- 84.
- Styczen, M.E. & Morgan, R.P.C.**, 1995. Engineering Properties of Vegetation. in Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach. Morgan, R.P.C y Rickson, R.J. editores, E and FN Spon, London, p. 5 - 58.
- Terlien, M.T.J.**, 1996. Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. ITC Publication 34, Enschede, 254 p.
- Thomas, M.F.**, 1994. Geomorphology in the tropics. A study of weathering and denudation in low latitudes. John Wiley and Sons, West Sussex, p 165 -189.
- Tobón, C.**, 1999. Monitoring and modeling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in the Amazonian rainforest ecosystems. Ph.D., thesis, Universty of Amsterdam, Amsterdam, p.1-48.
- Toro, G.E. & Hermelin, M.**, 1990. Stratigraphy of volcanic ashes from Southern Antioquia, Colombia: Possible climatic implications. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, v. 8, p.201- 217.
- Vis, M.**, 1995. Processes and patterns of erosion in natural and disturbed Andean forest ecosystems. En Estudios en Ecosistemas Tropoandinos, v. 4 Van der Hammen, T. y Dos Santos, A., Editores, Berlín, p. 16-182.
- Wiersum, K.F.**, 1985. Effects of various layers on *Accacia euriculiformis* forest plantation on surface erosion in Java Indonesia. in Soil erosion and Conservation. El-Swaify, S.A., Moldenhauer, W.C. y Lo. A., Editors. Soil Conservation Society of America, Ankeny, p. 79 - 89.
- Wohl, E.**, 2000. Mountain rivers. American Geophysical Union, Water Resources Monograph No 14, Washington, DC, 320 p.

Recibido el 29 de junio de 2004

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

RELACIÓN ENTRE PROCESOS DE EROSIÓN Y GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS Y SUELOS DE CHECUA, CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ

por

Sergio Gaviria¹, Orlando Hernández F.² & Orlando Vargas³

Resumen

Gaviria, S., O. Hernández & O. Vargas: Relación entre procesos de erosión y geoquímica de sedimentos y suelos de Checua, Cuenca Alta del Río Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 497-508, 2004. ISSN: 0370-3908.

Por medio de análisis geoquímicos y mineralógicos, se caracterizaron muestras escogidas de suelos y sedimentos en áreas sometidas a procesos de erosión en la región de Checua, localizada en la Cuenca Alta del río Bogotá. El estudio de los suelos permitió evaluar procesos de meteorización ocurridos durante la pedogénesis que reflejan cambios sucesivos en las condiciones ambientales. El estudio de los procesos de erosión, permitió caracterizar posibles fuentes de aporte e identificar los materiales susceptibles al transporte. Estos últimos son: arcillas 1:1 mal cristalizadas y arcillas esmectíticas interestratificadas que forman suspensiones coloidales estables bajo clima seco. Las caolinitas bien cristalizadas, illitas y cloritas, son más difíciles de transportar por las aguas de escorrentía y sedimentan cerca de las fuentes de aporte.

Palabras clave: erosión, geoquímica, sólidos en suspensión, minerales arcillosos, pedogénesis.

Abstract

The present study deals with the relation between erosional processes and the composition of sediments and soils, carried out in the area of Checua, high plain of Bogotá, Colombia. The results obtained from the field and laboratory studies, permit some relationship between weathering processes that occurred during the pedogenesis and understanding of the susceptibility of clay minerals to be transported. Geochemical and mineralogical associations reflect successive changes under the environmental conditions in the Late Quaternary. Clay minerals transported in water suspension are

¹ Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química. Email: sgaviria@ciencias.unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Química. Email: oherandezf@ciencias.unal.edu.co

³ INGEOMINAS, Diag 53 No. 34-53, Bogotá.

the finest particles with high surface charges. They were identified as bad crystallized 1:1 clay minerals and inter-stratified smectites, giving stable suspensions in dry climates. Well crystallized kaolinites, illites and chlorites are more difficult to be transported in the drainage system.

Key words: erosion, geochemistry, suspended solids, clay minerals, pedogenesis.

Introducción

El propósito de este trabajo es mostrar la dinámica de los procesos de erosión en la microcuenca de Hoyos Hundos - Checua, localizada al norte de la Sabana de Bogotá, paralelo $5^{\circ}10'$ y meridiano $73^{\circ}50'$ (Figura 1). Se basa en el estudio geoquímico y mineralógico de sedimentos y suelos, y en el comportamiento de suspensiones arcillosas en las aguas que drenan la cuenca, para contribuir al manejo ambiental del geosistema. Extensos trabajos de control de erosión se han realizado en la zona desde hace varias décadas con el fin de prevenir el transporte de sedimentos al río Checua y a través de él a la planta de tratamiento de aguas de Tibitó, Zipaquirá (Ortiz, 1980; Henninger *et al.*, 1987; Cárdenas, 1988; Dydynski & Gómez, 1988; Vanegas, 1988). Esos trabajos han requerido grandes esfuerzos económicos y largos periodos de tiempo para lograr resultados por medio de la construc-

ción de obras civiles que reducen las energías de arrastre de partículas y disminuyen el transporte por las aguas de escorrentía hasta el río Checua.

Sin embargo no se había realizado ningún estudio de caracterización de arcillas que permitiera explicar la susceptibilidad de sedimentos y suelos a la erosión. Ingeominas y la Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Química) emprendieron la investigación detallada en esa zona, para evaluar los procesos de erosión utilizando el análisis geoquímico como herramienta de estudio sobre el origen de los materiales en sedimentos y suelos y el análisis de los minerales arcillosos como marcadores ambientales y de transformación del paisaje (Gaviria, 1997; Gaviria *et al.*, 2004). El conocimiento de la composición y del comportamiento físico-químico de los coloides arcillosos y otros componentes minerales, puede ayudar a acelerar los procesos de estabilización de terrenos previniendo la erosión, con base en el modelo de carácter práctico implementado en la región.

Materiales utilizados

La zona de estudio corresponde a un pliegue sinclinal sobre rocas sedimentarias del Terciario, Formaciones Bogotá y Cacho, ricas en niveles arcillosos y arenosos respectivamente (Figura 2a), que forman un valle en el piedemonte interno de la Sabana de Bogotá (Mac Laughlin & Arce, 1975). En la depresión central de la quebrada Hoyos Hundos, cuyas aguas drenan hacia el río Checua, se han acumulado sedimentos provenientes de la erosión de las rocas antiguas, dando origen a un depósito heterogéneo equivalente a la Formación Mondoñedo del Cuaternario reciente (Helmens, 1990; Van der Hammen & Hooghiemstra, 1995; Duarte, 1997); también aparecen capas de cenizas volcánicas intercaladas entre los niveles de sedimentos o formando parte de los perfiles de suelos, que fueron traídas por los vientos probablemente desde la Cordillera Central (Macia & Calvache, 1987). Sobre estos materiales se han desarrollado paleosuelos y suelos de características variadas, debido a los cambios en las condiciones ambientales durante la última glaciación y el Holoceno (Van der Hammen, 1995). Actualmente la zona está sometida a fuertes procesos de erosión que han producido cárcavas de varios metros de

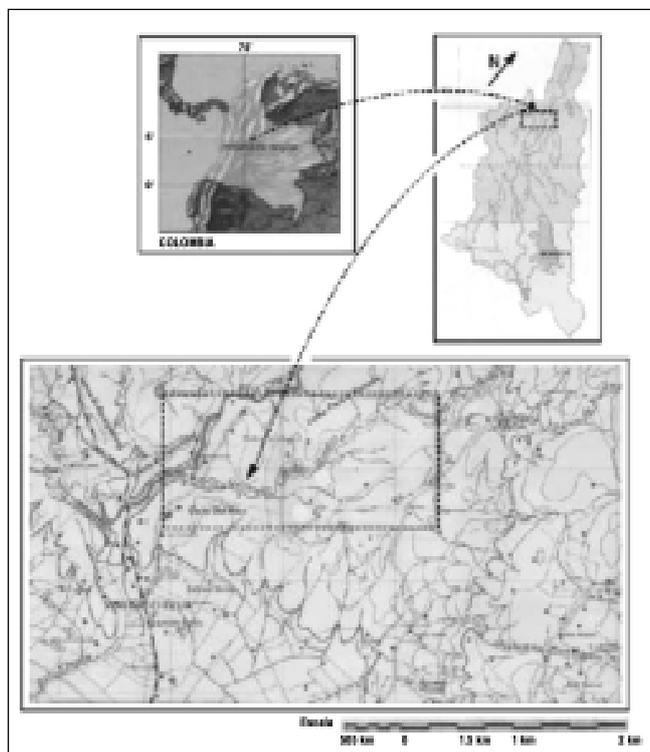


Figura 1. Mapa del área estudiada

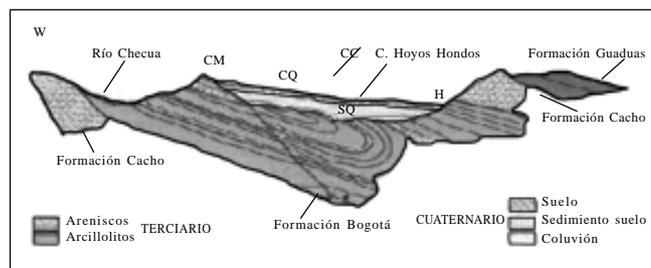


Figura 2a. Sección Quebrada Hoyos Hondos (Corte E-W Sinclinal de Checua) (tomado de Duarte, 1997). SQ corresponde a la serie de sedimentos cuaternarios; CM, CC, CQ y H son los perfiles de suelos y paleosuelos estudiados.

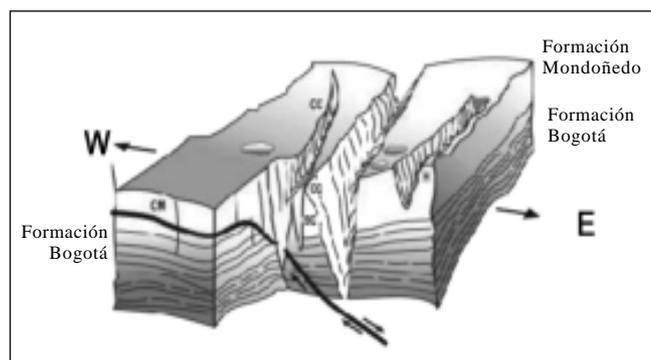


Figura 2b. Zona de Estudio con la representación de las cárcavas de erosión y la localización de los sedimentos y suelos estudiados.

profundidad, destapando progresivamente los suelos antiguos, los sedimentos cuaternarios y las rocas terciarias (Duarte, 1997).

Se escogieron cuatro perfiles de suelos (CC, H, CM y CQ) localizados en la cabecera, los bordes y el centro de la microcuenca respectivamente (Figuras 1 y 2). Estos suelos presentan perfiles complejos superpuestos (paleosuelos) en los cuales se identifican horizontes eluviales (E) e iluviales (Bt(h)), lo que permite clasificarlos en el orden de los alfisoles. Aunque no se realizó el estudio analítico para obtener una taxonomía detallada, con base en la descripción de los horizontes en campo, los análisis granulométricos y químicos y por comparación con resultados obtenidos para la región por otros estudios (Fölster & Hetsch, 1978; Malagón *et al.*, 1990; IGAC, 2000), los (paleo) suelos superiores corresponden a udalfs o ustalfs, dependiendo de los regímenes climáticos prevaecientes durante su desarrollo. Así CM es un Hapludalf, la sección superior de H es un Paleustalfs y la sección superior de CC y CQ corresponde a Paleudalfs.

Condiciones pedogénéticas variadas aparecen en niveles enterrados por depósitos coluviales finos (C), tales como costras de carbonato (K), horizontes endurecidos (m), horizontes de alteración (B_w) y presencia de nódulos de hierro (c). Para un mejor entendimiento de los procesos se asignaron las nomenclaturas a los horizontes que aparecen en la Tabla No 1, de acuerdo con el **Soil Survey Staff** (1990). Para cada perfil se tomó una muestra de cada uno de sus horizontes. También se recolectaron muestras de cada nivel de la serie de sedimentos subyacentes (SQ) de la Formación Mondoñedo y varios niveles de cenizas volcánicas conservadas sobre los sedimentos y dentro de los suelos.

Se tomaron muestras de aguas con su carga de sedimentos en varios sitios representativos de la microcuenca, en época de lluvias y en época de verano para comparar los aportes a la cuenca y para evaluar los tipos de materiales transportados en suspensión (Figuras 1 y 7; Tabla 2).

Métodos de caracterización

La composición química se determinó según los métodos empleados en el Laboratorio Químico de Ingeominas: análisis químico total de elementos mayores (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K y Ti) y algunos elementos traza (Cu, Ni, Zn, Pb y Cd) por ataque con ácido fluorhídrico y análisis por absorción atómica según lo describe Thomas (1976). El análisis de composición química se completó con la determinación de pérdidas por calcinación a 1000°C. Los resultados aparecen en la Tabla 1. Los elementos mayores aportan información valiosa sobre las variaciones en la composición química de los horizontes, lo que ayuda a la interpretación de procesos pedogénéticos o sedimentológicos. El análisis de los elementos traza escogidos, contribuye al planteamiento de hipótesis sobre la proveniencia de los materiales, así en esta etapa del estudio no se haya profundizado en los mecanismos que rigen sus afinidades geoquímicas en las rocas fuente, en los sedimentos y en las cenizas volcánicas.

Se determinó la granulometría de las muestras de suelos y sedimentos por sedigrafía de rayos X, que mide la interferencia al paso de la radiación por las partículas presentes en suspensión en relación con su tamaño. Los resultados se muestran en la Figura 3.

Se realizaron análisis por difracción de rayos X (DRX) de cenizas volcánicas, sedimentos y suelos. El análisis de ceniza volcánica se realizó sobre la muestra total en polvo desorientado, con el fin de identificar todos los minerales cristalinos y evaluar la presencia de materiales amorfos. Un ejemplo se presenta en la Figura 4.

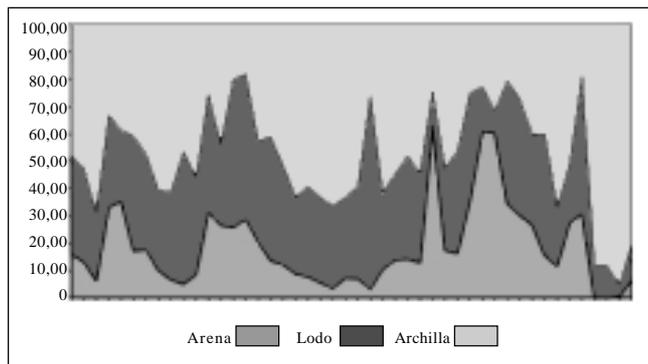


Figura 3. Granulometría de suelos, sedimentos y sólidos en suspensión.

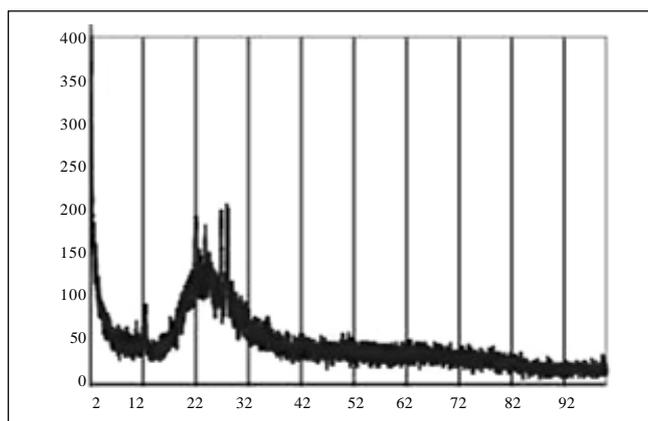


Figura 4. Difractograma de Rayos x de ceniza volcánica sobre muestra en polvo desorientado.

Los minerales secundarios en sedimentos y suelos, principalmente arcillas y sesquióxidos, se determinaron por DRX sobre la fracción $<2\mu\text{m}$ en lámina orientada con tres tratamientos: normal (N), etilenglicol (EG) y calentada a 500°C (500), siguiendo la metodología de **Thorez** (1976). La comparación de los difractogramas sucesivos realizados sobre la misma preparación, permite diferenciar las familias principales de arcillas y ayuda a caracterizar especies interestratificadas y estructuras mal cristalizadas que no siempre se aprecian en los análisis tradicionales. Estos materiales corresponden a productos intermedios en los procesos de meteorización, informan sobre las génesis de los suelos y sedimentos, así como las relaciones entre el comportamiento fisicoquímico y los procesos de erosión. En la mayoría de los casos aparece abundante cuarzo de tamaño muy fino, con sus reflexiones características en ángulos altos ($>20^\circ 2\theta$), lo que obliga a cortar los difractogramas por debajo de ese valor con el fin de apreciar las primeras reflexiones de los minerales arcillosos que se presentan en ángulos bajos ($<20^\circ 2\theta$). Al-

gunos difractogramas característicos se muestran en la Figura 5.

En forma complementaria se utilizó la espectroscopia infrarroja (IR) por irradiación de la fracción $<2\text{mm}$ de suelos y sedimentos, diluida en pastilla de KBr al 1%, para evaluar la cristalinidad de las arcillas 1:1. Se presentan algunos ejemplos de los espectros obtenidos en la Figura 6.

Se determinaron pH, conductividad, sólidos en suspensión y turbiedad en las aguas de drenaje, para evaluar las condiciones fisicoquímicas y la magnitud del transporte de sedimentos a través de los drenajes (Figura 7 y Tabla 2). Los sólidos en suspensión recolectados en una de las aguas de drenaje con mayor carga se sometieron a dos tratamientos de floculación: con cloruro de estroncio 1M (Sr) y con HCl 2M (H^+). También se realizó un fraccionamiento granulométrico por gravedad durante 24 horas sobre la misma muestra y se obtuvo un sedimento superior (SS) y un sedimento inferior (SI). Las muestras secadas al aire se analizaron químicamente (Tabla 1) y por DRX en lámina orientada con los mismos tratamientos descritos anteriormente (Figura 8).

Resultados y discusión

Análisis geoquímico de elementos mayores:

El análisis químico de elementos mayores, expresado en porcentaje en óxido del elemento, muestra que en general los sedimentos y los suelos son muy ricos en Si (60 a 87%), el Al fluctúa entre 5 y 20%, el Fe varía entre 2 y 8%, la suma de bases (Ca, Mg, Na, K) entre 2 y 3% y el Ti es menor del 1%. Las pérdidas por calcinación van del 4 al 15%. Esta composición refleja que los materiales están constituidos por minerales arcillosos (silicatos de aluminio hidratados con bajo contenido en bases), sílice libre generalmente en cantidades apreciables y óxidos de hierro. Eventualmente este último elemento puede estar también asociado a las estructuras de algunas arcillas.

Las cenizas volcánicas tienen alto contenido en Si, son ricas en bases y sus pérdidas por calcinación son muy bajas, lo que muestra una fuente inicial de composición diferente a la de los otros materiales (Tabla 1). Reflejan el origen ígneo del material volcánico, en contraste con el origen sedimentario y los procesos de meteorización en los sedimentos y suelos de la región.

La composición de los sedimentos y los suelos muestra variaciones en el contenido de Al y Si lo que denota cambios en el contenido en arcillas y en materiales silíceos respectivamente. Así, los sedimentos SQ contienen los ni-

Tabla 1. Análisis químico de elementos mayores (% de óxidos) y pérdida por calentamiento (%) en base seca y de elementos traza (ppm)

Horizonte	Muestra	Profundidad	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Bases %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	Pérdidas %	Cu ppm	Ni ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cd ppm
E ₁	CM4	0-10	73,13	9,95	1,72	0,88	2,84	11,42	17,00	14,39	66,58	18,29	2,61
E ₂	CM3	10-25	69,50	12,56	2,04	0,90	3,49	11,47	18,69	18,64	73,53	24,53	3,15
B _{1bh}	CM2	25-65	63,40	14,48	2,13	0,81	3,55	15,60	27,01	26,85	118,22	22,10	2,80
C	CM1	65-75	75,52	10,16	1,96	0,72	4,31	6,28	22,07	22,48	89,51	18,00	2,75
E ₁	CC1	0-30	77,54	8,50	1,83	0,63	3,72	7,76	0,00	0,41	0,01	26,35	0,71
E ₂	CC2	30-100	74,02	11,34	2,33	0,71	3,57	8,01	0,00	0,41	0,01	18,41	1,12
2E _{3cmh}	CC3	100-110	73,68	11,71	1,95	0,58	3,43	8,60	0,00	0,41	0,01	21,35	0,41
2B _{4bh}	CC4	110-140	64,90	16,44	2,31	0,75	4,15	11,42	0,00	0,61	0,01	22,75	1,23
2B _{7bh}	CC5	140-170	66,15	16,25	2,31	0,73	4,00	10,54	0,00	0,82	0,01	21,59	2,76
2C ₁	CC6	170-220	67,54	16,63	2,61	0,71	4,15	8,36	0,00	0,71	0,02	18,15	2,24
2C ₂	CC7	220-240	65,94	16,63	2,36	0,86	4,15	10,05	0,00	0,82	0,02	20,64	2,76
3C _m	CC8	240-260	81,22	8,12	3,02	0,78	2,57	4,26	0,00	0,30	0,01	16,69	1,72
3C	CC9	260-270	76,06	10,96	2,55	0,70	3,29	6,42	0,00	0,41	0,02	21,31	3,16
4B _{1bh}	CC10	270-280	74,06	9,45	4,77	0,61	3,72	7,39	0,00	0,51	0,01	16,60	2,83
K	CCCO ₃ ^{-*}		5,15	2,27	52,12	0,14	0,71	39,51	0,00	0,40	0,00	9,63	15,93
5B _{1bh}	CC11	280-310	76,93	10,58	2,38	0,40	3,86	5,84	0,00	0,51	0,01	27,20	1,73
E ₁	CQ8	0-22	76,94	9,53	1,99	0,28	3,07	8,14	13,80	13,24	54,99	16,29	1,99
2E _{2mb}	CQ7	22-55	71,31	11,65	2,38	0,30	3,54	10,78	17,12	19,34	72,61	21,82	2,63
2B _{1bh}	CQ5	55-88	64,01	14,71	2,74	0,73	4,56	13,21	19,20	20,19	79,73	26,25	3,65
2C _m	CQ5	88-100	65,95	12,81	2,86	0,84	3,76	13,74	22,22	25,25	118,52	23,63	3,34
3B _{1bh}	CQ4	100-145	61,22	16,51	2,60	0,87	4,20	14,57	18,18	20,22	92,41	21,53	2,36
3C	CQ3	145-165	64,74	14,59	2,37	0,89	2,81	14,59	23,43	21,38	96,48	25,47	2,20
4C _m	CQ2	165-185	60,74	16,74	3,54	1,02	3,22	14,73	25,67	28,47	161,96	23,67	3,11
5BC _{1b}	CQ1	185-188	67,86	15,28	8,88	0,80	2,03	5,10	10,83	7,20	54,35	32,09	0,96
5C	CQ0	188-198	68,92	14,33	8,90	0,77	2,45	4,58	10,77	6,14	40,37	21,14	1,61
6C	CQ(-1)	198-203	65,68	16,47	3,33	0,89	3,19	10,42	33,73	24,43	105,68	24,17	2,79
7C	SQ1	0-20	69,87	15,68	2,52	0,31	4,00	7,91	0,00	0,51	0,01	25,72	2,78
8C	SQ2	20-65	72,46	14,17	2,32	0,25	3,57	7,47	0,00	0,72	0,01	22,82	1,74
9C	SQ3	65-80	66,83	15,30	2,36	0,58	6,58	8,89	0,00	0,51	0,01	21,63	3,09
10C	SQ4	80-110	76,53	10,77	2,08	0,49	5,29	5,31	0,00	0,91	0,05	29,26	21,89
11C	SQ5	110-170	65,24	19,84	2,74	0,37	4,00	8,16	0,00	0,82	0,02	44,33	21,75
12C	SQ6	170-290	67,85	17,76	2,34	0,38	4,58	7,46	0,00	0,81	0,01	21,97	12,62
13C	SQ7	290-410	66,84	16,06	3,37	0,66	6,29	7,33	0,01	1,12	0,03	17,88	19,82
c	Fe ³⁺ **	H5	44,00	8,63	1,84	0,76	31,84	12,43	25,87	34,99	106,01	67,31	20,67
E ₁	H8	0-20	85,58	4,95	1,34	0,84	2,85	3,42	5,69	6,85	33,41	12,60	1,81
E ₂	H7	20-40	82,45	6,23	0,87	0,81	3,59	6,02	8,58	11,58	52,63	20,22	3,10
2E _{3cmh}	H6	40-60	83,16	6,48	2,87	0,38	1,84	5,19	5,54	5,84	28,21	16,67	1,37
2B _{1bh}	H5	60-80	53,45	19,30	2,98	0,93	5,84	17,46	9,42	18,95	73,79	21,24	3,70
3C	H4	80-97	53,28	16,81	1,81	0,90	5,40	11,79	28,06	27,54	90,26	28,58	4,26
4CK	H3	97-100	31,27	5,87	29,46	0,70	2,94	29,75	14,22	12,24	43,33	15,49	3,00
5B _{1bh}	H2	100-140	68,98	12,66	1,78	0,59	7,68	8,30	22,32	21,50	75,16	24,16	5,39
5B _{1bh}	H1	140-160	71,89	12,25	1,80	0,66	6,93	6,44	24,78	25,44	93,48	25,69	4,21
	CENIZAS		72,32	12,62	8,23	0,25	2,01	4,53	0,00	0,40	0,01	53,50	4,12
	CCCENIZAS		65,89	15,87	11,21	0,24	3,57	3,15	0,00	0,40	0,01	53,50	4,12
	Sr		51,12	26,56	2,16	0,10	7,01	13,44	0,00	0,83	0,01	73,49	4,16
	H ⁺		44,88	18,33	1,87	0,70	5,58	28,64	0,00	0,71	0,01	22,90	1,51
	SS		39,82	24,00	1,97	0,17	0,00	28,64	0,00	0,81	0,01	6,05	1,41
	SI		64,46	18,71	1,84	1,21	4,58	10,42	0,00	0,61	0,01	24,12	1,93

CM: Hapludalf; CC y CQ: Paleudalf; H: Paleustalf

* CCCO₃⁻: costra de carbonato (K) separada del perfil CC (4B_{1bh})** Fe³⁺: nódulos de óxidos hierro separados del perfil H (2E_{3cmh})Sr, H⁺, SS y SI corresponden a los sólidos en suspensión separados de una muestra de agua: por floculación con cloruro de estroncio (Sr) y ácido clorhídrico (H⁺) y fracciones superiores (SS) e inferiores (SI) por sedimentación en 24 horas.

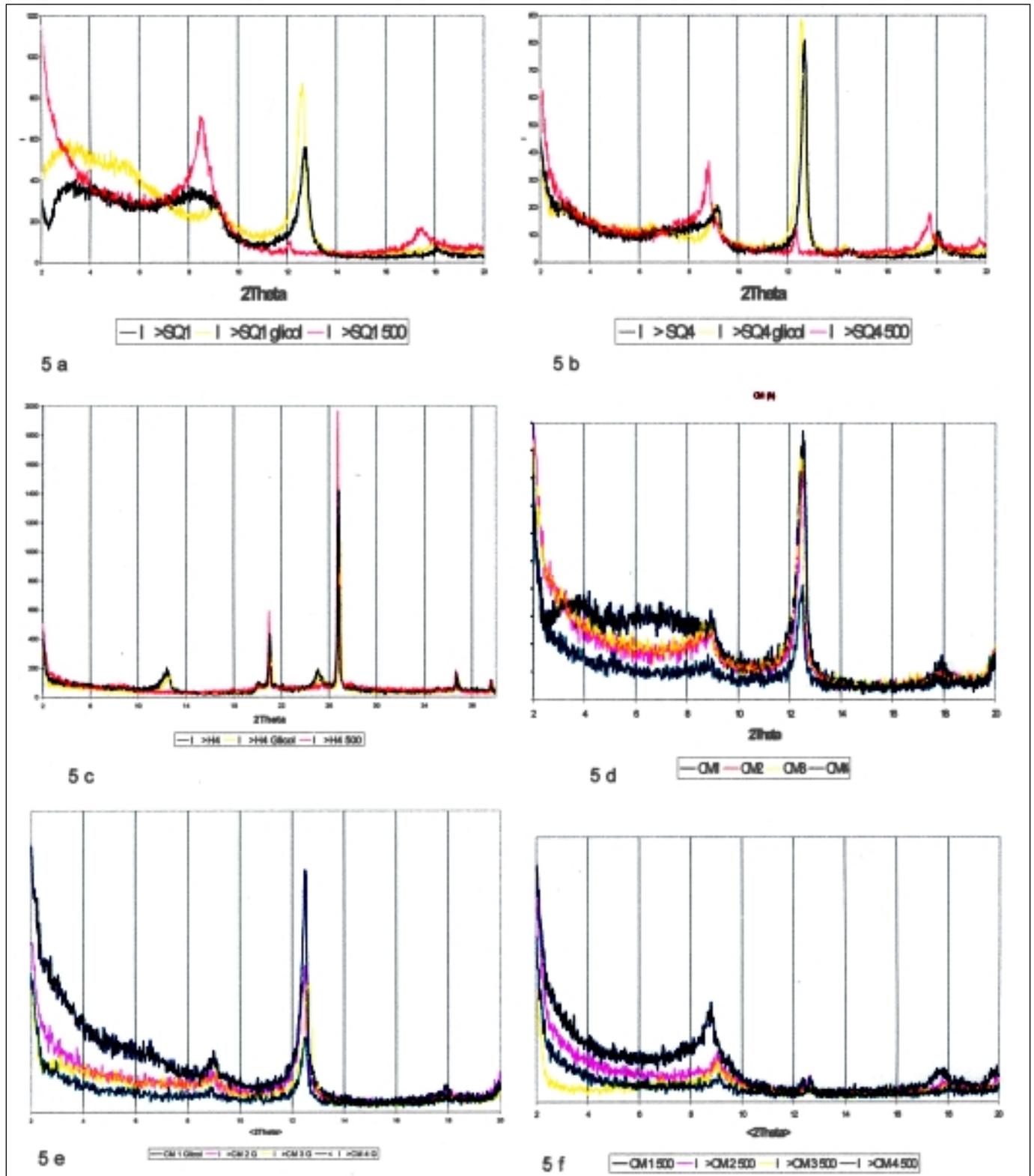


Figura 5. Difractogramas de rayos X de muestras de sedimentos y suelos sobre la fracción <math><2\mu\text{m}</math> en lámina orientada con tratamiento normal, etilen glicol y a 500°C. **5a.** SQ1 **5b.** SQ4 **5c.** H4 **5d., 5e., y 5f.** Perfil CM ((N), (EG) y (500) respectivamente.

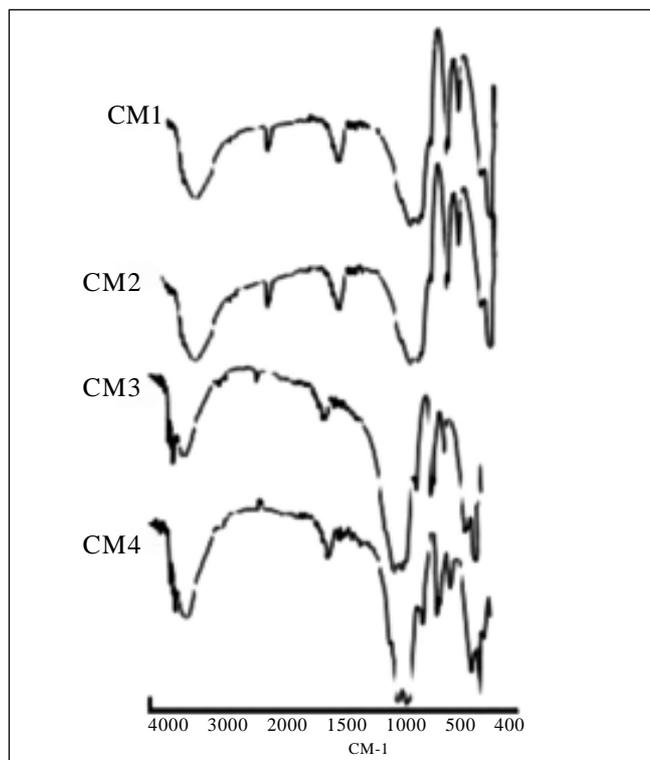


Figura 6. Análisis de espectros infrarrojos del perfil de suelo CM (Haplustalf)

veles más ricos en Al, mientras que los horizontes superiores de los suelos son pobres en Al y ricos en Si; esta relación se invierte generalmente hacia el fondo de los perfiles, aunque aparecen horizontes intercalados de composición variable. El empobrecimiento en arcillas de los horizontes superiores y el enriquecimiento en los horizontes subyacentes, refleja procesos de migración de partículas finas en los perfiles; las variaciones composicionales entre horizontes de suelo o entre niveles de sedimentos sucesivos, indican aporte de materiales de composición diferente durante la sedimentación y también durante la pedogénesis (procesos de erosión antiguos).

En algunos de los suelos (perfiles H y CC ver Tabla No 1) aparecen niveles con carbonatos de calcio encima de horizonte B_w enterrados formando costras de poco espesor (<1cm). También se presentan horizontes con concreciones ricas en hierro (perfil H - Fe³⁺, Tabla 1), en el seno de un horizonte E endurecido, donde la matriz del suelo está empobrecida en este elemento. Estos cambios en la geoquímica de los perfiles indican variaciones notables en las condiciones ambientales relacionadas con cambios del clima durante la pedogénesis: climas muy secos propician la precipitación de carbonato de calcio (caliche)

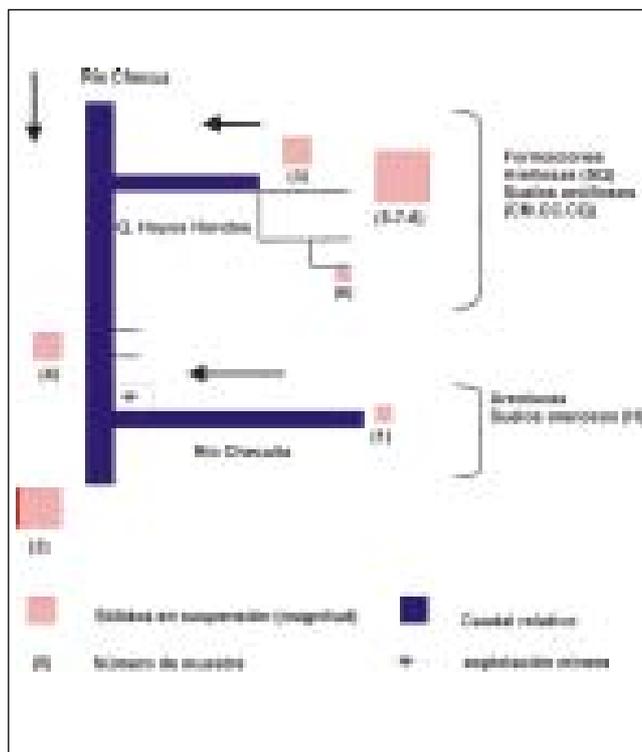


Figura 7. Esquema que indica los puntos de recolección de muestras de agua en los sistemas de drenaje (datos en la tabla 2).

en los suelos; climas con contraste húmedo y seco promueven la movilización del hierro de los óxidos por cambios en las condiciones redox ligadas a la posición del nivel freático en los suelos (Gaviria, 1993).

Análisis granulométricos

Los resultados anteriores se confirman cuando se hace el análisis textural de los materiales (Figura 3). La granulometría muestra la existencia de sedimentos limo-arcillosos intercalados con niveles limo-arenosos (SQ). También aparecen suelos de textura arcillo-limosa pobres en arenas (CM, CC y CQ), y suelos más ricos en limos y arenas (H). En cada perfil existen diferencias en la granulometría entre los horizontes, generalmente con un incremento en el contenido de arcillas en los horizontes superiores cuando se pasa de horizontes eluviales a horizontes iluviales. Sin embargo, reflejando los resultados composicionales, también existen diferencias texturales entre los horizontes inferiores sucesivos (paleosuelos), al igual que en los sedimentos subyacentes. Los suelos más arcillosos son los más ricos en Al debido al mayor contenido en minerales silico-aluminosos; los suelos limo-arenosos poseen altos contenidos en Si, lo que está indicando abundante presencia de cuarzo.

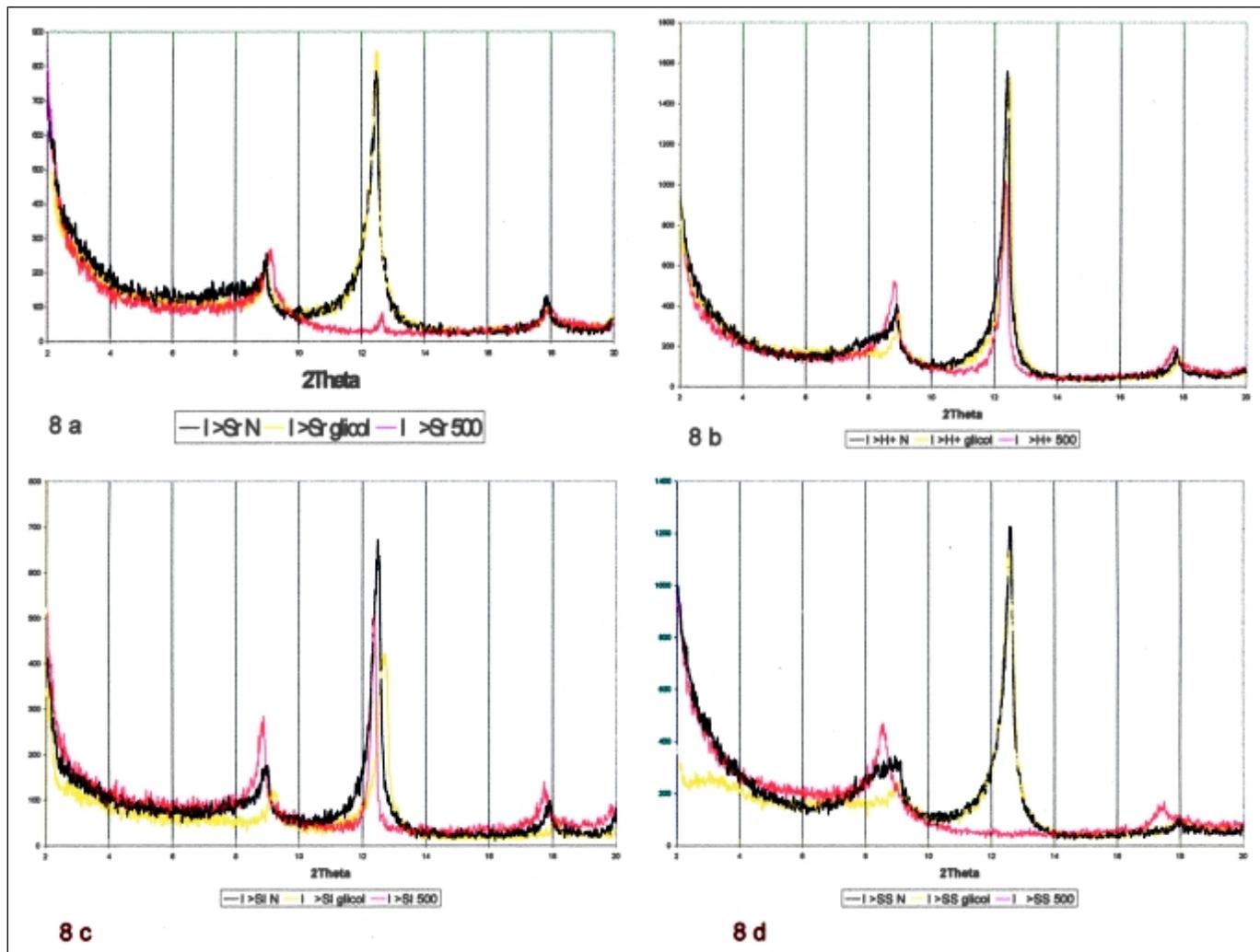


Figura 8. Difractogramas de rayos X de los sólidos en suspensión con tratamiento normal (N), etilen glicol (EG) y a 500°C (500). **8a.** Sr (floculado con cloruro de estroncio); **8b.** H⁺ (floculado con HCl diluido); **8c.** SI; **8d.** SS (separados por sedimentación, fracción inferior y superior respectivamente).

Análisis geoquímicos con elementos traza

Los análisis de elementos traza permiten hacer una evaluación sobre el origen de los materiales constitutivos de los suelos, a partir de las posibles fuentes de aporte: Los cinco elementos escogidos (Cu, Ni, Zn, Pb y Cd) presentes a nivel de partes por millón (ppm = mg/Kg), tienen una distribución muy parecida en los sedimentos SQ y en el perfil de suelo CC, localizado en la cabecera del valle. En estos materiales, Cu, Ni y Zn están casi ausentes, mientras Pb y Cd están presentes en pequeña proporción, lo que da indicios sobre la fuerte influencia de los sedimentos de la Formación Mondoñedo en la génesis de este suelo. Sin embargo, la ceniza volcánica que aparece en la base de los suelos, tiene una distribución pare-

cida en el contenido de estos elementos traza, lo que impide discriminar por esta técnica geoquímica estas dos fuentes de material de origen (Tabla 1).

La distribución de estos elementos en los otros suelos localizados en el borde y el centro del valle es notablemente diferente (CM, H y CQ ver tabla No 1); en estos materiales Cu, Ni y Zn están presentes en contenidos traza importantes, marcando un fuerte contraste con el grupo anterior. Las cenizas volcánicas que aparecen incorporadas a estos suelos, a diferencia de las que se encuentran en la base de los perfiles, contienen estos elementos en mayor proporción, lo que podría apoyar su posible influencia en el desarrollo de los suelos. Sin embargo, estos resultados son hasta ahora muy preliminares;

los estudios geoquímicos y mineralógicos sobre las formaciones terciarias y cretáceas que se están realizando actualmente en la región (Gaviria *et al.*, 2002), permitirán precisar la influencia de otros niveles de rocas sedimentarias más antiguas en el desarrollo tanto de los sedimentos Cuaternarios como de los suelos en la región.

Análisis mineralógicos

Para completar el estudio, se realizaron los análisis mineralógicos que permiten identificar las asociaciones de minerales presentes en las cenizas volcánicas, los sedimentos y los suelos:

Las cenizas volcánicas localizadas en la base de los suelos se caracterizan por presentar una banda ancha entre 12 y $40^\circ 2\theta$ en el análisis por DRX (Figura 4), lo que pone en evidencia que la mayor parte del material está constituido por productos amorfos derivados de vidrio volcánico, con muy poca alteración (pico de 7Å de baja intensidad de arcilla 1:1 muy mal cristalizada). Algunos picos de difracción de baja intensidad muestran minerales cristalinos como cuarzo (Q), feldespatos (F) y micas (M). El material volcánico original se puede clasificar como de tipo dacítico (Cox *et al.*, 1979).

Los difractogramas de los sedimentos de la Formación Mondoñedo, tanto arcillosos como arenosos (SQ1 y SQ4), muestran el predominio de arcillas de tipo 1:1, seguido de un mineral esmectítico interestratificado de tipo 10-14 Sm, Illita y un mineral clorítico en muy baja proporción. La proporción de arcillas 1:1 con respecto a las especies 2:1 es mayor en los sedimentos más arenosos (Figura 5 a y b).

Lo anterior se deduce del análisis con los tres tratamientos sobre la fracción arcilla: el pico a $12,4 2\theta$ ($7,1\text{Å}$) que desaparece por calentamiento es característico de una arcilla 1:1 tipo caolinita; una banda entre 10 y 14Å que se corre a ángulos menores por solvatación con etilenglicol y que colapsa a 10Å por calentamiento, es característica del interestratificado esmectítico; el pico a $9,1\text{Å}$ que permanece en todos los tratamientos, corresponde a un mineral 2:1 de tipo illítico; un pico remanente a 7Å después del calentamiento parece corresponder a un mineral clorítico en bajas proporciones, para el cual la primera reflexión de 14Å no es evidente. Esto se ha observado en especies cloríticas que contienen hierro dentro de la estructura (Thorez, 1976).

La presencia de cuarzo en la fracción arcilla de los suelos y en algunos niveles de sedimentos es notoria, particularmente importante en el perfil H. Esto se aprecia

claramente en los difractogramas del horizonte H4 que se presentan hasta el ángulo $40^\circ 2\theta$, donde la intensidad de los picos de las arcillas están fuertemente reducidos por la dilución de la fracción fina en cuarzo (Figura 5c). En este caso, además del cuarzo presente en gran proporción, las arcillas son principalmente de tipo 1:1. El cuarzo debe provenir de las formaciones terciarias, principalmente de las más ricas en niveles de arenas cuarcíticas (Formación Cacho y/o areniscas más antiguas).

Un ejemplo interesante lo presenta el Hapludalf arcillolimoso CM, caracterizado por la migración de arcillas dentro del perfil (Figura 5 d, e y f). Este suelo está superpuesto directamente sobre un nivel un poco más arenoso de la Formación Bogotá (CM1) que aparece cerca de la superficie por efecto de una falla (Figura 2). Los tres horizontes superiores del suelo en tratamiento normal son muy similares, indicando la presencia de los mismos minerales arcillosos (CM4 a CM2). Sin embargo, las intensidades de los picos de las arcillas 1:1 e Illita aumentan con la profundidad. El tratamiento con etilenglicol de las láminas orientadas del perfil CM muestran poca variación para los tres horizontes superiores, lo que indica baja proporción o ausencia de minerales esmectíticos. En todos los casos aparece un pequeño remanente de clorita. Finalmente, el nivel CM1 es bastante diferente a los horizontes del suelo, ya que además de las arcillas mencionadas, presenta una proporción importante del mineral interestratificado 10-14Sm que se identificó en los sedimentos de la Formación Mondoñedo (SQ). Lo anterior indica una relación entre el material de origen de los sedimentos cuaternarios y las arcillas constitutivas de las rocas terciarias que afloran en la región.

Por otro lado, en el perfil CM, la cristalinidad de las arcillas 1:1 se pone de manifiesto por medio de los análisis Infrarrojos (Figura 6). En superficie, las bandas en la región de 3600 cm^{-1} que caracterizan las vibraciones de los enlaces -O-H son poco visibles (CM4), mientras que se vuelven intensos y aumentan con la profundidad, lo que evidencia el incremento en la cristalinidad de las arcillas 1:1. Pasan de estructuras muy mal cristalizadas en superficie (caolinitas y/o metahalositas) a estructuras caoliniticas mejor cristalizadas en el fondo del perfil.

Los resultados anteriores parecen indicar que la aparición de los minerales esmectíticos y el incremento en la cristalinidad de la caolinita corresponden a una mayor influencia de las rocas arcillosas del Terciario (Formación Bogotá u otras) o de los sedimentos cuaternarios (Formación Mondoñedo) durante la génesis de los suelos. Por el contrario, la ausencia de minerales esmectíticos y la

baja cristalinidad de las arcillas 1:1 indican pérdida de estos materiales en los horizontes superiores de los suelos y/o influencia de cenizas volcánicas alteradas en la pedogénesis.

Análisis de aguas y sólidos en suspensión

Las aguas que drenan la zona fueron analizadas tomando algunas muestras en períodos diferentes (Tabla 2; Figura 7). Los resultados muestran que los pH fluctúan alrededor y por encima de 7, es decir, son aguas neutras a ligeramente alcalinas; las conductividades están entre 80 y más de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores considerados altos para aguas de escorrentía, lo que refleja aporte de iones en solución por interacción con las rocas aflorantes; la turbiedad y los sólidos en suspensión son muy variables, entre 100 y más de 2000 NTU y entre 30 y más de 2000 mg/l respectivamente, lo que indica aporte de sedimentos en todo el sistema de drenaje.

Las aguas de los drenajes locales y de las quebradas con mayor carga de sedimentos son aquellas que lavan los niveles de suelos y sedimentos más afectados por la erosión, mientras que los ríos Checua y Chequita que drenan zonas donde las obras de control de erosión se mantienen, tienen bajas cargas de sólidos en suspensión. Sin embargo, el río Checua se carga nuevamente de sedimentos cuando recibe los aportes de la Quebrada Hoyos Hondos por efecto de las explotaciones mineras que extraen arcillas de la Formación Bogotá. (Figura 7).

Los resultados de mineralogía corresponden a una muestra de agua muy cargada con sedimentos, que lava la parte central del valle y drena hacia la Quebrada Hoyos Hondos. Los análisis DRX de los sólidos en suspensión separados con agentes floculantes (Sr , H^+) o por gravedad (SS, SI), dieron los siguientes resultados (Figura 8):

En la muestra floculada con Sr, agente poco agresivo desde el punto de vista químico, predominan las arcillas de tipo 1:1 caolinítica, illita, y en menor proporción el interestratificado 10-14 Sm y un mineral clorítico en muy baja cantidad (Figura 8a). Lo anterior muestra que los tipos de arcillas que son transportados por las aguas en suspensión, corresponden a los mismos minerales arcillosos presentes en sedimentos y suelos (Figura 5), pero que probablemente se transportan más fácilmente unos que otros. En este caso las arcillas 1:1 parecen ser las más móviles.

La muestra floculada con ácido diluido, a diferencia de la anterior, pone en evidencia cambios significativos en la asociación de arcillas a pesar de que se trata de la misma muestra. (Figura 8b). El tratamiento ácido destru-

ye una parte de las arcillas 1:1, probablemente las más frágiles (de menor cristalinidad), que parecen haber sufrido un proceso de hidrólisis muy fuerte o fueron eliminadas en las aguas de lavado. Si se comparan los dos difractogramas (Figura 8, a y b), se observa que el tratamiento térmico a 500 °C deja un pico intenso a 7Å que indica la concentración de un mineral de clorita, y la pérdida selectiva de una parte de las arcillas 1:1.

La muestra separada por gravedad permitió obtener una fracción superior más liviana (SS) y una más pesada (SI).

En la primera (Figura 8c), es evidente el predominio de las arcillas 1:1 y de un interestratificado 10-14 Sm, de carácter más esmectítico, por la banda ancha e intensa hacia 14Å. Por el contrario la illita está presente en muy baja proporción y la clorita no aparece en esta fracción. Es muy notable que la suspensión superior no contiene hierro de acuerdo con los análisis químicos, lo que indica que las arcillas más livianas (1:1 y 10-14Sm) están desprovistas de este elemento (Tabla 1).

La fracción inferior (SI) es muy parecida a la suspensión tratada con HCl. En este caso, la separación por gravedad elimina las arcillas más livianas que quedan en la parte superior, y concentra las arcillas 1:1 mejor cristalizadas, un interestratificado 10-14Sm más illítico que el de la otra fracción (banda más intensa hacia 10Å), cloritas e illitas en la fracción más pesada (Figura 8d).

Conclusiones

El trabajo se enfocó al estudio de la interacción roca-suelo-agua, por medio de herramientas geoquímicas y mineralógicas, con el fin de entender la dinámica de los procesos de erosión. Los resultados mostraron que en la región de Checua se produce el transporte activo de materiales de la cuenca a partir de las rocas aflorantes, lo que ha generado acumulaciones de sedimentos, paleosuelos y suelos sucesivos, durante la formación de los paisajes actuales.

Los trazadores geoquímicos más efectivos para evaluar el origen de los materiales fueron los elementos traza Ni, Cu y Zn, que muestran un contraste entre suelos cuyo material de origen es el sedimento depositado en el centro del valle, mientras que otros parecen tener un origen ligado a otras rocas fuente, arcillosas y cuarcíticas, y a cenizas volcánicas llegadas por vía eólica.

En los suelos se identificaron varios procesos ligados a las variaciones climáticas ocurridas durante la última glaciación y el Holoceno: translocación de arcillas por contraste climático húmedo / seco dentro de los perfiles,

Tabla 2. Análisis de aguas

Determinación	1	2	3	4	5	6	7	8
Conductividad específica a 25°C, micromhos/cm	95.9	91.7	84.9	98.9	138.0	128.0	82.9	211
Dureza total (Ca,Mg) como CaCO ₃ mg/L	28.8	21.4	57.3	19.1	43.2	23.8	19.0	40.0
pH potenciométrico a 18°C	7.09	6.81	7.01	6.85	7.11	7.81	7.17	7.10
Sólidos totales (evaporación 105°C) mg/L	208	842	1612	405	2676	468	1984	4103
Sólidos en solución (evaporación 105°C mg/L)	174	176	991	159	498	262	374	113
Sólidos en suspensión, mg/l	34	666	621	246	2178	206	1610	1820
Turbiedad, NTU	288	1830	2146	813	1500	100	1000	1820
Localización	Checuita	Río Checua	Hoyos Hondos	Puente Checua	Checuita	Checua	Checua	Finca Checua
Fecha	5/10/99	5/10/99	5/10/99	5/10/99	10/11/99	10/11/99	30/11/99	09/06/00

formación de nódulos de óxido de hierro por cambios en los niveles freáticos, procesos de carbonatación bajo climas muy secos.

Los sedimentos y los suelos se caracterizan por un mismo tipo de asociación de arcillas: arcillas 1:1, tipo caolinita, con diferentes grados de cristalinidad; interestratificados 10-14Sm, que varían entre el polo más esmectítico y el polo más illítico; illitas y finalmente cloritas ferruginosas. Estas asociaciones están indicando también la filiación entre rocas, sedimentos y suelos en la región.

Los resultados ponen en evidencia el comportamiento divergente de las arcillas en cuanto a su movilidad en suspensión: las aguas de drenaje llevan principalmente minerales 1:1 e interestratificados 10-14Sm esmectíticos, que son arcillas finas, mal cristalizadas y frágiles. En contraste, las arcillas 1:1 bien cristalizadas, los interestratificados 10-14Sm illíticos, las illitas y las cloritas, corresponden a minerales de mayor tamaño y probablemente menor carga de superficie, que poseen menor movilidad y mayor resistencia a la alteración.

Los trabajos de control de erosión han sido efectivos para la disminución de los aportes de sedimentos al sistema de drenaje. Sin embargo, la explotación de arcillas expone materiales sensibles a la erosión y revierte los procesos de recuperación de la cuenca. Se recomienda estudiar los mecanismos para detener estos procesos, con base en el conocimiento de la estructura y las propiedades de los minerales arcillosos, para buscar formas de control al transporte aprovechando las propiedades de floculación en condiciones fisicoquímicas apropiadas.

Bibliografía

- Cárdenas, S.**, 1988 "Proyecto control de erosión en la Cuenca del río Checua" CAR – KFW- GTZ.
- Duarte, R.**, 1997. Resultados preliminares de la relación entre la mineralogía de los sedimentos y la erosión en el valle del río Checua, Ingeominas, Bogotá 14 p.
- Dydynski, K., & Gómez, J.**, 1988 "Evaluación de los beneficios indirectos originados por el proyecto CAR – GTZ – KFW control de la erosión Cuenca del Río Checua" CIDER, 93 p.
- Fölster H, & Hetsch, W.**, 1978. "Paleosols Sequences in the Eastern Cordillera of Colombia. Quaternary Research 9: 238-248.
- Gaviria S.**, 2002. "Génesis y alteración de arcillas en rocas y sedimentos Cuaternarios de la Sabana de Bogotá y la Cuenca de Fúquene: relación con los procesos de erosión". Proyecto de desarrollo científico tecnológico Sena-Colciencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
- Gaviria S.**, (ed)., 1997 "Geoquímica y mineralogía de sedimentos y suelos asociados en la Sabana de Bogotá". Informe de Proyecto P96Q01, Ingeominas, Bogotá 115 p.
1993. "Evolution minéralogique et géochimique du fer et de l'aluminium dans les sols ferrallitiques hydromorphes des Llanos Orientales de Colombie. Les états précoces du cuirassement". Tesis de Doctorado, Universidad de Nancy, Francia, 216p. + 6 anexos
- Gaviria, S., Duarte R., Romero F., Thorez J., & Berrío I., C.**, 2004. "Procesos de erosión, transporte y depósito durante el Cuaternario." En Aspectos geoambientales de la Sabana de Bogotá. Publicación Especial No 27, Ingeominas, Bogotá, 169-217 p.
- Helmens K. K.**, 1990. Neogene – Quaternary geology of the high plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia. Dissertations Botanicae J. Cramer, Vaduz, 79: 368 pp.

- Henninger, J., Moosbrugger, W.**, 1987. "El proyecto control de erosión en la Cuenca del Río Checua. Convenio Colombo – Aleman, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC**, 2000. Estudio General de Suelos, zonificación de tierras del Departamento de Cundinamarca, Tomo II, Hoja No 209.
- Mac Laughlin & Arce**, 1975. "Geologic map of the Zipaquirá Quadrangle (K-11), Colombia, Ingeominas, Miscellaneous Investigations Series, U.S. Geological Survey.
- Macia & Calvache**, 1987. Consideraciones acerca de la erupción del volcán Nevado del Ruiz (13.11.85) con base en el análisis de las cenizas volcánicas. *Geología Colombiana*, 16,7 -15.
- Malagón D., Pulido C., & Llinás R.**, 1990. Paleosuelos del piso alto andino en la región montañosa circundante a Bogotá. *Investigaciones, Subdirección Agrológica Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Vol 2, No 2.*
- Soil Survey Staff**. 1990. Keys to soil taxonomy. Soil managment Support services, Blacksburg, Virginia, Monograph 13, 422 pp.
- Thomas, W.** 1976. Laboratorio Minero Central de Análisis Geoquímico. Laboratorio Químico Nacional, Ingeominas. Bogotá, 27-50.
- Thorez, J.**, 1976. Practical clay identification of clay minerals. De. G. Lelotte. Belgique.
- Van der Hammen, Th**, 1995. La última glaciación en Colombia. En: Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores. *Análisis Geográfico Instituto, Geográfico Agustín Codazzi*, 24: 69-89.
- Van der Hammen, Th & Hooghiemstra H**, 1995. Cronoestratigrafía y correlación del Plioceno - Cuaternario en Colombia. En: Plioceno y Cuaternario del altiplano de Bogotá y alrededores. *Análisis Geográfico, Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, 24:51-68.
- Vanegas, J.**, 1988 "Predicción cuantitativa de la pérdida de suelo por erosión pluvial" (Cuenca del Río Checua) *Soc. Colombiana de Ciencias Suelo*. 18 (2): dic. P. 105 –111.
- Ortiz, A.**,1980. "Estudio de desarrollo y manejo integral de la Cuenca del Río Checua" Tomo IA – IIA. CAR.

Recibido el 20 de febrero de 2003

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

ECOLOGÍA QUÍMICA EN HONGOS Y LÍQUENES

por

Francisco Javier Toledo Marante¹, Ana García Castellano¹,
Francisco León Oyola² & Jaime Bermejo Barrera^{2,*}

Resumen

Toledo, F., A. García, F. León & J. Bermejo: Ecología química en hongos y líquenes. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 509-528, 2004. ISSN: 0370-3908.

Se hace una breve descripción de la ecología química en hongos y líquenes así como de varios metabolitos biológicamente activos aislados de ellos. También se hace una revisión bibliográfica y sistemática en términos de biogénesis.

Palabras clave: ecología química, hongos, líquenes, metabolitos biológicamente activos.

Abstract

The chemical ecology of fungi and lichens as well as that of several biologically active metabolites isolated therefrom is briefly described. A bibliographic and systematic review from a biogenetic viewpoint is also included.

Key words: chemical ecology, fungi, lichens, biologically active metabolites.

Introducción

Al principio se aceptó como objeto de estudio propio de la ecología la dependencia de los organismos del mundo físico así como la dependencia de unos respecto a otros. En la actualidad, sin embargo, el campo de la ecología hace referencia a sistemas y niveles de organización; se podría,

pues, definir la ecología como la ciencia de los ecosistemas, entendiendo a éstos, a su vez, como sistemas formados por individuos de muchas especies en el seno de un ambiente de características definibles, e implicados en un proceso dinámico de interacción, expresable como intercambio de materia y energía y sucesión de nacimientos y muertes cuyo resultado es la evolución del sistema entero.

¹ Departamento de Química, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Campus de Tafira, 35017, Las Palmas de Gran Canaria, España.

² Instituto Universitario de Bio-orgánica "Antonio González"- Instituto de Productos Naturales y Agrobiología del C.S.I.C., Av. Astrofísico Fco. Sánchez 2, 38206, La Laguna, España.

* Miembro Correspondiente Extranjero de la Academia Colombiana de Ciencias, Físicas y Exactas. E-mail: jbermejo@ull.es

Durante el pasado siglo XX, la **Ecología Química** surgió como la ciencia de las relaciones químicas entre los seres vivos o entre el mundo mineral y viviente. Es un vasto ensayo de comprensión del mundo viviente con el objetivo de mejorar la intervención del hombre sobre la biosfera.

En la actualidad se han esclarecido múltiples y complejas interacción químicas entre vegetales (alelopatías; **Macías et al.**, 1997), vegetal-animal (toxinas, inhibidores de la masticación, estrógenos, hormonas juveniles, de la muda, etc. **Harborne**, 1982) y animal-animal (telemediadores, feromonas, venenos, etc. **Barbier**, 1976) y no se ha cuestionado que el propósito de la biosíntesis de las complejas estructuras de productos naturales reside en su uso como agentes defensivos en su lucha adaptativa.

Los factores químicos responsables, denominados metabolitos alelóticos, juegan pues un importante papel en la adaptación de las especies y en la formación ó funcionamiento de las comunidades al inhibir o estimular los procesos metabólicos (**Rice**, 1979).

Los metabolitos alelóticos abarcan un amplio rango de estructuras moleculares: policétidos, terpenoides, esteroides, alcaloides, etc. Sólo en el campo de los policétidos se han descrito cientos de nafto y antraquinonas con interesantes actividades biológicas (**Thomson**, 1971; **Parisot et al.**, 1990; **Medentsev et al.**, 1998).

En este contexto, los hongos y los líquenes han sido y siguen siendo objeto de estudio por los químicos ecólogos por ser responsables del biodeterioro del patrimonio de la humanidad (**Edwards et al.**, 1991; **Edwards et al.**, 1993), por suponer útiles biomonitores de la contaminación (**Galun**, 1988b) y de la distribución mineral (**Jones**, 1988), pero sobre todo por suponer fuentes inagotables de interesantes materiales biológicamente activos.

Hongos

Metabolitos biológicamente activos

Los hongos son un grupo de criptógamas sin clorofila, por lo que sólo pueden obtener el carbono de moléculas que fabrican otros organismos lo que les obliga a tener una vida heterótrofa. Así, muchos hongos (setas) se cultivan sobre el estiércol o surgen del humus de los bosques; otros (mohos) se desarrollan sobre papeles, confituras, etc; otros (mildiu de la vid) son parásitos de vegetales y animales, a los que enferman; otros (micorrizas) se asocian con sus huéspedes llegando a un equilibrio que recibe el nombre de simbiosis.

Turner (1971) aplica el término de sustancia fúngica a todos los metabolitos biosintetizados y acumulados en los tejidos de los hongos. La química de estas sustancias ha sido revisada con frecuencia (**Gill**, 2003; **Ayer et al.**, 1991; **Medentsev et al.**, 1998; **Turner**, 1971; **Turner et al.**, 1983; **Cole et al.**, 1981) interesando a los farmacólogos por su variada actividad (**Brizuela et al.**, 1998; **Mizuno et al.**, 1995; **Jong et al.**, 1992; **Kurobane et al.**, 1986; **Werner et al.**, 1979; **Vogel et al.**, 1975; **Lown et al.**, 1976; **Shucla et al.**, 1971) y a los botánicos por su aplicabilidad en quimiota-xonomía (**Schulz et al.**, 1995; **Künzler et al.**, 1997). Recientemente han interesado a los profesionales de la dietética por su aplicabilidad en la ciencia de la alimentación. Así, la seta en forma de ostra (*Pleurotus ostreatus*), que se viene usando desde hace décadas como alimento en Europa, cuando se incorpora a la dieta de roedores, junto con otros alimentos portadores de colesterol, se observaron niveles del esteroles en plasma más bajos que los de los animales que no habían recibido el suplemento fúngico (**Bobek et al.**, 1991), lo que le ha convertido en un interesante campo de investigación (**Chobot et al.**, 1997).

Las sustancias fúngicas parecen biosintetizarse bajo condiciones de inhibición o cese total del crecimiento fúngico (**King et al.**, 1970; **Bu'Lock**, 1980) y, a pesar de su papel fisiológico en los productores (**Turner et al.**, 1983; **Vinning**, 1985; **Martín et al.**, 1980; **Peipp et al.**, 1997), sobresalen por la amplia actividad biológica, lo que parece sugerir un importante papel ecológico como alomonas, provocando por tanto ventaja adaptativa para el emisor en su lucha darwiniana por la supervivencia. Por eso, la producción de metabolitos fúngicos, al igual que la de fitoalexinas en las plantas (**Darvill et al.**, 1984) son inducidos por factores externos, tanto bióticos (organismos competidores extraños) como abióticos (compuestos químicos contaminantes tóxicos) (**Darvill et al.**, 1984; **Parisot et al.**, 1981).

En la actualidad, las principales acciones con significado químico-ecológico en el campo de los hongos son las siguientes:

Actividad fitohormonal. De no haber sido por el mal del pie del arroz, de efectos devastadores sobre la economía arrocera del Japón, nos serían aún desconocidas las hormonas vegetales. (**Tsavkelova et al.**, 2003). Las plantas afectadas por esta enfermedad resultaron más altas, delgadas y pálidas que las normales, lo que se achacó a las gibberellinas aisladas del hongo *Gibberella fujikuroi* (**Hedden et al.**, 2001; **Turner**, 1971; **Turner et al.**, 1983) capaces de producir un incremento de la división celular en las plantas. Un ejemplo es la gibberellina A₁₅ (**1**).

Actividad antimicrobiana. Otras sustancias de interés ecológico producidas por los hongos son los "antibió-

uticos”, los cuales hay que ver como el resultado de la lucha por la supervivencia que mantienen con otros microorganismos. Suelen ser inhibidores del crecimiento de bacterias, levaduras y hongos (Cueto *et al.*, 2001; Nagaraj *et al.*, 2001; Brady *et al.*, 2000; Kurobane *et al.*, 1986; Kern, 1978; Baker *et al.*, 1990; Arnstein *et al.*, 1947; Naefroth *et al.*, 1985; Tatum *et al.*, 1987). Un ejemplo es la gliotoxina (2) aislada de *Ceratocystis fimbriata coffea* (Gremaud *et al.*, 1996). Es más, muchos hongos fitopatógenos muestran antagonismo mutuo; éste es el caso de los hongos del álamo blanco *Phellinus tremulae* y *Peniophora polygonia*, resultando los metabolitos fúngicos responsables de dicho fenómeno (Trifonov *et al.*, 1992; Ayer *et al.*, 1996b); ejemplo es el 4-vinilfenol (3) del *Phellinus pini*. (Ayer *et al.*, 1996b).

Actividad mutagénica y carcinogénica. Algunos metabolitos fúngicos, como los policétidos de *Ceratocystis fimbriata coffea* presentan, junto a sus actividades antibióticas, una clara acción mutagénica y carcinogénica (Kim *et al.*, 2003; Gremaud *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1985). Esta actividad podría deberse a la habilidad de las isocumarinas para enlazarse a algunas enzimas, como es la 8-hidroxi-3-metil-6-metoxi-isocumarina (4) aislada *Ceratocystis fimbriata coffea* (Gremaud *et al.*, 1996).

Actividad micotoxínica. Las micotoxinas (en cuyo grupo hay que colocar los alucinógenos derivados del ácido lisérgico y los venenos de las setas) son el resultado de la batalla química que mantienen estos organismos contra la depredación animal. Así, por ejemplo, los nematodos, que constituyen una importante parte de la microfauna del suelo, se alimentan de las hifas de una gran variedad de hongos, lo que conduce a un lento crecimiento y muerte de los mismos. En respuesta, muchos hongos han desarrollado defensas químicas que inhiben la alimentación de los nematodos (Ghorab *et al.*, 2002; Bhatnagar *et al.*, 2002; Hutchison *et al.*, 1996; Ayer *et al.*, 1998). Otros metabolitos fúngicos actúan frente a protozoos (Fuska *et al.*, 1971), insectos (Watts *et al.*, 2003; Claydon *et al.*, 1977) y animales superiores (Carlton *et al.*, 1976). Un ejemplo es la ergosina (5) de *Claviceps purpurea* (Plattner, 1986).

Actividad fitotóxica. Las fitotoxinas permiten a estos organismos penetrar en los tejidos vegetales donde se encuentran nutrientes; así, el hongo *Neocosmospora vasinfecta* ataca a la planta de la soja con metabolitos estructuralmente relacionados con la neovasinina (Nakajima *et al.*, 1992; Nakajima *et al.*, 1996; Furumoto *et al.*, 1999); dichos materiales presentan gran interés como herbicidas ecológicos e, incluso, como herramientas en el estudio del crecimiento de los órganos en las plantas superiores (Soledade *et al.*, 2001). Otros casos son algunas

dihidrocumarinas de origen fúngico que inhiben el crecimiento de *Medicago sativa* (alfalfa) (Krohn *et al.*, 1997); los sesquiterpenos del hongo *Botrytis cinerea*, presentaron actividad fitotóxica (Collado *et al.*, 1996; Rebordinos *et al.*, 1996); otros grupos estructurales se han descrito en otros hongos fitopatógenos, como los *Fusarium spp.*, *Ceratocystis spp.*, etc., cuyos extractos fueron aplicados sobre semilleros de guisante, rábano, limón, lechuga, mastuerzo, tomate y arroz, donde inhibieron su germinación y crecimiento; también sobre el polen del té y del pino (Yang *et al.*, 2002; Kern, 1978; Nemeč *et al.*, 1988; Baker *et al.*, 1981; Marcinkowska *et al.*, 1982; Kimura *et al.*, 1981; Kimura *et al.*, 1988a; Kimura *et al.*, 1988b; Kimura *et al.*, 1989a; Kimura *et al.*, 1989b; Kimura *et al.*, 1991a; Kimura *et al.*, 1991b; Kimura *et al.*, 1992a; Kimura *et al.*, 1992b; Kimura *et al.*, 1992c; Kimura *et al.*, 1993; Kimura *et al.*, 1996; Kern *et al.*, 1965; Kobayashi *et al.*, 1987; Stoessl, 1981). Se observó que la actividad fitotóxica dependía de la estructura de los metabolitos (Kern, 1978; Nemeč *et al.*, 1988; Sakamura *et al.*, 1988), habiéndose propuesto incluso un mecanismo de acción para las nafto y antraquinonas (Medentsev *et al.*, 1998) un ejemplo es el xylobovido (6) de *Xylaria obovata* (Abate *et al.*, 1997).

Actividad citotóxica. El descubrimiento de actividad citotóxica en las citochalasininas como en citochalasinina Q (7) aislada del hongo *Xylaria obovata* (Namatame 2000; Dagne *et al.*, 1994) y las piranonaftoquinonas de *Dermocybe cardinalis* (Buchanan *et al.*, 1997) descubre en las setas un posible mecanismo defensivo en contra de la ovoposición animal.

Actividad feromonal. El descubrimiento de dihidroisocumarinas como (-)-mellesina (8) en el hongo *Pezizula livida* (Krohn *et al.*, 1997) ha despertado interés como consecuencia de que el mismo tipo de compuestos son usados por las hormigas como feromonas (Bestmann *et al.*, 1992); ello sugiere un posible mecanismo de control poblacional análogo al que ejercen muchos vegetales con hormonas sexuales femeninas (Harborne, 1982).

Líquenes

Metabolitos biológicamente activos

Los líquenes son criptógamas formadas por la simbiosis de un hongo filamentoso y un alga microscópica. El hongo (micobionte) recibe glúcidos del alga (ficobionte) que los obtiene a su vez por fotosíntesis. Estas sustancias son absorbidas por el hongo a través de hifas especiales, los haustorios, que se introducen dentro del alga o se aprietan contra ella (apresorios). Las rutas biogénicas clásicas

cas permiten al micobionte fabricar sustancias que se encuentran genéricamente en los hongos, si bien la asociación con el alga les permite especificidades en las rutas biogénicas que abren la puerta hacia las llamadas sustancias liquénicas. Se trata de productos del metabolismo secundario que se depositan en el talo (Culberson, 1969). Estas sustancias desempeñan un papel tan importante en la fisiología de los líquenes (Armaleo, 1993) como en la clasificación taxonómica de los mismos (Lumbsch, 2002; Feige *et al.*, 1995) lo que ha aportado un campo de investigación activo que ha sido revisado regularmente desde 1968 (Romagni *et al.*, 2002; Culberson, 1969; Hüneck, 1968; Hüneck, 1971; Hüneck, 1984; Hüneck, 1991; Culberson, 1970; Culberson *et al.*, 1977; Elix *et al.*, 1984b; Galun *et al.*, 1988a; Fahselt, 1994; Hüneck *et al.*, 1996).

Los líquenes son excepcionales dentro del reino vegetal por la alta concentración de metabolitos que pueden almacenar en su talo, lo que se traduce en que son las únicas plantas conservadas en herbarios que resisten largos períodos de tiempo sin sufrir invasiones bacterianas o fúngicas, lo que es a su vez consecuencia de la actividad antimicrobiana de las sustancias liquénicas, productos que son extracelulares ya que, siendo sintetizadas por las hifas del micobionte, son excretadas a su superficie.

Entre los metabolitos liquénicos que también se presentan en otros organismos podemos citar aminoácidos, azúcares, ácidos grasos, lactonas macrocíclicas, aromáticos monocíclicos, quinonas, cromonas, xantonas, terpenoides, esteroides y carotenoides. Entre los metabolitos hasta ahora aceptados como típicamente liquénicos se encuentran solamente dépsidos, depsidonas, depsonas, dibenzofuranos y ácidos úsnicos (González *et al.*, 1997) que, como veremos, también se encuentran en hongos.

La actividad farmacológica conocida de las sustancias liquénicas puede clasificarse en actividad antibiótica (Ingolfsdottir *et al.*, 1985), antitumoral-mutagénica (Takai *et al.*, 1979; Hirayama *et al.*, 1980; Shibamoto *et al.*, 1984), inhibidora del virus de inmunodeficiencia humana (VIH) (Nakanishi *et al.*, 1998; Neamati *et al.*, 1997; Hirabayashi *et al.*, 1989), inhibidora enzimática (Umezawa *et al.*, 1983; García *et al.*, 1980; Shibuya *et al.*, 1983; Higuchi *et al.*, 1992) y, finalmente, actividad analgésica y antipirética comparable a la de los fármacos corrientes (Hüneck, 1978b).

En cuanto al significado químico-ecológico de las sustancias liquénicas, podrían definirse como alomonas. Muchos líquenes crecen bajo condiciones extremas que suponen cambios de temperatura, humedad e intensidad de la radiación luminosa. Los líquenes, bajo las

condiciones de estrés como cambios extremos en su ambiente biosintetizan grandes cantidades de los denominados “metabolitos de estrés”; un ejemplo es la especie *Pertusaria alaianta* que presenta en clima caliente y árido más del 20% en peso de una mezcla de cloroxantonas (Hüneck *et al.*, 1978a). Las principales acciones que producen ventaja adaptativa para los líquenes son las siguientes:

Actividad alelopática. Los líquenes son organismos de crecimiento lento, por lo que deben de protegerse de las plantas que compiten por el medio. Ello lo consiguen mediante las sustancias liquénicas que, por lixiviado, son enviadas a su entorno donde inhiben el crecimiento de plantas inferiores y superiores (Romagni *et al.*, 2004; Marante *et al.*, 2003; Hess, 1960; Whiton *et al.*, 1982; Whiton *et al.*, 1984; Nishitoba *et al.*, 1987; Ingolfsdottir *et al.*, 1985).

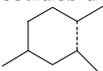
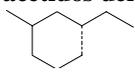
Actividad fagoinhibidora. Las sustancias liquénicas actúan como inhibidoras de la masticación en herbívoros (Ahad *et al.*, 1991; Emmerich *et al.*, 1993; Giez *et al.*, 1994; Stuelp-Campelo *et al.*, 1992).

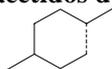
Actividad alérgica. Numerosos dépsidos, depsidonas y ácidos úsnicos se han revelado como factores alérgicos (Brasch *et al.*, 1991; Hausen *et al.*, 1993; Ehret *et al.*, 1992).

Actividad fotoprotectora. Las sustancias liquénicas aromáticas absorben la radiación ultravioleta (Rancan *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2002; Fernández *et al.*, 1996), con lo que protegen al ficobionte algal de la iluminación solar intensa (Rundel, 1978; Lawrey, 1986).

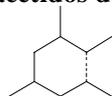
A lo largo de la década de los 90 se ha progresado en el cultivo de los componentes liquénicos (mico y ficobionte) y de tejidos liquénicos que contienen ambos simbiontes, lo que abre la puerta a la producción industrial de diversos materiales biológicamente activos. El micobionte puede cultivarse tanto a partir de esporas como de agregados celulares (Yamamoto *et al.*, 1993) mientras que el cultivo de ficobionte comienza con una célula aislada (Ahmadjian, 1993). Los resultados obtenidos hasta ahora parecen indicar que las sustancias liquénicas son biosintetizadas sólo por el micobionte y que existen diferencias cualitativas y cuantitativas en el espectro de metabolitos del líquen natural, el micobionte cultivado y el líquen cultivado (Hüneck *et al.*, 1996).

Al objeto de esclarecer la sobreposición entre la química de los hongos y la de los líquenes e ilustrar el tipo de compuestos químicos que producen las actividades anteriores nos hemos propuesto este “review” en el que se aporta una revisión bibliográfica sistematizada en términos de biogénesis. El resultado se muestra a continuación:

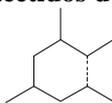
Estructura	Nombre	Liquen	Hongo	Bibliografía
Ruta del ácido shikímico				
9	Ácido atoméntico		<i>Clitocybe illudens</i>	Singh <i>et al.</i> , 1971
10	Lactona del ácido 2-hidroxipúlvico	<i>Letharia vulpina</i>		Tabacchi <i>et al.</i> , 1987
Ruta de los ácidos grasos				
11	Monolinoleato del R(-)-glicerol		<i>Sclerotinia fructicola</i>	Katayama <i>et al.</i> , 1978
12	Aspicilina Ácidos grasos bromados C ₁₈ H ₂₃₋₂₇ O ₂ Br	<i>Aspicilia caesiocinerea</i> <i>Acorospora gobiensis</i>		Sinha <i>et al.</i> , 1994 Rezanka <i>et al.</i> , 1999
Ruta de los policétidos				
Tetracétidos lineales				
13	Ácido bourgeánico	<i>Ramalina bourgeana</i>		Bodo <i>et al.</i> , 1973
14	Radicinol		<i>Cochliobolus lunata</i>	Nukina <i>et al.</i> , 1977
Tetracétidos del tipo				
				
Aromáticos Monocíclicos				
15	Asperugina C		<i>Aspergillus rugulosus</i>	Ballantine <i>et al.</i> , 1971
Dépsidos				
16	Ácido 2"-O-metilgírofórico	<i>Diploschistes gyrophoricus</i>		Elix <i>et al.</i> , 1995a
Depsidonas				
17	3-Decloro gangaleoidina	<i>Lecanora argentata</i>		Elix <i>et al.</i> , 1994d
Tetracétidos del tipo				
				
Aromáticos monocíclicos				
18	β-orselinato de etilo		<i>Aspergillus silvaticus</i>	Kawahara <i>et al.</i> , 1988
19	5,7-dihidroxi-6-metilftalido	<i>Anamylopsora pulcherrima</i>		Hüneck <i>et al.</i> , 1993
Dépsidos				
20	Ácido 4-O-demetilbarbático		<i>Aspergillus terreus</i>	Yamamoto <i>et al.</i> , 1976
21	Acido escumático	<i>Cladonia squamosa</i>		Hüneck <i>et al.</i> , 1996
Depsidonas				
22	Mollicellina A		<i>Chaetonium mollicellum</i>	Stark <i>et al.</i> , 1978
23	Ácido connorstíctico	<i>Pertusaria pseudocorallina</i>		Elix <i>et al.</i> , 1993a
Tetracétidos del tipo				
				
Ácidos úsnicos				
24	Ácido (-)-seudoplacodiólico	<i>Lecanora rubina</i>	<i>Rhizoplaca chrysolauca</i>	Hüneck <i>et al.</i> , 1978a Hüneck <i>et al.</i> , 1981
Bifenilos				
25	Contortina	<i>Psoroma contortum</i>		Elix <i>et al.</i> , 1984a

Tetracétidos del tipo

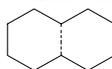
Depsidonas				
26	Fulgoicina	<i>Fulgensia fulgida</i>		Mahandru et al. , 1983
27	Maldoxona		<i>Xylaria sp.</i>	Adeboya et al. , 1996
Espirociclohexadienonas				
28	Maldoxina		<i>Xylaria sp.</i>	Adeboya et al. , 1996
Difeniléteres				
29	Dihidromaldoxina		<i>Xylaria sp.</i>	Adeboya et al. , 1996

Tetracétidos del tipo

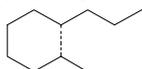
Aromáticos monocíclicos

Tetracétidos del tipo

Aromáticos monocíclicos				
30	Ácido ciclopáldico		<i>Aspergillus duricaulis</i>	Achenbach et al. , 1985
Dépsidos				
31	Brialmontina 1	<i>Lecania briamontii</i>		Elix et al. , 1993b

Pentacétidos del tipo

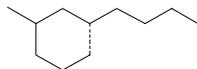
Naftoquinonas				
32	Juglona		<i>Verticillium dahliae</i>	Medentsev et al. , 1998 Harborne , 1982

Pentacétidos del tipo

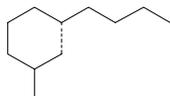
Dihidroisocumarinas				
33	5-cloro-6-hidroximelleina		<i>Plectophomella sp.</i>	Krohn et al. , 1997

Dépsidos				
34	Ácido 5-cloro divaricático	<i>Dimelaena cf. radiata</i>		Elix et al. , 1995c

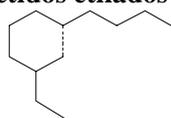
Depsidonas				
35	Ácido divarónico	<i>Cladonia grayi</i>		Culberson et al. , 1985

Pentacétidos metilados del tipo

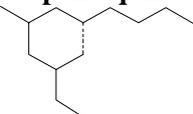
36	Mollina	<i>Roccellaria mollis</i>		Hüneck et al. , 1992
37	6-Hidroximetil eugenina		<i>Chaetonium minutum</i>	Hauser et al. , 1972

Pentacétidos metilados del tipo

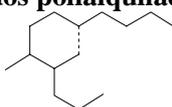
38	Lobodirina	<i>Roccellina cerebriformis</i>		Hüneck et al. , 1992
----	------------	---------------------------------	--	-----------------------------

Pentacétidos etilados del tipo

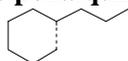
- 39 Antibiótico LL-D253α *Phoma pigmentivora* Chandler *et al.*, 1992

Pentacétidos polialquilados del tipo

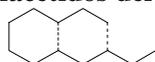
- 40 Ácido globoscínico *Xylaria globosa* Adeboya *et al.*, 1995

Pentacétidos polialquilados del tipo

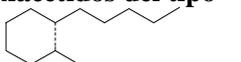
- 41 Canescina *Penicillium canescens* Edwards, 1990

Pentacétidos polialquilados del tipo

- 42 Divarinol *Evernia prusnastri* Kinoshita *et al.*, 1994

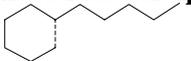
Hexacétidos del tipo

- 43 1,4,5,8-tetrahidroxi-3-etil-naftalen-2,6-diona *Cetraria cucullata* Medentsev *et al.*, 1998

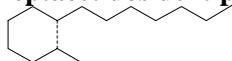
Hexacétidos del tipo

- Dépsidos 44 Ácido 4-O-demetilplanaico *Lecidea plana* Hüneck *et al.*, 1995a

- Depsonas 45 Ácido isosubpicroliquénico *Pertusaria amara* Elix *et al.*, 1994b

Hexacétidos del tipo

- 46 Olivetol *Cladonia macaronésica* González *et al.*, 1991

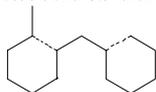
Heptacétidos del tipo

- Dépsidos 47 Ácido superplanaico *Lecanora planaica* Elix *et al.*, 1994a

- Depsidonas 48 Ácido grayánico *Gymnoderma melacarpum* Chester *et al.*, 1980

- 49 Acido α-collatólico *Tephrome atra* Hüneck *et al.*, 1996

- Difeniléteres 50 Ácido 2''-O-etil-β-alectorónico *Alectoria sarmentosa* Gollapudi *et al.*, 1994

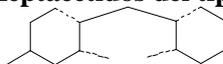
Heptacétidos del tipo

51 Norliquexantona
52 Asemona

Micarea isabellina

Penicillium patulum

Broadbent *et al.*, 1975
Elix *et al.*, 1995b

Heptacétidos del tipo

Ergocromos

53 Ácido secalónico A

Parmelia entotheiochroa

Phoma terrestris

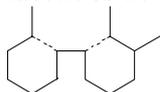
Hüneck *et al.*, 1996
Howard *et al.*, 1976

Eumitrinas

54 Eumitrina A₁

Usnea bayleyi

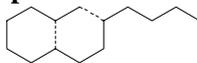
Yang *et al.*, 1973

Heptacétidos del tipo

55 Alectosarmentina

Alectoria sarmentosa

Gollapudi *et al.*, 1994

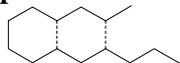
Heptacétidos del tipo

56 Canariona
57 Rubrofusarina B

Usnea canariensis

Aspergillus sp.

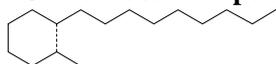
Hüneck *et al.*, 1977
Gorst-Allman *et al.*, 1980

Heptacétidos del tipo

58 Hemoventosina

Ophioparma ventosa

Rycroft *et al.*, 1995

Octacétidos del tipo

Dépsidos

59 Ácido isopatagónico

Bunodophoron patagonicum

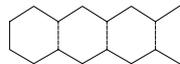
Elix *et al.*, 1994c

Depsonas

60 Ácido megapicroliquénico

Pertusaria truncata

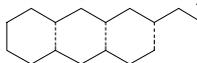
Elix *et al.*, 1994b

Octacétidos del tipo

61 Endocrocina

Nephromopsis endocracea

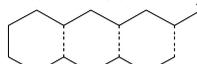
Steglich *et al.*, 1970

Octacétidos del tipo

62 Nemetzona

Haematomma nemetzii

Hüneck *et al.*, 1994

Octacétidos del tipo

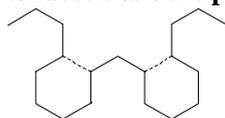
63 5-Cloroemodina
64 Flegmacina

Nephroma laevigatum

Cortinarius sinapicolor

Cohen *et al.*, 1996
Elsworth *et al.*, 1999

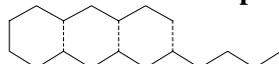
Nonacétidos del tipo



Difenilmetanos

- 65 Bis-(2,4-dihidroxi-6-n-propil-fenil)-metano *Protousnea sp.* **Kinoshita et al., 1994**

Nonacétidos del tipo



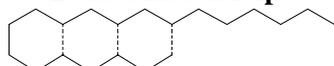
- 66 1,8-Dihidroxi-6-metoxi-3(3'-oxobut-1'-enil)antraquinona *Xanthoria parietina* **Piatelli et al., 1968**

Nonacétidos del tipo



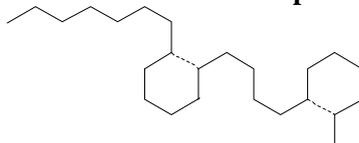
- 67 Russulona *Pyrrhospora russula* **Hüneck et al., 1996**
Mathey, 1986

Decacétidos del tipo



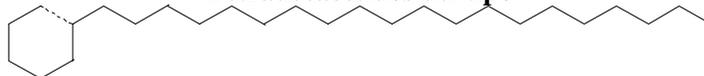
- 68 Averitrina *Solorina crocea* **Buckingham, 1994**

Dodecacétidos del tipo



- 69 Oxisifulina *Siphula ceratites* **Shimada et al., 1980**
Saengchantara et al., 1986

Tetradecacétidos del tipo



- 70 Hierridina *Ramalina hierrensis* **González et al., 1992**

Ruta de los terpenos

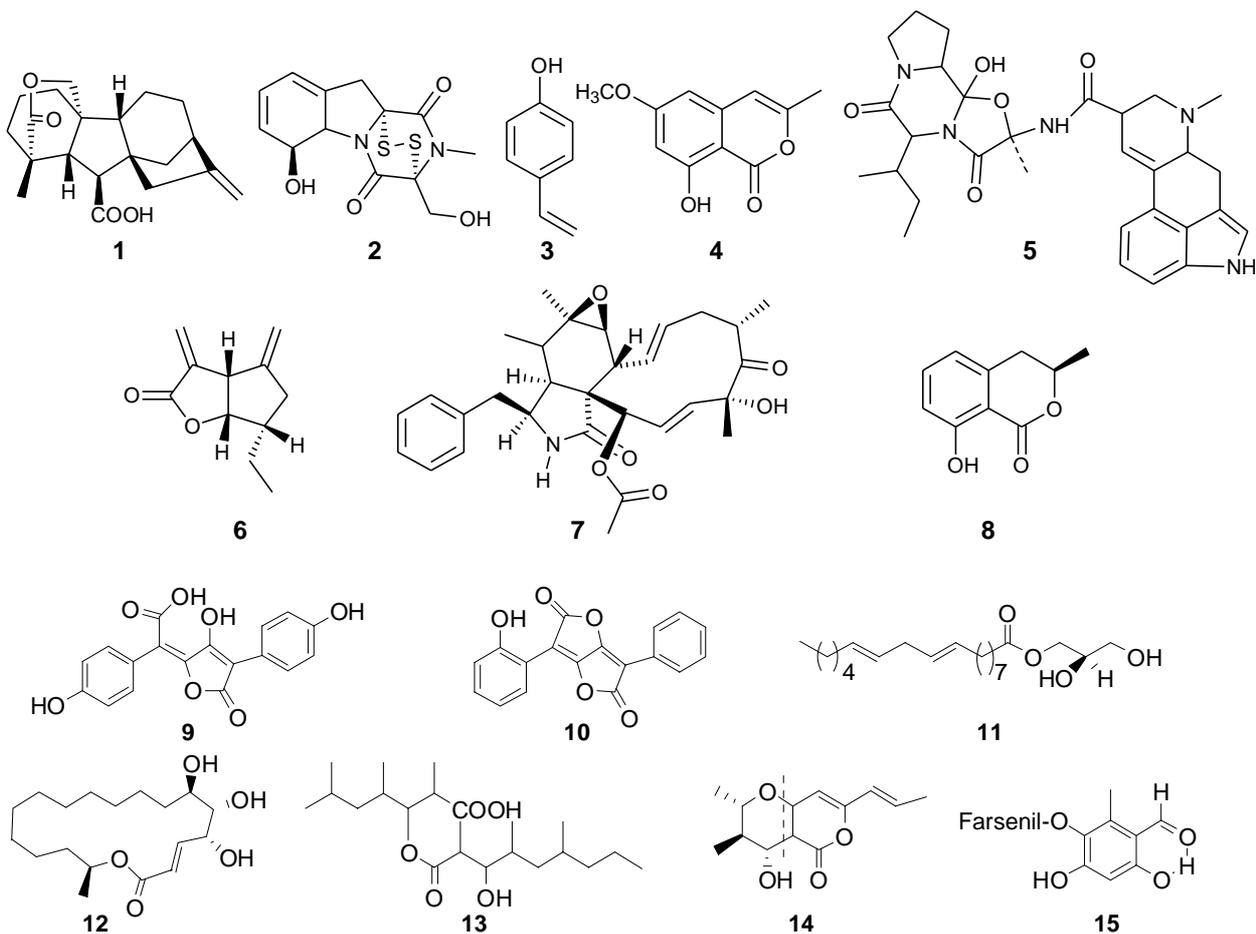
Monoterpenos

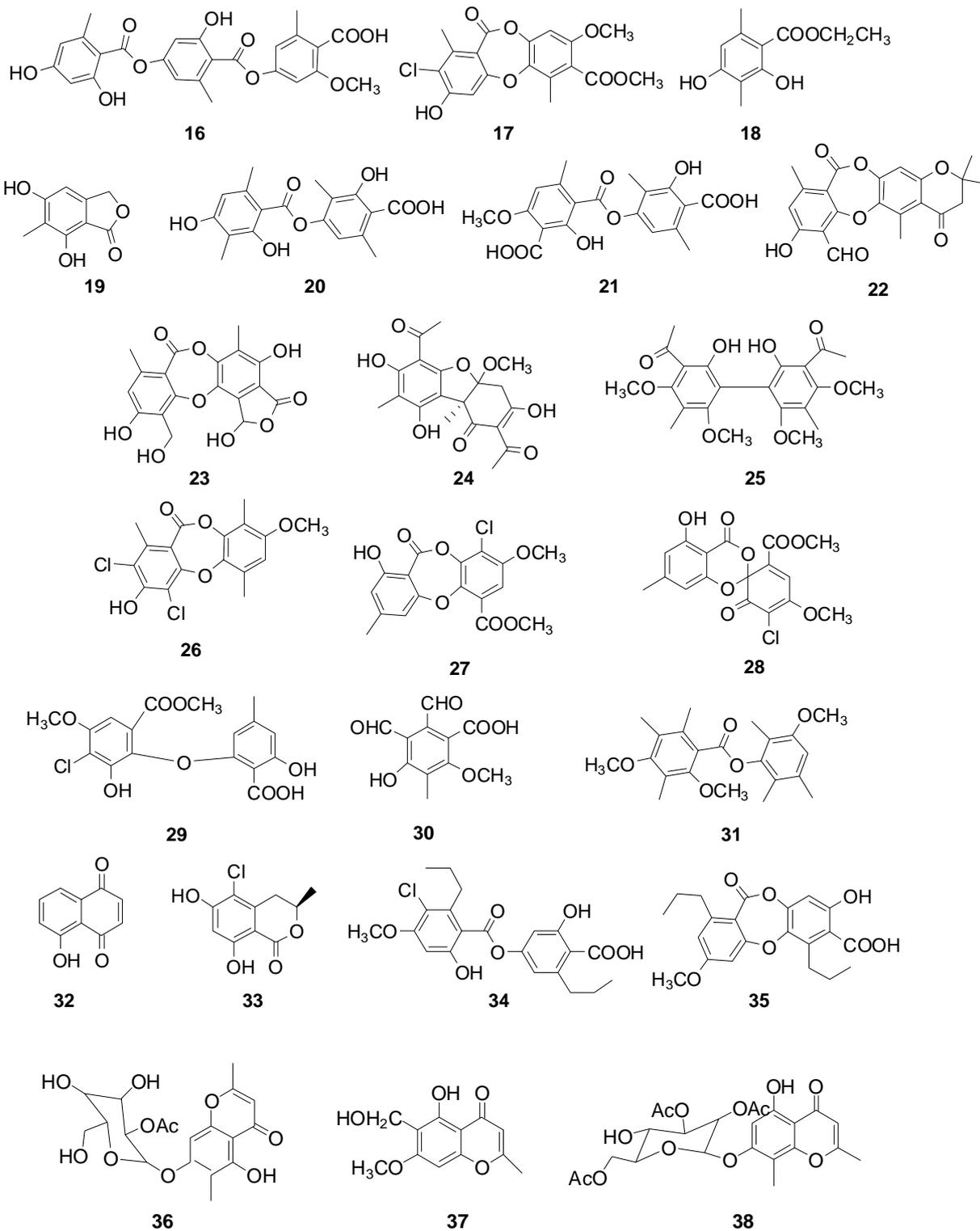
- 71 α -Pineno *Evernia prusnastri* *Cronartium fusiforme* **Laseter et al., 1973**
Gavin et al., 1978
- 72 β -Pineno *Evernia prusnastri* *Cronartium fusiforme* **Laseter et al., 1973**
Gavin et al., 1978
- 73 Limoneno *Evernia prusnastri* *Cronartium fusiforme* **Laseter et al., 1973**
Gavin et al., 1978

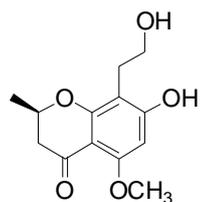
Sesquiterpenos

- 74 Clitocibulol *Clitocybula oculus* **Ayer et al., 1998**
- 75 Bakkenolido A *Cetraria islandica* **Solberg, 1986**

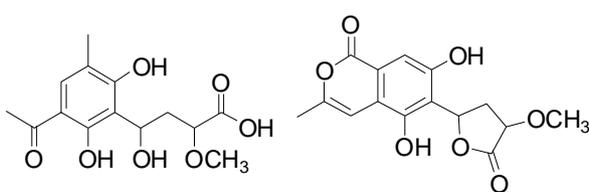
Diterpenos			
76	Ácido zithiostrómico A	<i>Zythiostroma sp.</i>	Ayer <i>et al.</i> , 1996a
77	Ácido(-)-sandaracopimárico	<i>Ramalina hierrensis</i>	González <i>et al.</i> , 1992
Sesterterpenos			
78	Anhidroofiobolina A	<i>Heminthosporium mayolis</i>	Betts, 1979
79	Ácido retigeránico	<i>Lobaria isidiosa</i>	Sugawara <i>et al.</i> , 1991
Triterpenos			
80	Ácido albértico	<i>Phellinus torulosus</i>	González <i>et al.</i> , 1994
81	Lupeona	<i>Cladonia macaronésica</i>	González <i>et al.</i> , 1991
Carotenoides			
82	Ácido trispórico	<i>Mucor mucedo</i>	Turner <i>et al.</i> , 1983
83	Astaxantina	<i>Parmelia omphalodes</i>	Czeczuga, 1988
Esteroides tipo ergosterol			
84	Ergosta-4,6,8,22-tetraen-3-ona	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Chobot <i>et al.</i> , 1997
85	Ergosta-3,5-dien-7-ona	<i>Umbilicaria cylindrica</i>	Hüneck <i>et al.</i> , 1995b



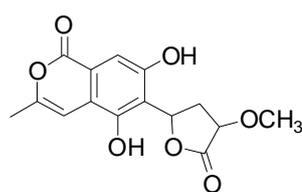




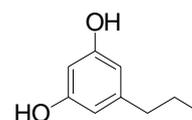
39



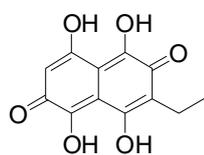
40



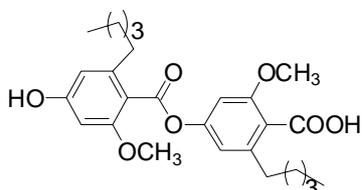
41



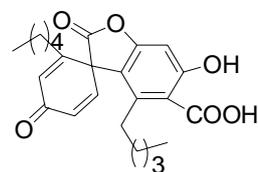
42



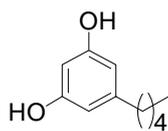
43



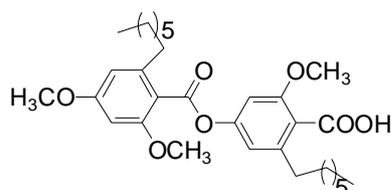
44



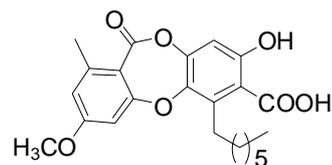
45



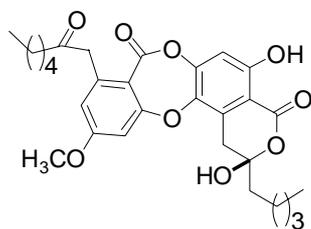
46



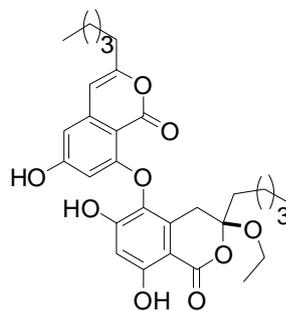
47



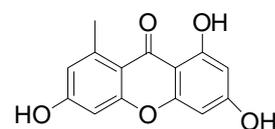
48



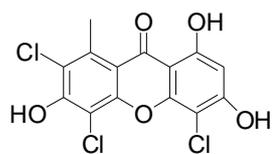
49



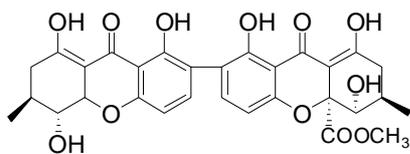
50



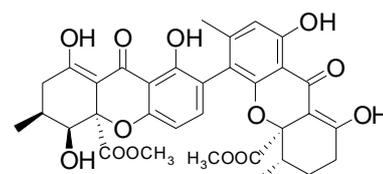
51



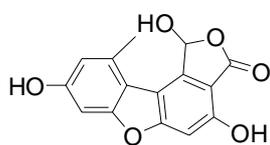
52



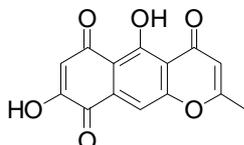
53



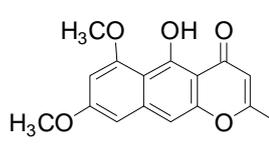
54



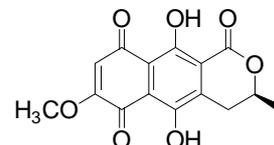
55



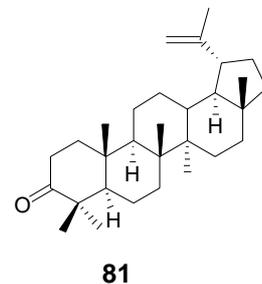
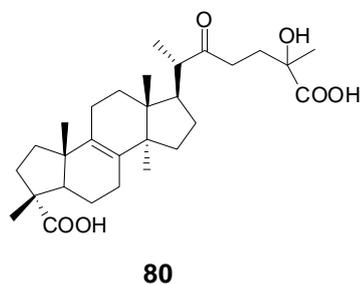
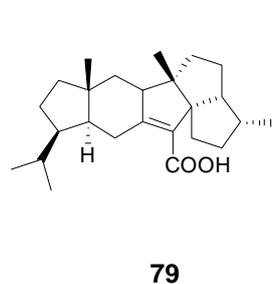
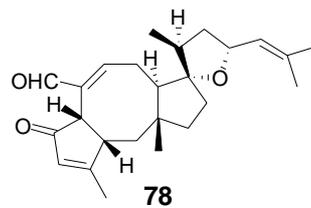
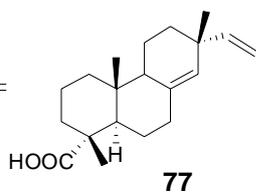
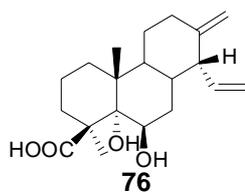
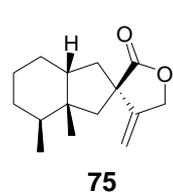
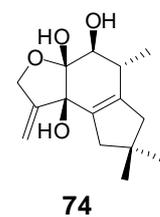
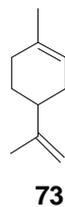
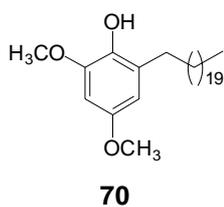
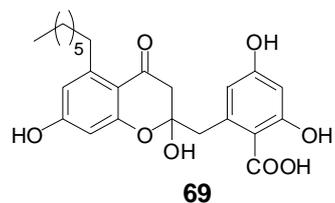
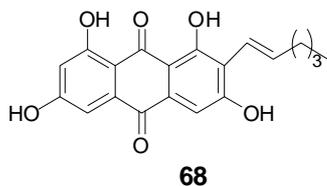
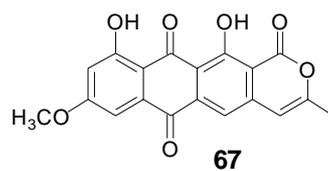
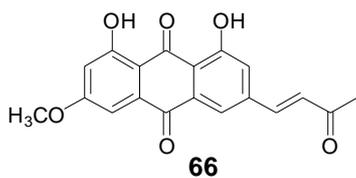
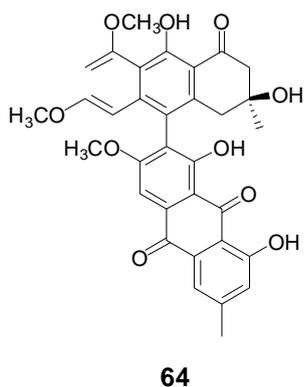
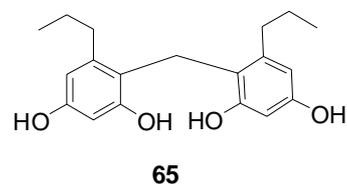
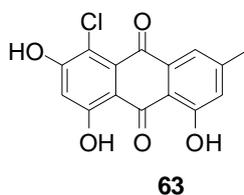
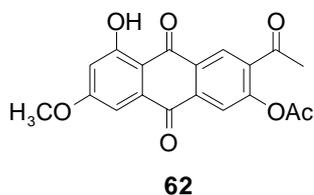
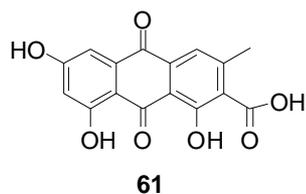
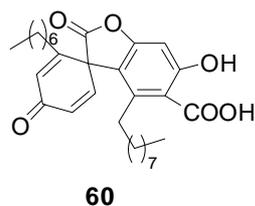
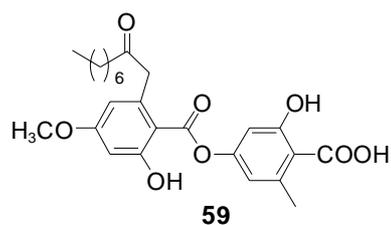
56

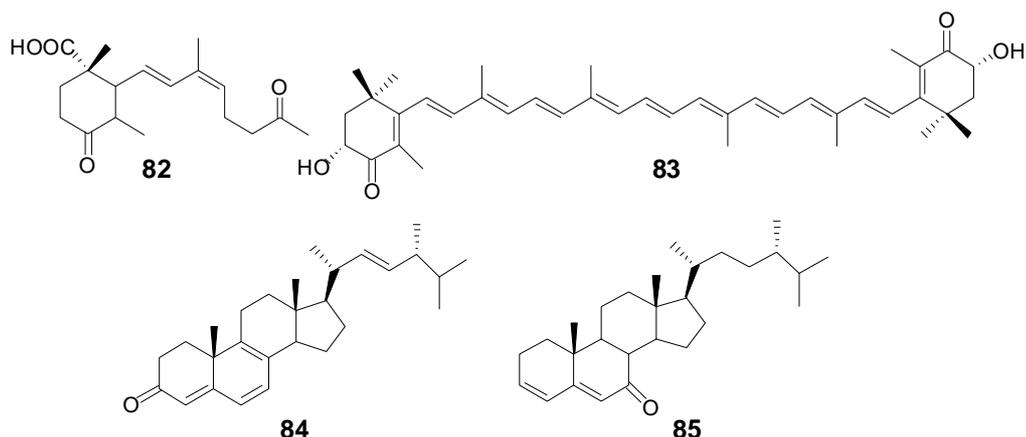


57



58





Agradecimientos

Las investigaciones fueron financiadas por FEDER 1FD 1997-1831 (J.B.B y F.L). F. J. T. M. agradece al Gobierno Autónomo Canario la subvención del proyecto PI2001/144.

Bibliografía

- Abate, D., Abraham, W. R. & Meyer, H. 1997. Cytochalasins and phytotoxins from the fungus *Xylaria obovata*. *Phytochemistry*. **44**(8): 1443-1448.
- Achenbach, H., Mühlenfeld, A. & Brillinger, G. U. 1985. Metabolites from microorganisms .30. Phthalides and chromanols from *Aspergillus duricaulis*. *Liebigs Ann. Chem.* **8**: 1596-1628.
- Adeboya, M. O., Edwards, R. L., Laessoe, T., Maitland, D. J., Shields, L. & Whalley, A. J. S. 1996. Metabolites of the higher fungi 29. Maldoxin, maldoxone, dihydromaloxin, isodihydromaloxin and dechlorodihydromaloxin. A spirocyclohexadienone, a depsidone and three diphenyl ethers: Keys in the depsidone biosynthetic pathway from a member of the fungus genus *Xylaria*. *J. Chem. Soc. Perk. Trans I.* **12**: 1419-1425.
- _____, Edwards, R. L., Laessoe, T., Maitland, D. J. & Whalley, A. S. J. 1995. Metabolites of the higher fungi .28. Globoscinic acid and globoscin, a labile acid-lactone system from *Xylaria globosa* and *Xylaria obovata*. *J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I.* **16**: 2067-2072.
- Ahad, A. M., Goto, Y., Kinchi, F., Tsuda, Y., Kondo, K. & Sato, T. 1991. Studies on crude drugs effective on visceral larva migrans .12. Nematocidal principles in oakmoss absolute and nematocidal activity of 2,4-dihydroxybenzoates. *Chem. Pharm. Bull.* **39**(4): 1043-1046.
- Ahmadjian, V. 1993. *The Lichen Symbiosis*. Wiley, New York.
- Armaleo, D. 1993. XV Int. Bot. Congr. Abstr, 11pp. Tokyo-Yokohama.
- Arnstein H. R. V. & Cook, A. H. 1947. Production of antibiotics by fungi .3. Javanicin an antibacterial pigment from *Fusarium javanicum*. *J. Chem. Soc.:*1021-1028.
- Ayer, W. A. & Khan, A. Q. 1996a. Zythiostromic acids, diterpenoids from an antifungal *Zythiostroma* species associated with aspen. *Phytochemistry*. **42**(6): 1647-1652.
- _____, Browne L. M. 1991. Terpenoid metabolites of Mushrooms and related basidiomycetes tetrahedron. **37**: 2199-2248.
- _____, Muir, D. J. & Chakravarty, P. 1996b. Phenolic and other metabolites of *Phellinus pini*, a fungus pathogenic to pine. *Phytochemistry*. **42**(5): 1321-1324.
- _____, Shan, R. D., Trifonov, L. S. & Hutchison, L. J. 1998. Sesquiterpenes from the nematocidal fungus *Clitocybula oculus*. *Phytochemistry*. **49**(2): 589-592.
- Baker, R. A., Tatum, J. H. & Nemeč, S. 1981. Toxin production by *Fusarium solani* from fibrous roots of blight-diseased citrus. *Phytopathology*. **71**(9): 951-954.
- _____, Tatum, J. H. & Nemeč, S. 1990. Antimicrobial activity of naphthoquinones from *Fusaria*. *Mycopathology*. **111**(1): 9-15.
- Ballantine, J. A., Ferrito, V. & Hassall, C. H. 1971. Biosynthesis of phenols .23. Biosynthesis of asperugin in *Aspergillus rugulosus*. *Phytochemistry*. **10**(6): 1309-1311.
- Barbier, M. 1976. *Introduction à L'Ecologie Chimique*. Masson, Paris.
- Bestmann, H. J., Kern, F., Schafer, D. & Witschel, M. C. 1992. Pheromones .86. 3,4-dihydroisocoumarins, a new class of ant trail pheromones. *Angew. Chem. Int. Edit.* **31**(6): 795-796.
- Betts, R. E. 1979. *Diss. Abstr. Int. B.* 39:4857; *Chem Abstr.* **91**:16850.
- Bhatnagar, D., Yu, J. & Ehrlich, K. C. 2002. Toxins of filamentous fungi. *Chemical immunology* **81**: 167-206.
- Bobek, P., Ginter, E., Kuniak, L., Babala, N., Jurcovicová, M., Ozdin, L. & Cerven, J. 1991. Effect of mushroom *Pleurotus ostreatus* and isolated fungal polysaccharide on serum and liver lipids in syrian-hamsters with hyperlipoproteinemia. *Nutrition (Burbank Calif)*. **7**(2): 105-108.

- Bodo, B., Hebrard, P., Molho, L. & Molho, D.** 1973. New aliphatic acid from lichens, *Desmaziera evernioides* and *Ramalina bourgeana*. *Tetrahedron Lett.* **18**: 1631-1634.
- Brady, S. F., Wagenaar, M. M., Sing, M. P., Janso, J. E. & Clardy, J.** 2000. The cytosporones, new octaketide antibiotics isolated from an endophytic fungus. *Organic letters.* **2**(25): 4043-4046.
- Brasch, J. & Jacobsen, P.** 1991. Lichens and their allergens. *Allergologie.* **14**(3): 99-103.
- Brizuela, M. A., García L., Pérez, L. & Mansur, M.** 1998. Basidiomicetos: nuevas fuentes de metabolitos secundarios. *Rev. Iberoam. Micol.* **15**: 69-74.
- Broadbent, D., Mabelis, R. P. & Spencer, H.** 1975. 3,6,8-trihydroxy-1-methylxanthone antibacterial metabolite from *Penicillium patulum*. *Phytochemistry.* **14**(9): 2082-2083.
- Buchanan, M. S., Gill, M. & Yu, J.** 1997. Pigments of fungi .43. Cardinalins-1-6, novel pyranonaphtho-quinones from the fungus *Dermocybe cardinalis* Horak. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I.* **6**: 919-925.
- Buckingham, J.** 1994. *Dictionary of Natural Products*, Vol 1. p. 570. Chapman and Hall, London.
- Bu'Lock, J. D.** 1980. *The biosynthesis of mycotoxins, a study in secondary metabolism.* Academic Press, New York.
- Carlton, W. W. Stack, M. E. & Eppley, R. M.** 1976. Hepatic alterations produced in mice by xanthomegnin and viomellein, metabolites of *Penicillium viridicatum*. *Toxicol. Appl. Pharm.* **38**(2): 455-459.
- Chandler, I. M., McIntyre, C. R. & Simpson, T. J.** 1992. Structural revision and synthesis of 11-d253- α and related chromanone fungal metabolites. *J. Chem. Soc. Perkin. Trans. I.* **18**: 2271-2284.
- Chester, D. O & Elix, J. A.** 1980. A new dibenzofuran and diphenyl ether from the lichen *Gymmoderma melacarpum*. *Aust. J. Chem.* **33**(5): 1153-1156.
- Chobot, V., Opletal, L., Jahodar, L., Patel, A. V., Dacke, C. G. & Blunden, G.** 1997. Ergosta-4,6,8,22-tetraen-3-one from the edible fungus, *Pleurotus ostreatus* (oyster fungus). *Phytochemistry.* **45**(8): 1669-1671.
- Claydon, N., Grove, J. F. & Pople, M.** 1977. Insecticidal secondary metabolic products from entomogenous fungus *Fusarium solani*. *J. Invertebr. Pathol.* **30**(2): 216-223.
- Cohen, P.A. & Towers, G. H. N.** 1996. Biosynthetic studies on chlorinated anthraquinones in the lichen *Nephroma laevigatum*. *Phytochemistry.* **42**(5): 1325-1329.
- Cole, R. J. & Cox, R. H.** 1981. *Handbook of toxic fungal metabolites.* Academic Press, London.
- Collado, I. G., Hernández-Galan, R., Prieto, V., Hanson, J. R. & Rebordinos, L. G.** 1996. Biologically active sesquiterpenoid metabolites from the fungus *Botrytis cinerea*. *Phytochemistry.* **41**(2): 513-517.
- Cueto, M., Jensen, P. R., Kauffman, C., Fenical, W., Lobkovsky, E. & Clardy J.** 2001. Pestalone, a new antibiotic produced by a marine fungus in response to bacterial challenge. *J. Nat. Prod.* **64**(11): 1444-1446.
- Culberson, C. F., Culberson, W. L. & Johnson A.** 1977. Second supplement to "Chemical and botanical guide to lichen products". *Am. Bryol. Lichenol. Soc.*, Missouri Bot. Garden, St Louis.
- _____. 1969. *Chemical and botanical guide to lichen products.* Univ. North Carolina Press, Chapel Hill.
- _____. 1970. Supplement to "Chemical and botanical guide to lichen products". *Bryologist.* **73**:177-377.
- _____, **Culberson, W. L. & Johnson, A.** 1985. Orcinol-type depsides and depsidones in the lichens of the *Cladonia chlorophaea* group (Ascomycotina, Cladoniaceae). *Bryologist.* **88**(4): 380-387.
- Czeczuga, B.** 1988. Carotenoids. In Galun, M. (ed) *CRC Handbook of Lichenology*, Vol III. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Dagne, E., Gunatilaka, A. A. L., Asmellash, S., Abate, D., Kingston, D. G. I., Hofmann, G. A. & Johnson, R. K.** 1994. 2 new cytotoxic cytochalasins from *xylaria obovata*. *Tetrahedron.* **50**(19): 5615-5620.
- Darvill, A. G. & Albersheim, P.** 1984. Phytoalexins and their elicitors a defense against microbial infection in plants. *Annu. Rev. Plant. Phys.* **35**: 243-275.
- Edwards, R. L.** 1990. 4th International Mycological Congress. Abstract 1A-16/4. Regensburg, Germany.
- Edwards, H. G. M., Farwell, D. W., Seaward, M. R. D. & Giacobini, C.** 1991. Preliminary raman microscopic analyses of a lichen encrustation involved in the biodeterioration of renaissance frescoes in central Italy. *Int. Biodeterioration.* **27**(1): 1-9.
- _____, **Farwell, D. W., Lewis I. R., Seaward, M. R. D., Turner P. & Withley A.** 1993. FT-Raman microscopy and lichen biodeterioration. *Bruker Rep.* **139**: 8-11.
- Ehret, C., Maupetit, P., Petrzika, M. & Klecak, G.** 1992. Preparation of an oakmoss absolute with reduced allergenic potential. *Int. J. Cosmetic Science.* **14**(3): 121-130.
- Elix, J. A. & Ernst-Russell, K. D.** 1993a. A catalogue of standardised thin layer chromatographic data and biosynthetic relationships for lichen substances. Australian National Univ., Canberra.
- _____, **Barbero, M., Giralt, M., Lumbsch, H. T. & McCaffery L. F.** 1995a. 2''-O-methylgyrophoric acid, a new lichen tridepside. *Aust. J. Chem.* **48**(10): 1761-1765.
- _____, **Barclay, C. E. & Lumbsch, H. T.** 1994a. New depsides from the lichen *Lecanora planaica*. *Aust. J. Chem.* **47**(6): 1199-1203.
- _____, **Barclay, C. E., David, F., Griffin, F. K., Hill, A. M., McConnell, D. B. & Wardlaw, J. H.** 1993b. Synthesis of further lichen depsides. *Aust. J. Chem.* **46**(3): 301-313.
- _____, **Jayanthi, V. K., Jones, A. J. & Lennard, C. J.** 1984a. A novel biphenyl from the lichen *Psoroma contortum*. *Aust. J. Chem.* **37**(7): 1531-1538.
- _____, **Lumbsch, H. T. & Lücking, R.** 1995b. *Bibl. Lichenol.* **58**:81-96.
- _____, **Mayrhofer, H. & Wippel, A.** 1995c. *Australasian Lichenol. Newsletter.* **36**: 25-26.

- _____, Venables, D. A. & Archer, A. W. 1994b. Further new depsones from the lichen *Pertusaria truncata*. Aust. J. Chem. **47**(7): 1345-1353.
- _____, Venables, D. A. & Wedin, M. 1994c. New dibenzofurans and depsides from the lichen *Bunodophoron patagonicum*. Aust. J. Chem. **47**(7): 1335-1344.
- _____, Venables, D. A., Lumbsch, H. T. & Brako, L. 1994d. Further new metabolites from lichens. Aust. J. Chem. **47**(8): 1619-1623.
- _____, Whitton, A. A. & Sargent, M. V. 1984b. Fortschr. Chem. Org. Naturst. **45**:104-234.
- Elsworth, C., Gill, M., Gimenez, A., Milanovic, N. M. & Raudies, E. 1999. Pigments of fungi. Part 50. Structure, biosynthesis and stereochemistry of new dimeric dihydroanthracenones of the phlegmacin type from *Cortinarius sinapicolor* Cleland. J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. **2**: 119-125.
- Emmerich, R., Giez, I., Lange, O. L. & Proksch, P. 1993. Toxicity and antifeedant activity of lichen compounds against the polyphagous herbivorous insect *Spodoptera littoralis*. Phytochemistry. **33**(6): 1389-1394.
- Fahsel, D. 1994. Secondary biochemistry of lichens. Symbiosis. **16**(2): 117-165.
- Feige, G.B. & Lumbsch, H.T. 1995. Some types of chemical variation in lichens. Crypt. Bot. **5**: 31-35.
- Fernández E., Quilhot, W., González, I., Hidalgo, M. E., Molina, X. & Meneses, I. 1996. Lichen metabolites as UVB filters. Lichen metabolites show photoprotector capacity. Cosmetics & Toiletries. **111**(12): 69-74.
- Furumoto, T., Hamasaki, T. & Nakajima, H. 1999. Biosynthesis of phytotoxin neovasinin and its related metabolites, neovaspirones A and B and neovasifuranones A and B, in the phytopathogenic fungus *Neocosmospora vasinfecta*. J. Chem. Soc. Perkin Trans. I: 131-135.
- Fuska, J., Nemeč, P., Kuhr, I. & Lukasova, V. 1971. New antiprotozoal antibiotic vermiculin. Folia Microbiol. **16**(6): 504-508.
- Galun M. & Ronen, R. 1988a. In Galun, M. (ed) CRC Handbook of Lichenology, vol. III. pp. 55-72. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- _____. 1988b. CRC Handbook of lichenology. Vol. III CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Garcia, I., Cifuentes, B. & Vicente, C. 1980. L-uscinate-urease interactions: binding-sites for the ligand. Z Naturforsch C. **35**(11-1): 1098-1100.
- Gavin, J., Nicollier, G. & Tabacchi, R. 1978. Composants volatils de la "mousse de chêne" [*Evernia prunastri* (L.) Ach.] Helv. Chim. Acta. **61**(1): 352-357.
- Ghorab, M. M. & El-Batal, A. L. 2002. Synthesis of some new thiazole derivatives. Antifungal activity and ultrastructure changes of some mycotoxin producing fungi. Bolletino Chimico Farmaceutico. **141**(2): 110-117.
- Giez, I., Lange, O. L. & Proksch, P. 1994. Growth retarding activity of lichen substances against the polyphagous herbivorous insect *Spodoptera littoralis*. Biochem. Syst. Ecol. **22**(2): 113-120.
- Gill, M. 2003. Pigments of Fungi (Macromycetes). Nat. Prod. Rep. **20**: 615-639.
- Gollapudi, S. R., Telikepalli, H., Jampani, H. B., Mirhom, Y. W., Drake, S. D., Bhattiprolu, K. R., van der Velde, D. & Mitscher, L. A. 1994. Alectosarmentin, a new antimicrobial dibenzofuranoid lactol from the lichen, *Alectoria sarmentosa*. J. Nat. Prod. **57**(7): 934-938.
- González, A. G., Barrera, J. B., Pérez, E. M. R. & Padrón, C. E. H. 1991. Chemical-constituents of the lichen *Cladina macaronesica*. Z. Naturforsch. **46**(1-2): 12-18.
- _____, Expósito, T. S., Marante, F. J. T., Pérez, M. J. M., Tejera, E. B. & Barrera, J. B. 1994. Lanosterol derivatives from *Phellinus-torulosis*. Phytochemistry. **35**(6): 1523-1526.
- _____, Bermejo, J. B., Pérez, E. M. R. & Padrón, C. E. H. 1992. Chemical-constituents of the lichen *Ramalina hierrensis*. Planta Medica. **58**(2): 214-218.
- _____, Rodríguez, E. M. R., Hernández, P. C. & Bermejo, J. B. 1997. Phytochemical investigation of Canary Island lichens. Virtual activity, Real pharmacology. 49-60.
- Gorst-Allman, C. P., Steyn, P. S. & Rabie, C. J. 1980. Structural elucidation of the nigerones, 4 new naphthopyrones from cultures of *Aspergillus niger*. J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. **11**: 2474-2479.
- Gremaud, G. & Tabacchi, R. 1996. Relationship between the fungus *Ceratocystis fimbriata coffea* and the canker disease of the coffee tree. Phytochemistry. **42**(6): 1547-1549.
- Harborne, J. B. 1982. Introduction to ecological biochemistry. 2nd edition. Academic Press, London.
- Hause, B. M., Emde, L. & Marks, V. 1993. An investigation of the allergenic constituents of *cladonia stellara* (opiz) pous and vezda ("silver moss", reindeer moos or reindeer lichen). Contact dermatitis. **28**(2): 70-76.
- Hauser, D. & Zardin, T. 1972. Isolation of 6-hydroxymethyl-eugenin from *Chaetonium minutum*. Experientia. **28**(9): 1114-1118.
- Hedden, P., Phillips, A. L., Rojas, M. C., Carrera, E. & Tudzynski, B. 2001. Gibberellin biosynthesis in plants and fungi: A case of convergent evolution. J. Plant Growth Regulation. **20**(4): 319-331.
- Hess, D. 1960. Untersuchungen über die hemmende wirkung von Extrakten aus Flechtenpilzen auf das Wachstum von *Neurospora crassa*. Z. Bot. **48**: 136-142.
- Hidalgo, M. E., Fernández, E., Ponce, M., Rubio, C. & Quilhot, W. 2002. Photophysical, photochemical, and thermodynamic properties of shikimic acid derivatives: calycin and rhizocarpic acid (lichens). J. Photochem. Photobiol, B: Biology. **66**(3): 213-217.
- Higuchi, M., Miura, Y., Boohene, J., Kinoshita, Y., Yamamoto, Y., Yoshimura, I. & Yamada, Y. 1992. Inhibition of tyrosinase activity by cultured lichen tissues and bionts. Planta Med. **59**(3): 253-255.

- Hirabayashi, K., Iwata, S., Ito, M., Shigeta, S., Narui, T., Mori, T. & Shibata, S. 1989. Inhibitory effect of a lichen polysaccharide sulfate, GE-3-S, on the replication of human immunodeficiency virus (HIV) in vitro. *Chem. Pharm. Bull.* **37**(9): 2410-2412.
- Hirayama, T., Fujikawa, F., Kasahara, T., Otsuka, M., Nishida, N. & Mizuno, D. 1980. Anti-tumor activities of some lichen products and their degradation products. *Yakugaku Zasshi.* **100**(7): 755-759.
- Howard, C. C., Johnstone, R. A. W., King, T. J. & Lessinger, L. 1976. Fungal metabolites .6. Crystal and molecular-structure of secalonic acid A. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I.* **17**: 1820-1822.
- Hüneck, S. & Höfle, G. 1978a. C-13 NMR and structure of chloroxanthones from lichens. *Tetrahedron.* **34**(16): 2491-2502.
- & Schmidt, J. 1995a. Neue Flechtenanalysen aus verschiedenen Verwandtschaftskreisen. In Daniels, F. J. A., Schultz, M. & Peine, J. (ed). *Flechten Follmann. Contributions to Lichenology in honour of Gerhard Follmann. Geobotanical and Phytotaxonomical study group.* pp 27-41. Botanical Institute. Univ. of Cologne, Cologne, Germany.
- & Yoshimura, I. 1996. Identification of lichen Substances. Springer, Berlin.
- . 1968. *Progr. Phytochem.* **1**:223-346.
- . 1971. *Fortschr. Chem. Org. Naturst.* **29**:209-306.
- . 1978b. *Symp. Pap. IUPAC Int. Symp. Chem. Nat. Prod.* **11**th **4**:197
- . 1984. *Nova Hedwigia Beih.* **79**:793-838.
- . 1991. New results in the chemistry of lichens. *Symbiosis.* **11**(2-3): 225-248.
- , Akinniyi, J. A., Cameron, A. F., Connolly, J. D. & Mulholland, A. G. 1981. The absolute-configurations of (+)-usnic and (+)-isousnic acid - x-ray analyses of the (-)-alpha-phenylethylamine derivative of (+)-usnic acid and of (-)-pseudoplacodiolic acid, a new dibenzofuran, from the lichen *Rhizoplaca chrysoleuca*. *Tetrahedron Lett.* **22**(4): 351-352.
- , Himmelreich, U., Schmidt, J., John, V. & Zeybek, U. 1994. On the chemistry of lichens from Turkey - structure of nemetzon, the pigment of the apothecia from *Haematoma nemetzi*. *Z. Naturforsch.* **49**(11): 1561-1565.
- , Jakupovic, J. & Follmann, G. 1992. The final structures of the lichen chromones galapagin, lobodirin, mollin, and roccellin. *Z. Naturforsch.* **47**(3): 449-451.
- , Porzel, A., Schmidt, J., Feige, G. B. & Posner, B. 1993. Crustinic acid, a tridepside from *Umbilicaria crustulosa*. *Phytochemistry.* **32**(2): 475-477.
- , Schmidt, J. & Alstrup, V. 1995b. Lichen substances from Subfossil and recent *Umbilicaria cylindrica*. *Bibl. Lichenol.* **57**:231-239.
- , Steglich, W. & Höfle, G. 1977. Lichen components .113. Canarione, new naphthoquinone from *Usnea canariensis*. *Phytochemistry.* **16**(1): 121-123.
- Hutchison, L. J., Madzia, S. E. & Barron, G. L. 1996. The presence and antifeedant function of toxin producing secretory cells on hyphae of the lawn-inhabiting agaric *Conocybe lacteal*. *Can. J. Bot.* **74**(3): 431-434.
- Ingoldsdottir, K., Bloomfield, S. F. & Hylands, P. J. 1985. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of lichen metabolites as potential preservatives. *Antimicrob. Agents Ch.* **28**(2): 289-292.
- Jones, D. 1988. In Galun M (ed) *CRC Handbook of lichenology.* pp. 109-124. Vol III CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Jong, S. C. & Birmingham, J. M. 1992. Medicinal benefits of the mushroom *Ganoderma*. *Adv. Appl. Microbiol.* **37**: 101-134
- Katayama, M. & Marumo, S. 1978. Dolichol-23, a new metabolite with sporogenic activity, produced in submerged culture of *Sclerotinia fructicola*. *Agric. Biol. Chem.* **42**(10): 1967-1969.
- Kawahara, N., Nakajima, S., Satoh, Y., Yamazaki, M. & Kawai, K. 1988. Studies on fungal products .18. Isolation and structures of a new fungal depsidone related to nidulin and a new phthalide from *Emericella unguis*. *Chem. Pharm. Bull.* **36**(6): 1970-1975.
- Kern H. 1978. Naphthazarins of *Fusarium f. Spp.* *Ann. Phytopathol.* **10**(3): 327-345.
- & Naef-Roth S. 1965. The formation of phytotoxic pigments by fusaria of the Martiella group. *Phytopathol. Z.* **53**(1):45-64.
- Kim, G. Y., Park, H. S., Nam, B. H., Lee, S. J. & Lee, J. D. 2003. Purification and characterization of acidic proteo-heteroglycan from the fruiting body of *Phellinus linteus* (Berk. & M. A. Curtis) Teng. *Bioresource Technology.* **89**(1): 81-87.
- Kimura, Y., Fujioka, H., Nakajima, H., Hamasaki, T. & Isogai, A. 1988a. Isolation and structures of o-methyldihydrobotrydial and deacetyl-o-methyldihydrobotrydialone produced by *Botrytis squamosa*. *Agr. Biol. Chem.* **52**(7): 1845-1847.
- , Fujioka, H., Nakajima, H., Hamasaki, T. & Nakashima, R. 1993. BSF-A, a new plant-growth regulator produced by the fungus, *Botrytis squamosa*. *Biosci. Biotech. Bioch.* **57**(9): 1584-1585.
- , Hamasaki, T. & Nakajima, H. 1981. Isolation, identification and biological-activities of 8-o-methyl-javanicin produced by *Fusarium solani*. *Agr. Biol. Chem.* **45**(11): 2653-2654.
- , Mizuno, T., Nakajima, H. & Hamasaki, T. 1992a. Altechromone-a and altechromone-b, new plant-growth regulators produced by the fungus, *Alternaria sp.* *Biosci. Biotech. Bioch.* **56**(10): 1664-1665.
- , Nakajima, H. & Hamasaki, T. 1989a. Structure of rosellichalasin, a new metabolite produced by *Rosellinia necatrix*. *Agr. Biol. Chem.* **53**(6): 1699-1701.
- , Nakajima, H., Hamasaki, T., Sugawara, F., Parkanyi, L. & Clardy, J. 1989b. Pinthunamide, a new tricyclic sesquiterpene amide produced by a fungus, *Ampulliferina sp.* *Tetrahedron Lett.* **30**(10): 1267-1270.
- , Nishibe, M., Nakajima, H. & Hamasaki, T. 1991a. Vulculic acid, a pollen germination inhibitor produced by the fungus, *Penicillium sp.* *Agr. Biol. Chem.* **55**(4): 1137-1138.

- _____, Nishibe, M., Nakajima, H., Hamasaki, T., Shigematsu, N., Sugawara, F., Stout, J. T. & Clardy, J. 1992b. Emeniveol - a new pollen growth inhibitor from the fungus, *Emericella nivea*. *Tetrahedron Lett.* **33**(46): 6987-6990.
- _____, Nishibe, M., Nakajima, H., Hamasaki, T., Shimada, A., Tsuneda, A. & Shigematsu, N. 1991b. Hericerin, a new pollen growth inhibitor from the mushroom *Hericium erinaceum*. *Agr. Biol. Chem.* **55**(10): 2673-2674.
- _____, Shimada, A., Nakajima, H. & Hamasaki, T. 1988b. Structures of naphthoquinones produced by the fungus, *Fusarium sp.*, and their biological-activity toward pollen germination. *Agr. Biol. Chem.* **52**(5): 1253-1259.
- _____, Shiojima, K., Nakajima, H. & Hamasaki, T. 1992c. Structure and biological-activity of plant-growth regulators produced by *Penicillium sp.* *Biosci. Biotech. Bioch.* **56**(7): 1138-1139.
- _____, Tani, K., Kojima, A., Sotoma, G., Okada, K. & Shimada, A. 1996. Cyclo-(L-tryptophyl-L-phenylalanyl), a plant growth regulator produced by the fungus *Penicillium sp.* *Phytochemistry.* **41**(3): 665-669.
- King, T. J., Roberts, J. C. & Thompson, D. J. 1970. Structure of purpurogenone, a metabolite of *Penicillium purpurogenum stoll* an x-ray study. *J. Chem. Soc. Chem. Comm.* **22**: 1499-1502.
- Kinoshita, K., Matsubara, H., Koyama, K., Takahashi, K., Ypshimura, I., Yamamoto, Y., Higuchi, M., Miura, Y., Kinoshita, Y. & Kawai, K. I. 1994. *J. Hattori Bot. Lab.* **75**: 359-364.
- Kobayashi, A., Yata, S., Nino, T. & Kawazu, K. 1987. A new fungal naphthoquinone which stimulates the production of antifungal compounds in alfalfa callus. *Agr. Biol. Chem.* **51**(10): 2857-2860.
- Krohn, K., Bahramsari, R., Flörke, U., Ludewig, K., KlicheSpory, C., Michel, A., Aust, H. J., Draeger, S., Schulz, B. & Antus, S. 1997. Dihydroisocoumarins from fungi: Isolation, structure elucidation, circular dichroism and biological activity. *Phytochemistry.* **45**(2): 313-320.
- Künzler, K. & Eichenberger, W. 1997. Betaine lipids and zwitterionic phospholipids in plants and fungi. *Phytochemistry.* **46**(5): 883-892.
- Kurobane, I., Zaita, N. & Fukuda, A. 1986. New metabolites of *Fusarium-martii* related to dihydrofusarubin. *J. Antibiot.* **39**(2): 205-214.
- Laseter, J. L., Weete, J. D. & Walkinshaw, C. H. 1973. Volatile terpenoids from aeciospores of *Conartium fusiforme*. *Phytochemistry.* **12**(2): 387-390.
- Lawrey, J. D. 1986. Biological role of lichen substances. *Bryologist.* **89**(2): 111-122.
- Lown, J. W. & Sim, S. K. 1976. Studies related to antitumor antibiotics. Cleavage of DNA by streptonigrin analogs and relationship to antineoplastic activity. *Can. J Biochem. Cell B.* **54**(5): 446-452.
- Lumbsch, H. T. 2002. In Kranner, I. C., Beckett, R. P. & Varma, A. K. (eds). "Analysis of Phenolic products in lichens for identification and taxonomy" In protocols in lichemology. pp. 281-295. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- Macias, F.A., Varela, R. V., Torres, A., Molinillo, J. M. G. & Castellano D. 1997. In Macias, F. A. Molinillo, J. M.G., Galindo, J. C. G. & Cutler, H. G. (eds). A science for the future. Vol. I. CAB Publishers, United Kingdom.
- Mahandru, M. M. & Tajbakhsh, A. 1983. Fulgoicin, a new depsidone from the lichen *Fulgensia fulgida* (nyl) szat. *J. Chem. Soc. Perk. Trans I.* **9**: 2249-2251.
- Marante, F. J. T., Castellano, A. G., Rosas, F. E., Aguiar, J. Q. & Barrera, J. B. 2003. Identification and quantitation of allelochemicals from the lichen *Lethariella canariensis*: Phytotoxicity and antioxidative activity. *J. Chem. Ecol.* **29**(9): 2049-2071.
- Marcinkowska, J., Kraft, J. M. & Marquis, L. Y. 1982. Phytotoxic effects of cell-free cultural filtrates of fusarium-solani isolates on virulence, host specificity and resistance. *Can. J. Plant. Sci.* **62**(4): 1027-1035.
- Martin, J. F. & Demain, A. L. 1980. Control of antibiotic biosynthesis. *Microbiol. Rev.* **44**(2): 230-251.
- Mathey, A. 1986. De in situ lichenum investigatione. These Doctorale. Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.
- Medentsev A. G. & Akimenko V. K. 1998. Naphthoquinone metabolites of the fungi. *Phytochemistry.* **47**(6): 935-959.
- Mizuno, T., Saito, H., Nishitoba, T. & Kawagishi, H. 1995. Antitumor-active substances from mushrooms. *Food Reviews Int.* **11**(1): 23-61.
- Naefroth, S. & Kern, H. 1985. Growth and spore formation of a swiss race of *Puccinia graminis* f-sp tritici invitro. *Phytopathol. Z.* **114**(2): 134-148.
- Nagaraj, G., Uma, M. V., Shivayogi, M. S. & Balaram, H. 2001. Antimalarial activities of peptide antibiotics isolated from fungi. *Antimicrobial agents and chemotherapy.* **45**(1): 145-149.
- Namatame, I., Tomoda, H., Arai, M. & Omura, S. 2000. Effect of fungal metabolites cytochalasans on lipid droplet formation in mouse macrophages. *J. Antibiotics.* **53**(1): 19-25.
- Nakajima, H., Fukuyama, K., Kimura, Y. & Hamasaki, T. 1992. Absolute stereochemistry of neovasinin, a phytotoxin produced by the fungus, *Neocosmospora vasinfecta*. *Biosci. Biotech. Bioch.* **56**(7): 1138-1139.
- Nakajima, H., Shimomura, K., Furumoto, T. & Hamasaki, T. 1996. Neovasipyridones related to neovasinin, a phytotoxin of the fungus *Neocosmospora*. *Phytochemistry.* **43**(5): 1015-1017.
- Nakanishi, T., Murata, H., Inatomi, Y., Inada, A., Murata, J., Lang, F. A., Yamasaki, K., Nakano, M., Kawahata, T., Mori, H. & Otake, T. 1998. Screening of anti-HIV-1 activity of north American plants. Anti-HIV-1 activities of plant extract, and active components of *Lethalia vulpine* (L.) Hue. *Natural Medicines.* **52**(6): 521-526.
- Neamati, N., Hong, H., Mazumder, A., Wang, S., Sunder, S., Nickalus, M. C., Milne, G. W. A., Proksa, B. & Pommier, Y. 1997. Depsides and Depsidones as Inhibitors of HIV-1 Integrase: Discovery of Novel Inhibitors through 3D Database Seaching. *J. Med. Chem.* **40**(6): 942-951.
- Nemec, S. Baker, R. A. & Tatum, J. H. 1988. Toxicity of dihydrofusarubin and isomarticin from *Fusarium solani* to citrus seedlings. *Soil. Biol. Biochem.* **20**(4): 493-499.

- Nishitoba, Y., Nishimura, H., Nishiyama, T. & Mizutani, J. 1987. Lichen acids, plant-growth inhibitors from *Usnea longissima*. *Phytochemistry*. **26**(12): 3181-3185.
- Nukina, M. & Marumo, S. 1977. Radicinol, a new metabolite of *Cochliobolus lunata*, and absolute stereochemistry of radicinin. *Tetrahedron Lett.* **37**: 3271-3272.
- Parisot, D., Devys, M. & Barbier, M. 1990. Naphthoquinone pigments related to fusarubin from the fungus *Fusarium solani* (mart) sacc. *Microbios*. **64**(258): 31-47
- _____, Maugin, M. & Gerlinger, C. 1981. Genetic and epigenetic factors involved in the excretion of naphthoquinone pigments into the culture-medium by *Nectria haematococca*. *J. Gen Microbiol.* **126**: 443-457.
- Peipp, H., Maier, W., Schmidt, J., Wray, V. & Strack, D. 1997. Arbuscular mycorrhizal fungus-induced changes in the accumulation of secondary compounds in barley roots. *Phytochemistry*. **44**(4): 581-587.
- Piattelli, M & DeNicola, M. G. 1968. Anthraquinone pigments from *Xanthoria parietina* (L). *Phytochemistry*. **7** (7): 1183-1187.
- Plattner, R. D. 1986. In Cole, R. J. (ed). *Modern methods in the analysis and structural elucidation of mycotoxins*. pp. 393-414. Academic Press, Orlando, Florida.
- Rancan, F., Rosan, S., Boehm, F., Piazena, H. & Oltmanns, U. 2002. Protection against UVB irradiation by natural filters extracted from lichens. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*. **68**(2-3): 133-139.
- Rebordinos, L., Cantoral, J. M., Prieto, M. V., Hanson, J. R. & Collado, I. G. 1996. The phytotoxic activity of some metabolites of *Botrytis cinerea*. *Phytochemistry*. **42** (2): 383-387.
- Rezanka, T. & Dembitsky, V. 1999. Novel brominated lipidic compounds from lichens of Central Asia. *Phytochemistry*. **51**(8): 963-968.
- Rice, E. L. 1979. Allelopathy – update. *Bot. Rev.* **45**: 15-109
- Romagni, J. G. & Dayan, F.E. 2002. In Upadhyay, R. K. (ed) *Structural diversity of lichen metabolites and their potential use* In *Advanced in Microbial toxin research and its biotechnological exploitation*. pp. 151-169. Kluwer Academic, New York.
- _____, Rosell, R. C., Nanayakkara, N. P. D. & Dayan, F. E. 2004. In Macias, F. A. (ed.). *Ecophysiology and potential modes of action for selected lichen secondary metabolites. In allelopathy*. pp. 13-33. CRC press LLC, Boca Raton, Fla.
- Rundel, P. W. 1978. Ecological role of secondary lichen substances. *Biochem. Syst. Ecol.* **6**(3): 157-170.
- Rycroft, D.S., Connolly, J. D., Hüneck, S. & Himmelreich, U. 1995. Revised structure of haemomentosin. *Z. Naturforsch. B.* **50**(10): 1557-1563.
- Saengchantara, S.T., & Wallace, T.W. 1986. Chromanols, chromanones and chromones. *Nat. Prod. Rep.* **3**(5): 465-475.
- Sakamura, S., Ichihara, A. & Yoshihara, T. 1988. In Cutler, H. G. (ed.). *Biologically Active Natural Products, Potential use in Agriculture*, pp. 57-63. American Chemical Society Symposium Series 380. Washington DC.
- Schulz, B., Sucker, J., Aust, H. J., Krohn, K., Ludewig, K., Jones, P. G., & Doring, D. 1995. Biologically-active secondary metabolites of endophytic *Pezizula* species. *Mycol. Res.* **99**: 1007-1015.
- Shibamoto, T. & Wei, C. I. 1984. Mutagenicity of lichen constituents. *Environ. Mutagen.* **6**(5): 757-762.
- Shibuya, M., Ebizuka, Y., Noguchi, H., Iitaka, Y. & Sankawa U. 1983. Inhibition of prostaglandin biosynthesis by 4-O-methylcryptochlorophaeic acid synthesis of monomeric arylcarboxylic acids for inhibitory activity testing and x-ray-analysis of 4-o-methylcryptochlorophaeic acid. *Chem. Pharm. Bull.* **31**(2): 407-413.
- Shimada, S., Saitoh, T., Namiki, Y., Sankawa, U. & Shibata, S. 1980. New siphulin derivatives from the lichen *Siphula ceratites*. *Phytochemistry*. **19**(3): 467-469.
- Shukla, Y. N., Tandon, J. S., Bhakuni, D. S. & Dhar, M. M. 1971. Naphthaquinones of *Arnebia nobilis*. *Phytochemistry*. **10**(8): 1909-1911.
- Singh, P. & Anchel, M. 1971. Metabolic products of *Clitocybe-illudens*. 8. Atromentic acid from *Clitocybe illudens*. *Phytochemistry*. **10**(12): 3259-3261
- Sinha, S. C. & Keinan, E. 1994. Short synthesis of (+)-aspicilin via asymmetric hexahydroxylation of a triene. *J. Org. Chem.* **59**(5): 949-951.
- Smith J. E., Rowan, N. J. & Sullivan, R. 2002. Medicinal mushrooms: a rapidly developing area of biotechnology for cancer therapy and other bioactivities. *Biotechnology Letters*. **24**: 1839-1845.
- Smith, M. T., Evans, C. G., Thor, H. & Orrenius, S. 1985. In *Oxidative Stress*. Academic Press, London.
- Solberg, Y. J. 1986. Chemical constituents of the lichen species *Cetraria islandica*. *J. Hattori Bot. Lab.* **60**:391-406.
- Soledae, M. & Pedras, C. 2001. Phytotoxins from fungi causing blackleg disease on crucifers: isolation, structure determination, detection, and phytotoxic activity. *Recent. Res. Devel. Phytochem.* **5**: 109-117.
- Stark, A. A., Kobbe, B., Matsuo, K., Büchi, G., Wogan, G. N. & Demain, A. L. 1978. Mollicellins - mutagenic and antibacterial mycotoxins. *Appl. Environ. Microbiol.* **36**(3): 412-420.
- Steglich, W. & Reininge, W. 1970. A synthesis of endocrocin, endocrocin-9-anthrone, and related compounds. *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* **3**: 178.
- Stoessl, A. 1981. In Durbin, R. B. (ed). *Toxins in plant disease*. Academic Press, New York.
- Stuel-Campelo, P. Ma., De Oliveira, M. B. M., Leao, A. M. A. C., Carbonero, E. R., Gorin, P. A. J. & Lacomini, M. 2002. Effect of a soluble α -D-glucan from the lichenized fungus *Ramalina celastri* on macrophage activity. *Int. Immunopharmacol.* **2**(5): 691-698.
- Sugawara, H., Kasuya, A., Iitaka, Y. & Shibata, S. 1991. Further studies on the structure of retigeranic acid. *Chem. Pharm. Bull.* **39**(11): 3051-3054.
- Tabacchi, R. & Tsoupras, G. 1987. The chemical composition of *Letharia vulpina* (L.). *Bibli. Lichenol.* **25**: 475-480.

- Takai, M., Uehara, Y. & Beisler, J. A.** 1979. Usnic acid-derivatives as potential anti-neoplastic agents. *J. Med. Chem.* **22**(11): 1380-1384.
- Tatum, J. H., Baker, R. A. & Berry, R. E.** 1987. Naphthofurans produced by *Fusarium oxysporum* isolated from citrus. *Phytochemistry*. **26**(9): 2499-2500.
- Thomson, R. H.** 1971. Naturally Occurring Quinones. Academic Press, London.
- Trifonov, L. S., Chakravarty, P., Hiratsuka, Y. & Ayer, W. A.** 1992. Antifungal activity of metabolites of *Peniophora polygonia* against the aspen decay fungus *Phellinus tremulae*. *Eur. J. Forest. Pathol.* **22**(6-7): 441-448.
- Tsavelova, E. A., Cherdintseva, T. A. & Netrusov, A. J.** 2003. Synthesis of phytohormones by fungi associated with orchids. *Mikologiya I fitopatologiya*. **37**(5): 75-83.
- Turner, W. B. & Aldridge, D. C.** 1983. Fungal Metabolites II. Academic Press, London
- . 1971. Fungal Metabolites. Academic Press, London.
- Umezawa, K., Muramatsu, S., Ishizuka, M., Sawa, T., Takeuchi, T. & Matsushima, T.** 1983. Inhibition of histidine-decarboxylase and tumor promoter-induced arachidonic-acid release by lecanoric acid analogs. *Biochem. Bioph. Res. Commun.* **110**(3): 733-739.
- Vinning, L. C.** 1985. Antibiotic biosynthesis. *Biotechnol. Adv.* **3**(2): 171-194.
- Vogel, F. S., Kemper, L. A. K., McGarry, S. J. & Graham, D. G.** 1975. Cytostatic, cytotoxic and potential antitumor properties of a class of quinoid compounds, initiators of dormant state in spores of *Agaricus bisporus*. *Am. J. Pathol.* **78**(1): 33-48.
- Wasser S. P. & Weis, A. L.** 1999. Therapeutic effects of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms: a modern perspective. *Critical Rev. in Immunology*. **19**: 65-96.
- Watts, P., Kittakoop, P., Veeranondha, S., Wanasith, S., Thongwichian, R., Saisaha, P., Intamas, S. & Hywel-Jones, N. L.** 2003. Cytotoxicity against insect cells of entomopathogenic fungi of the genera *Hypocrealla* (anamorph *Aschersonia*): possible agents for biological control. *Mycol. Res.* **107**(5): 581-586.
- Werner, R. G., Appel, K. R. & Merck, W. M. A.** 1979. Gunacin, a new quinone antibiotic from *Ustilago sp.* *J. Antibiot.* **32**(11): 1104-1111.
- Whiton, J. C. & Lawrey, J. D.** 1982. Inhibition of *Cladonia cristatella* and *Sordaria fimicola* ascospore germination by lichen acids. *Bryologist.* **85**(2): 222-226.
- Whiton, J. C. & Lawrey, J. D.** 1984. Inhibition of crustose lichen spore germination by lichen acids. *Bryologist.* **87**(1): 42-43.
- Yamamoto, Y., Miura, Y., Higuchi, M., Kinoshita, Y. & Yoshimura, I.** 1993. Using lichen tissue-cultures in modern biology. *Bryologist.* **96**(3): 384-393.
- , **Nishimura, K. I. & Kiriya, N.** 1976. Studies on metabolic products of *Aspergillus terreus* .1. Metabolites of strain ifo 6123. *Chem. Pharm. Bull.* **24**(8): 1853-1859.
- Yang, B., Ye, J., Bao, H., Liu, J. & Dong, Z.** 2002. Study on phytotoxic activity of LA-I and La-II produced by brown spot needle blight fungus *Lecanosticta acicola*. *Linze Kexue.* **38**(4): 84-88.
- Yang, D. M., Takeda, N., Itaka, Y., Sankawa, U. & Shibata, S.** 1973. Structures of eumitrins A1, A2 and B yellow pigments of lichen, *Usnea bayleyi*. *Tetrahedron.* **29**(3): 519-528.

Recibido el 20 de octubre de 2003

Aceptado para su publicación el 2 de julio de 2004

ECOLOGÍA TRÓFICA DE LA CARRURA *BAIRDIELLA RONCHUS* (PISCES: SCIAENIDAE) EN LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO

por

Liliana Torres Castro*, Arturo Acero & Adriana Santos-Martínez*****

Resumen

Torres, L., A. Acero & A. Santos: Ecología trófica de la Carrura *Bairdiella ronchus* (Pisces: Sciaenidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 529-534, 2004. ISSN: 0370-3908.

El trabajo se realizó en la Ciénaga Grande de Santa Marta en cuatro estaciones de muestreo en el período de febrero 1993 a enero 1994. Se capturaron en total 890 individuos de *Bairdiella ronchus* (Cuvier), en su gran mayoría con atarraya mediante el método de corral. Los rangos de tallas variaron entre 66 y 231 mm de longitud total y 3.5 a 156.2 g de peso total. Esta especie es típica estuarina, se distribuye en salinidades comprendidas entre 7.3 y 37.3 y se caracteriza como carnívora, y consumidor de tercer orden, pues se alimenta principalmente de peces y crustáceos (decápodos). De acuerdo con el índice de importancia relativa los peces son el alimento principal y los crustáceos el alimento secundario; durante la época seca consume principalmente peces y en época de lluvia crustáceos. Los juveniles y adultos se alimentan tanto de peces como de crustáceos.

Palabras clave: *Bairdiella ronchus*, alimento, peces, crustáceos.

Abstract

Between February 1993 and January 1994 a total of 890 individuals of *Bairdiella ronchus* (Cuvier) were captured in four sampling stations in the Ciénaga Grande de Santa Marta. Most

* Colegio de la Frontera Sur, Ecosur. Calle 10 X 61 # 264. Campeche 24000, Campeche. México. Email: lilytorres90@hotmail.com

** Universidad Nacional de Colombia (Instituto de Ciencias Naturales), Apartado 1016 (INVEMAR), Santa Marta, Colombia. Email: aacero@invemar.org.co

*** Instituto de Estudios Caribeños, Universidad Nacional de Colombia, San Luis, Free Town. San Andrés, Colombia. E-mail: asantosm@yahoo.com

individuals were caught with casting nets, using the "corral" artisan method. Fish sizes and weights varied between 66 and 231 mm total length and between 3.5-156.2 g total weight, respectively. The species is typically estuarine, distributed in salinities between 7.3 and 37.3. *Bairdiella ronchus* was characterized as being a third order consumer (carnivorous), because it feeds mainly on fishes and crustaceans (decapods); according to the relative importance index, fishes are a food of principal importance, while crustaceans are a food of second importance; during the dry season this species chiefly eats fishes, and during the rainy season it feeds on crustaceans. The young and old fishes feed on both fishes and crustaceans.

Key words: *Bairdiella ronchus*, food, fishes, crustaceans.

Introducción

Bairdiella ronchus (Cuvier) es un pez óseo perteneciente a la familia Sciaenidae que se distribuye en zonas costeras, estuarinas y de manglar del Golfo de México, Antillas, Mar Caribe y costa Atlántica de América del Sur hasta el Brasil. Es un pez de tallas pequeñas y medianas, habita en fondos someros arenosos o fangosos, y es carnívoro (Chao, 1978; Cervigón *et al.*, 1992; Cervigón, 1993). Esta especie es típica estuarina con una amplia distribución en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), Colombia (Torres *et al.*, 1999). En la actualidad representa un importante recurso pesquero para los habitantes de la región, sin que existan hasta el momento investigaciones que aporten información sobre algunos aspectos de su ecología como la composición de su dieta.

Son pocos los trabajos que se conocen sobre el espectro alimentario de *B. ronchus*. Entre ellos se encuentran los de Nieto (1978) en la plataforma cubana, donde se clasificó a *B. ronchus* como una especie carnívora, que se alimenta principalmente de crustáceos, siguiendo en su orden de importancia los peces, Amezcua-Linares & Yáñez-Arancibia (1980) & Vargas *et al.* (1981) en la Laguna de Términos México, clasificaron la especie como un consumidor de segundo orden y Castaño (1989) en la CGSM, observó que esta especie es carnívora, (en un total de 14 ejemplares) porque consume un gran porcentaje de peces y decápodos. El presente estudio tiene como finalidad describir la dieta de *B. ronchus* considerando los aspectos cualitativos y cuantitativos de los contenidos estomacales, relacionándolo con la salinidad, siendo uno de los factores abióticos más importantes que caracteriza las épocas climáticas seca y lluviosa.

Área de estudio

El estudio se realizó en la CGSM, situada en la costa colombiana del Caribe (NW del Dpto. Magdalena, plano deltaico del río Magdalena). La CGSM se caracteriza por ser un ecosistema lagunar-estuarino, con un área aproxi-

mada de 450 km² (10° 43'-11° 00' N y 74° 15'-74° 30' W). Este sistema recibe aportes de agua dulce de los ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta (Sevilla, Frío, Aracataca y Fundación) y del río Magdalena, el cual se une a un complejo de canales y ciénagas llamado Pajarales, que se comunica con la Ciénaga por los caños Grande y Clarín (figura 1). La región presenta dos períodos climáticos secos (mayor: diciembre-abril, menor: julio-agosto) y dos lluviosos (mayor: septiembre-noviembre, menor: mayo-junio) (IGAC, 1973).

Materiales y métodos

La toma de las muestras se realizó entre febrero de 1993 a enero de 1994, en cuatro estaciones en la CGSM: Boca de la Barra (10° 59.2' N y 74° 17.5' W), Río Fundación (10° 43.9' N y 74° 25.6' W), Caño Grande (10° 50.4' N y 74° 28.8' W) y Caño Clarín (10° 57.7' N y 74° 29.7' W). En cada estación se tomó la temperatura, la salinidad a tres profundidades (fondo, mitad de la columna y superficie), la transparencia y la profundidad.

Las muestras se recolectaron semanalmente (cuatro salidas mensuales) utilizando una atarraya grande (ojo de malla de 3.5 cm y diámetro aproximado de 8 m), una pequeña (ojo de malla de 2.5 cm y diámetro 4 m) y una red de arrastre de fondo (90 cm de ancho, 34 cm de largo y 7 mm de ojo de malla). Adicionalmente, se compraron ejemplares a los pescadores del área quienes emplean el método del corral y el boliche.

Los contenidos estomacales de 890 individuos, con longitudes de 66.4 a 231.3 mm LT, fueron inyectados con formol al 5% por el ano directamente en el campo, para detener en forma definitiva los procesos digestivos, una vez fijados los contenidos estomacales los individuos fueron introducidos en una nevera de icopor con hielo para ser transportados. En el laboratorio del INVEMAR fueron conservados en alcohol etílico al 70% y analizados posteriormente. Todos los organismos presentaron un estómago bien diferenciado, siendo este la única parte estudiada.

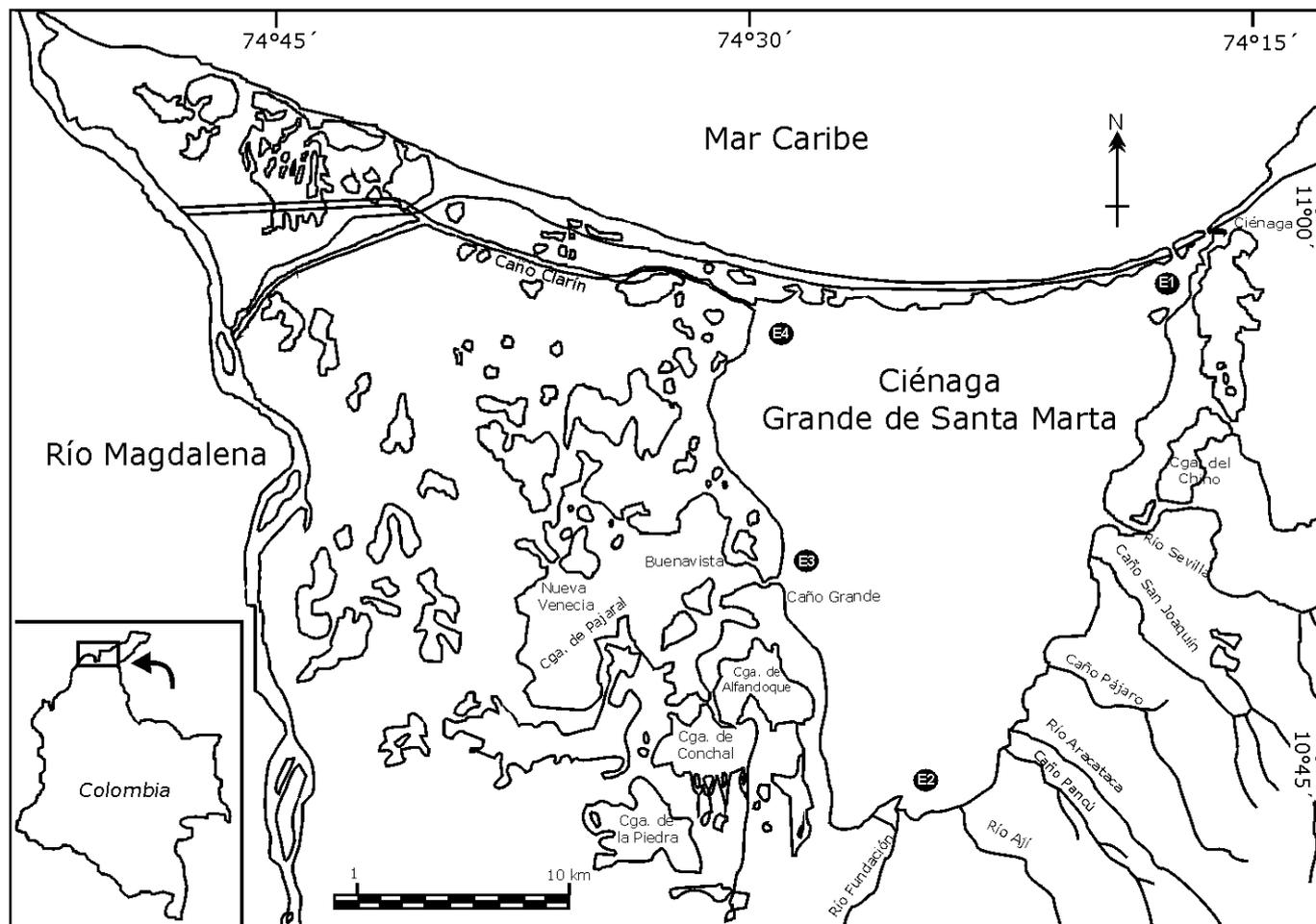


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo: E1: Boca de la Barra; E2: Desembocadura del Río Fundación; E3: Caño Grande; E4: Caño Clarín.

En cada estómago se observó el grado de repleción y digestión, clasificándolos según las categorías cualitativas presentadas por **Hyslop (1980) & Laevastu (1980)** en grado de repleción: I: Vacío, II: Casi vacío, III: Medio lleno, IV: Lleno; y grado de digestión: I: Fresco, II: Medio digerido, III: Digerido. Las determinaciones fueron de carácter visual y a criterio del investigador. Lo anterior se realizó con el fin de poder determinar con mayor exactitud la hora en que se alimenta la especie.

Para la parte cuantitativa se tuvieron en cuenta solo los ejemplares que presentaron repleción gástrica mayor o igual al grado III. La cuantificación se realizó de acuerdo con **Hyslop (op. cit.)**. Las presas completas o partes de ellas se separaron por categorías alimentarias y se identificaron hasta el nivel taxonómico más bajo posible, utilizando una estereolupa y/o un microscopio. Posteriormente

los organismos fueron contados (se contaron los individuos completos) y se tomó el peso húmedo de cada una de las presas empleando una balanza eléctrica Mettler AE 200 de 0.001 g de precisión.

Dentro de la fase analítica se determinaron los porcentajes numérico (Nr), de frecuencia de ocurrencia (Fr) y gravimétrico (Gr) propuestos por **Chavance et al. (1984)**, así como el índice de importancia relativa (IIR), modificado por **Yáñez-Arancibia et al. (1985)**, que permite determinar la importancia de un grupo trófico dentro de la alimentación de cada especie.

Finalmente, se realizó una gráfica con el IIR y los porcentajes de frecuencia y gravimétrico, para inferir la preferencia de la especie por los diferentes ítems alimentarios, en la relación a tres cuadrantes: I = (ABCD), zona de los

grupos tróficos circunstanciales o ocasionales; II = (DEFG), zona de los grupos tróficos secundarios, III = (HIJK), zona de los grupos tróficos principales o preferenciales (Yáñez-Arancibia *et al. op.cit.*).

Resultados

El grado de repleción (30% presentó grado de repleción vacío, 34.0% casi vacío, 27.8% medio lleno y el 8.2% lleno) y digestión (30% no presentó alimento, 11.4% estaba fresco, 35.0% medio digerido y el 24.0% digerido), en que se encontraron los 890 de estómagos analizados nos indica que esta especie se alimenta de preferencia en las primeras horas de la mañana y disminuye su actividad hacia las horas de la tarde.

A nivel numérico el mayor porcentaje correspondió a los crustáceos. De éstos, los decápodos (93.1%) fueron la gran mayoría, con las especies *Eurypanopeus depressus* (68.9%), *Panopeus* sp. (8.7%) de la familia Xanthidae y *Petrolisthes armatus* (15.5%) de la familia Porcellanidae. Además, se identificó una especie de camarón *Penaeus* sp. (1.9%). Los peces fueron las presas más frecuentes (Fr = 53.9%), identificándose dos familias Ariidae y Mugilidae con las especies *Cathorops spixi* y *Mugil* sp. respectivamente. El mayor porcentaje en peso (Gr) también lo obtuvo este grupo con el 56.4%, colocando este ítem alimentario en un nivel importante dentro de la dieta de esta especie.

El IIR mostró un mayor preferencia de la especie para consumir peces (restos de peces) siendo el alimento principal y/o preferencial (cuadrante HIJK), y los crustáceos el alimento secundario con la especie *E. depressus* (cuadrante DEFG). Como alimento ocasional se encontró a los penaeidos, la materia orgánica no determinada, entre otros (cuadrante ABCD) (figura 2). De acuerdo con lo anterior, el IIR indica que *B. ronchus* se caracteriza por ser un consumidor de tercer orden, carnívoro, siguiendo las categorías ictiotróficas presentadas por Yáñez-Arancibia (1978), que basa su dieta principalmente en peces y crustáceos (decápodos y esporádicamente penaeidos).

El IIR también demostró que existe una variación en el tipo de alimento consumido dependiendo de la época climática. El grupo alimentario más importante en época seca (alta salinidad) fue el de los peces y en época de lluvias (baja salinidad) el de los crustáceos, como se observa en la figura 3.

Al realizar el análisis del espectro trófico por estación de muestreo los ítems con el mayor IIR fueron los peces en las estaciones de Caño Grande y río Fundación constituyendo el alimento secundario. Mientras que los crustá-

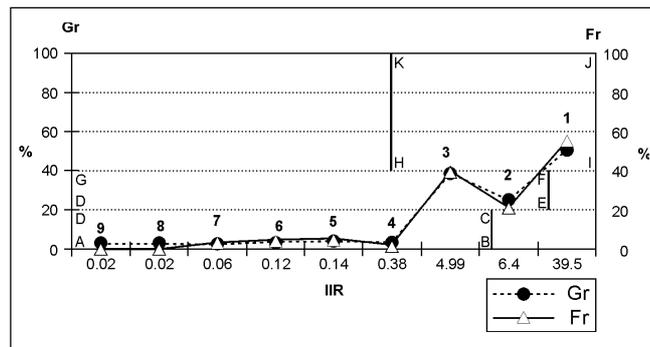


Figura 2. Índices de importancia relativa de los alimentos consumidos por *Bairdiella ronchus*. Categorías tróficas: 1= restos de peces, 2= *E. depressus*, 3= restos de crustáceos, 4= *C. spixi*, 5= *P. armatus*, 6= materia orgánica, 7= *Panopeus* sp., 8= *Penaeus* sp. 9= *Mugil* sp. Gr= porcentaje gravimétrico, Fr= porcentaje de frecuencia.

Cuadrantes: I= (ABCD) zona de los grupos tróficos circunstanciales o ocasionales, II= (DEFG) zona de los grupos tróficos secundarios, III= (HIJK) zona de los grupos tróficos principales o preferenciales.

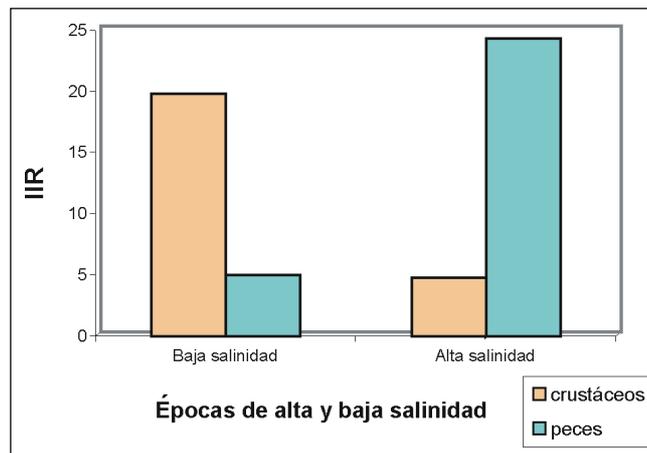


Figura 3. Índice de importancia relativa (IIR) de *Bairdiella ronchus* en épocas de baja y alta salinidad.

ceos representaron el alimento ocasional en tres de las cuatro estaciones de muestreo, excepto en Caño Clarín donde fueron el alimento secundario (figura 4).

Discusión

Algunas características sobre la alimentación del siaénido *B. ronchus* fueron presentadas por Nieto (*op. cit.*) en su estudio sobre la plataforma cubana, donde afirmó que esta especie se alimenta más intensamente en horas de la mañana, disminuyendo su intensidad a medida que avanza el día, lo que corrobora nuestras observaciones con respecto al grado de repleción (30% estómagos vacíos y

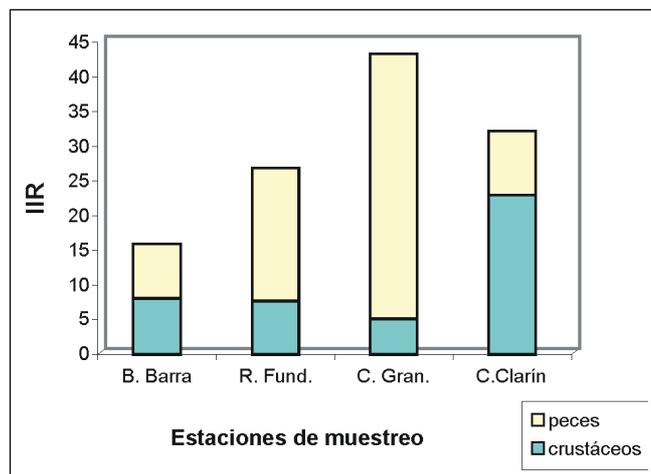


Figura 4. Índice de importancia relativa (IIR) de *Bairdiella ronchus* por estación de muestreo.

34% casi vacíos) y digestión (30% no presentaron alimento y 24% el alimento estaba digerido), en el que se encontraron los 890 estómagos analizados de *B. ronchus*, ya que, por lo general los muestreos se realizaron entre las 10:00 h a 16:00 h período en el cual la especie disminuye el consumo de alimento, en comparación con algunos muestreos realizados entre las 5:00 h a 7:00 h donde se presentó una mayor proporción de estómagos con un grado de repleción III y IV, y un grado de digestión I y II. **Castaño** (*op. cit.*) en la CGSM registro que el 40% de los ejemplares capturados de *B. ronchus*, presentaron una repleción gástrica en grado mayor o igual a III (medio lleno), entre las 10:00 h a 16:00 h. Pero hay que tener en cuenta que la muestra analizada fue muy pequeña (14 individuos).

Por otra parte, **Nieto** (*op. cit.*) comparó la dieta de *B. ronchus* entre los períodos de lluvia y sequía, observando un predominio del grupo de los crustáceos: anfípodos y decápodos respectivamente. **Castaño** (*op. cit.*) confirmó el carácter ictiófago de la especie durante las épocas lluviosas y seca. Estas observaciones difieren con los resultados hallados en este trabajo, ya que en la época seca (alta salinidad) el alimento más importante fueron los peces y en época de lluvia (baja salinidad) fueron los crustáceos. De lo anterior se confirma que *B. ronchus* presenta un régimen alimentario variado, compuesto por organismos neotónicos como los peces de las familias Ariidae y Mugilidae y organismos bentónicos principalmente crustáceos de la familia Xanthidae y Porcellanidae. **Vazzoler** (1975) estudio los hábitos alimentarios de varias especies de sciaénidos y observó que la dieta estaba compuesta también por fauna bentónica.

La combinación del índice de IIR y de los porcentajes de frecuencia (Fr) y gravimétrico (Gr) en una gráfica (figura 2), permitió realizar una mejor análisis del patrón de alimentación de la especie, ya que, resulta ser un método útil para inferir la preferencia sobre ciertos alimentos específico, puesto que puede ocurrir que numerosos organismos pequeños opaquen la importancia relativa de otros organismos de mayor tamaño **Yáñez-Arancibia et al.** (*op. cit.*), siendo los porcentajes de frecuencia y gravimétrico los parámetros más importantes en la alimentación de los peces. En tanto el porcentaje numérico (N), por ser un método que cuantifica unidades le otorga el mismo valor a un foraminífero que a un camarón o un pez, resultando poco preciso. Este método requiere de un complemento gravimétrico y de frecuencia (**Yáñez-Arancibia et al.** *op. cit.*). Por esto, es conveniente usar más de un método de análisis para obtener datos más precisos cuando las presas son de diferentes tamaños y presentan por lo general un grado de digestión medio digerido o digerido, como ocurrió en este trabajo. Corroborando a **Yáñez-Arancibia et al.** (*op. cit.*) quienes afirmaron que la velocidad digestiva de las distintas presas distorsiona las medidas gravimétricas y la frecuencia de ocurrencia. **Silva & Stuardo** (1985) afirmaron que la importancia de una presa no sólo depende del peso y número sino también, con que frecuencia ocurre en distintos ejemplares del predador y el uso del método numérico no parece adecuado cuando las presas son de distintos tamaños.

De acuerdo con las observaciones y los análisis realizados la alimentación de *B. ronchus* estuvo constituida por dos grupos tróficos principales: peces y crustáceos, indicando que esta especie es carnívora y un consumidor de tercer orden, corroborando lo encontrado por **Nieto** (*op. cit.*) en la plataforma cubana y **Castaño** (*op. cit.*) en la CGSM. Sin embargo, estudios realizados por **Amezcu-Linares & Yáñez-Arancibia** (*op. cit.*), **Vargas et al.** (*op. cit.*) en la Laguna de Términos al sureste del Golfo de México, señalan a esta especie como consumidor de segundo orden. Lo anterior indica que *B. ronchus* varía su dieta alimentaria dependiendo de la disponibilidad de alimento del medio donde habita, incluyendo algunos vegetales o detritus de manera ocasional y/o consumiendo peces y crustáceos de manera preferencial, presentando una dieta bento-neotónica.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Colombiano para el Desarrollo de Ciencias y Tecnología “Francisco José de Caldas” COLCIENCIAS y al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras de Punta Betún “José Benito Vives de Andreis” INVEMAR, por el apoyo económico y logístico.

Agradecemos también a las personas que ayudaron con sus aportes para la ejecución del trabajo, especialmente a Alvaro Gerardo Palacio, Ernesto Mancera, Carlos Medina y Emperatriz Zapata.

Bibliografía

- Amezcu-Linares, F. & A. Yáñez-Arancibia.** 1980. Ecología de los sistemas fluviolagunares asociados a la Laguna de Términos: el hábitat y estructura de las comunidades de peces. An. Inst. Cien. Mar Limnol. UNAM 7(1): 69-118.
- Castañó, T. L.** 1989. Hábitos alimentarios de los peces de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 160 p.
- Cervigón, F.; R. Cipriani; W. Fischer; L. Garibaldi; M. Hendrickx; A. Lemus; R. Márquez; J. Poutiers; G. Robaina & B. Rodríguez.** 1992. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de las aguas salobres de la costa septentrional de Sudamérica. FAO, CCE y NORAD, Roma, 513 p.
- Cervigón, F.** 1993. Los peces marinos de Venezuela, volumen II. Editorial Fundación Científica Los Roques, Caracas, 497 p.
- Chao, L. N.** 1978. A basis for classifying western Atlantic Sciaenidae (Teleostei:Perciformes). U.S. Dep. Commer., NOAA. Tech. Rep. NMFS Circ. 415: 1-64.
- Chavance, P.; D. Flores; A. Yáñez-Arancibia & F. Amezcua.** 1984. Ecología, biología y dinámica de las poblaciones *Bairdiella chrysoura* en la Laguna de Términos, sur del Golfo de México (Pisces: Sciaenidae). An. Inst. Cien. Mar Limnol. UNAM 11(1): 123-162.
- Hyslop, E. J.** 1980. Stomach contents analysis - a review of methods and their application. J. Fish. Biol. 17: 411-429.
- IGAC.** 1973. Monografía del Departamento del Magdalena. Inst. Geog. "Agustín Codazzi", Bogotá, 162 p.
- Laevastu, T.** 1980. Manual y métodos de biología pesquera. Editorial Acribia, Madrid, 243 p.
- Nieto, E.** 1978. Alimentación de *Bairdiella ronchus* (Cuvier) (Pisces: Sciaenidae) en dos áreas de la plataforma cubana. Inves. Marinas Univ. Habana 8(38):13-28.
- Puig, P.** 1986. Análisis de contenidos estomacales de corvina blanca (*Micropogon opercularis*) (Sciaenidae, Perciformes). Verano 1984. Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Mar. 1(2): 333-340.
- Silva, M. & J. Stuardo.** 1985. Alimentación y relaciones tróficas generales entre algunos peces demersales y el bentos de la Bahía de Coliumo (Provincia de Concepción, Chile). Gayana Zool. 49(3-4):77-102.
- Torres, L.; A. Santos-Martínez & A. Acero P.** 1999. Reproducción de *Bairdiella ronchus* (Pisces: Sciaenidae), en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Rev. Biol. Trop. 47(3):553-560.
- Vargas, M.; A. Yáñez-Arancibia & F. Amezcua-Linares.** 1981. Ecología y estructura de las comunidades de peces en áreas de *Rhizophora mangle* y *Thalassia testudinum* de la Isla de Carmen, Laguna de Términos, Sur del Golfo de México. An. Inst. Cien. Mar Limnol. UNAM 8(1):241-266.
- Vazzoler, G.** 1975. Distribuição da fauna de peixes demersais e ecologia de Sciaenidae de plataforma continental brasileira entre as latitudes 29°21'S (Torres) e 33°44'S (Chui). Bolm. Inst. Oceanogr., S. Paulo, 24: 85-169.
- Yáñez-Arancibia, A.** 1978. Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en lagunas costeras del Pacífico de México. An. Inst. Cien. Mar Limnol. UNAM 5(1): 285-306.
- Yáñez-Arancibia, A.; A. L. Lara-Dominguez; A. Aguirre León; S. Díaz Ruiz; F. Amezcua-Linares; D. Flórez Hernández & P. Chavance.** 1985. Ecología de poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: Factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la producción: 311-365. En A. Yáñez-Arancibia (ed.): Ecología de comunidades de peces en estuarios y lagunas costeras. U NAM, México, D.F.

Recibido el 19 de mayo de 2003

Aceptado para su publicación el 2 de julio de 2004

EFFECTO DEL CADMIO Y EL COBRE SOBRE EL FLUJO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA INTERFASE AGUA-SEDIMENTO EN UNA LAGUNA COSTERA TROPICAL

por

Maribeb Castro-González¹ & Néstor Hernando Campos²

Resumen

Castro-González, M. & N. H. Campos: Efecto del cadmio y el cobre sobre el flujo de nitrógeno y fósforo en la interfase agua-sedimento en una laguna costera tropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **28** (109): 535-543, 2004. ISSN: 0370-3908.

Se determinó el efecto del cadmio y el cobre sobre la circulación de amonio, nitrito y ortofosfato entre el sedimento y la columna de agua en la laguna costera tropical Ciénaga Grande de Santa Marta en el Caribe Colombiano; en el laboratorio se incubaron núcleos de sedimento tomados en dos sitios de muestreo con características contrastantes de salinidad, contenido de materia orgánica total y granulometría; durante cuatro períodos de muestreo, entre 1996 y 1997. El cadmio afectó los procesos de amonificación y de nitrificación en la mayoría de las épocas para los dos sitios de muestreo; el cobre afectó levemente la desnitrificación en río Sevilla, y el flujo de ortofosfatos no fue afectado por la adición de metales. Por otra parte, la densidad bacterial determinada en los sedimentos estuvo estrechamente relacionada con la salinidad, el contenido de materia orgánica, el tipo de sedimento y los flujos de nutrientes inorgánicos en la interfase agua-sedimento.

Palabras clave: metales, flujos, nutrientes, contaminación, lagunas costeras.

Abstract

In this work the effect of cadmium and copper addition over the ammonium, nitrite and orthophosphate fluxes between the sediment and water column of the Ciénaga Grande de Santa Marta were analyzed in the Colombian Caribbean. The experiments were carried out in the laboratory with cores of sediment taken in two sampling sites with different characteristics of salinity, organic

¹ Universidad de Concepción, Dpto. Oceanografía maribecas@udec.cl

² ICN-Universidad Nacional de Colombia - INVEMAR, A. A. 1016, Santa Marta, Colombia. nhcampos@ciencias.unal.edu.co

matter contents and type of sediment, during four periods between 1996 and 1997. The cadmium affected the ammonification and nitrification process in the majority of periods at both sites; the copper affected lightly the denitrification at Río Sevilla and the orthophosphate fluxes weren't affected for metal addition. The bacterial density in sediments was strongly related to salinity, organic matter content, the type of sediment and fluxes of inorganic nutrients in the water – sediment, interface.

Key words: metals, fluxes, nutrients, contamination, coastal lagoons.

Introducción

El Caribe colombiano es propenso a una alta descarga de contaminantes y en especial de metales pesados, procedentes de procesos industriales o naturales. En este sentido, se debe tener en cuenta que Colombia presenta una de las mayores tasas de deforestación del Caribe y por lo tanto los procesos orogénicos aportan gran cantidad de metales pesados al sistema fluvial del Magdalena (**Gajraj**, 1981). Adicionalmente, sobre los Andes colombianos vive cerca del 80% de la población del país y en esta región se lleva a cabo la mayor parte de la actividad industrial, la cual hace uso directo o indirecto de metales (**Hernández**, 1979). Todos los residuos procedentes de estos procesos son descargados al río Magdalena, que por su recorrido se convierte en el mayor sistema recolector de los desechos producidos a lo largo del país y que en última instancia, van a desembocar en el mar Caribe (**Palacio**, 1975).

Las investigaciones sobre la incidencia de metales pesados en el Caribe Colombiano comenzaron en 1982, y se han orientado principalmente a la determinación de sus contenidos en peces (**Campos**, 1989, 1992) y bivalvos (**Campos**, 1984, 1988a, 1988b, 1991). En la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) se han realizado determinaciones de metales en agua, material suspendido y sedimentos (**Usme**, 1984, **Ramírez** 1995, **Gallo & Campos**, 1997); detectando las principales fuentes de descarga de metales pesados al sistema, pero hasta el momento no se ha desarrollado ningún estudio sobre el efecto de metales como el cadmio y el cobre en el ciclo del nitrógeno o el fósforo, en sistemas altamente productivos como lo es la CGSM.

Se conoce el efecto de inhibición que sobre los procesos metabólicos celulares pueden tener metales pesados como el cadmio y el cobre en la fijación de nitrógeno y la reducción de nitrato (**Waara** 1992, **Klinkenberg et al.**, 1990), la amonificación (**Capone et al.**, 1987), el flujo de carbono en el sedimento, la metanogénesis, la reducción del sulfato, la biomasa microbial en sedimentos (**Capone et al.**, 1983), la actividad microbial (**Roth et al.**, 1992) y la producción primaria (**Wikfors**, 1982).

Es sabido que la toxicidad de los metales pesados es debida en parte a su alta afinidad con los grupos amino y sulfhidrilo y se basa en diversas formas de influencia en los procesos fisiológicos y metabólicos de los organismos (**Campos**, 1984). La toxicidad del cadmio y cobre es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tienen para formar macromoléculas, así como la capacidad de reemplazar otros metales que desempeñan un papel importante en la actividad enzimática, reaccionando con grupos biológicos activos como carbosil, fenol y otros, dependiendo de las condiciones redox del sedimento y de su especiación (**Moffett et al.**, 1997). Por lo tanto, este trabajo pretende evaluar el papel y la potencialidad del efecto del cadmio y cobre sobre la utilización y reciclaje de nutrientes en un área altamente productiva, como lo es la CGSM, mediante la incubación experimental en laboratorio de sedimentos tratados con estos metales, midiendo el efecto sobre los flujos de nitrito, amonio y ortofosfatos en la interfase sedimento-agua. Se tomó como base el hecho de que estos nutrientes son producto principalmente, de los procesos metabólicos de los microorganismos bentónicos, siendo las bacterias las más importantes dentro de los procesos de remineralización en el sedimento y posiblemente las más afectadas en áreas sometidas a una alta descarga de contaminantes, como lo es la CGSM.

Materiales y métodos

Se escogieron dos estaciones en la Ciénaga Grande de Santa Marta, la cual forma parte del complejo del mismo nombre, localizada al nor-occidente del Departamento del Magdalena, entre los paralelos 10° 35' y 11° 01' N y entre las longitudes 74° 15' y 74° 40' W. La primera estación se situó a un kilómetro aproximadamente de la desembocadura del río Sevilla (RS), y la segunda cerca a la boca de la barra por su influencia marina, en el sitio denominado Islas del Rosario (IR).

Se recolectaron núcleos de sedimento de 10 cm de largo con tubos de PVC de 60 x 2.5 cm en cada una de las estaciones, durante 10 períodos de muestreo, distribuidos

a lo largo de las cuatro épocas climáticas (octubre 1996 a agosto 1997). Se tomaron 18 núcleos de sedimento por muestreo y por sitio; se midió la salinidad y se tomaron muestras de sedimento para determinar el contenido de materia orgánica (Parker, 1983) y la composición granulométrica.

En el laboratorio a cada núcleo, se le extrajo el agua suprayacente y se le asignó aleatoriamente y por triplicado el tratamiento correspondiente. A los núcleos seleccionados para la prueba con metales, se le inyectó a través de un tapón de silicona ubicado en la parte inferior del núcleo, una solución de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($>2\text{mg/l}$) ó $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ($>61\text{ mg/l}$) (Modificado de Capone *et al.*, 1987). Para diferenciar la parte del flujo de los nutrientes asociada a la remineralización microbiológica, de los procesos físicos y químicos, se trataron otros núcleos adicionalmente con bactericida (penicilina), a una concentración de 150 mg/l (Arenas & De La Lanza Espino, 1990), para un total de seis tratamientos: (1) control, (2) cadmio, (3) cobre, (4) cadmio más antibiótico, (5) cobre más antibiótico (6) antibiótico. Se dejó en reposo 1 hora y luego se adicionaron suavemente sobre el sedimento 200 ml de agua del sitio de muestreo previamente filtrada (filtro de membrana de $0.45\text{ }\mu\text{m}$ de poro) para eliminar los constituyentes del plancton. Se tomaron y fijaron muestras de agua (25 ml) a 1, 12, 24 y 48 horas de incubación para cuantificar amonio, nitritos y ortofostatos de acuerdo con la metodología de Gocke (1987).

Finalizado el período de incubación se analizó la fracción biodisponible de cadmio y cobre en el sedimento superficial de cada núcleo, para estimar la cantidad de metal que actuó sobre los flujos de nutrientes. Para el análisis se le adicionó a 0.66 g de sedimento seco, 10 ml de HCl suprapuro (0.1N), se dejó en agitación durante 24 h a 1200 rpm a temperatura ambiente y se centrifugó a 4000 rpm durante 20 min . El sobrenadante se aforó a 10 ml con HCl suprapuro (0.1N), y se cuantificó luego por espectrofotometría de emisión atómica acoplada a plasma tipo "Spectro".

El flujo de cada ión durante el período de incubación, se expresó como tasa en $\mu\text{mol/m}^2/\text{día}$. Los resultados se analizaron estadísticamente por medio de un ANOVA mixto (para determinar las diferencias entre efecto de los tratamientos y los diferentes flujos de nutrientes) y por regresión lineal simple para determinar la relación entre las concentraciones finales de cadmio y cobre en los núcleos con los flujos de cada ión, en cada sitio y por época. Los flujos positivos indican paso del nutriente desde el sedimento hacia la columna de agua y los negativos lo contrario.

Resultados

Granulometría, salinidad, contenido de materia orgánica

La estación IR se caracterizó por tener un contenido de arenas y limos gruesos en la misma proporción, que correspondieron en promedio al $95 \pm 2\%$ de la fracción total de sedimento, mientras que en RS predominaron los limos muy finos con un promedio de $97 \pm 2\%$ de la fracción total. El menor contenido de agua intersticial se midió en IR (31.4%) y el mayor en RS (72.5%). La salinidad fluctuó en IR, entre $5\text{-}35$, y el contenido de materia orgánica entre $2.8 \pm 0.4\%$ y $4.3 \pm 0.5\%$, mientras que en RS la salinidad fluctuó entre $0\text{-}24$ y el contenido de materia orgánica entre $12.9 \pm 1.8\%$ y $14.9 \pm 6.3\%$.

Tasas de flujo de experimentos control

Los resultados del ANOVA a una vía, entre los iones y las tasas de flujo, mostraron que el ión amonio fue significativamente diferente de los otros dos iones con tasas de flujo positivas principalmente. El amonio presentó los mayores flujos en un rango de -645 a $1764\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ en RS y 550 a $1988\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ en IR, en la mayoría de los casos con tasas positivas (excepto en RS, marzo), indicando que existe un flujo desde el sedimento a la columna de agua, como se corroboró con el valor promedio de la tasa de amonio para todos los muestreos de $575.5 \pm 77.3\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ (Figura 1).

Por su parte, el nitrito presentó tasas bajas, en un rango de -1 a $-266\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ en RS y -24 a $7.4\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ en IR, con un valor promedio para todos los muestreos de $-71.23 \pm 34\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$, lo que indica una difusión activa desde la columna de agua al sedimento, como se observó para la mayoría de las épocas en RS, con algunas excepciones puntuales y para la mayoría de las tasas en agosto y octubre en IR. En este último sitio se observó que las tasas son mayoritariamente positivas y muy bajas en marzo y mayo, indicio de flujo desde el sedimento a la columna de agua. (Figura 1)

El ortofosfato también presentó valores bajos en sus tasas de flujo promedio, entre -389 a $435\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ para IR y entre -3810 a $274\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$ para RS. RS presentó mayor variación en la difusión desde el sedimento a la columna de agua con respecto a IR. En promedio se observó un flujo de ortofosfato desde la columna de agua al sedimento en mayo en las dos estaciones a una tasa de $-202.51 \pm 55.7\text{ }\mu\text{mol/m}^2/\text{d}$. Sin embargo en RS e IR se cuantificaron flujos positivos en marzo y agosto (Figura 1).

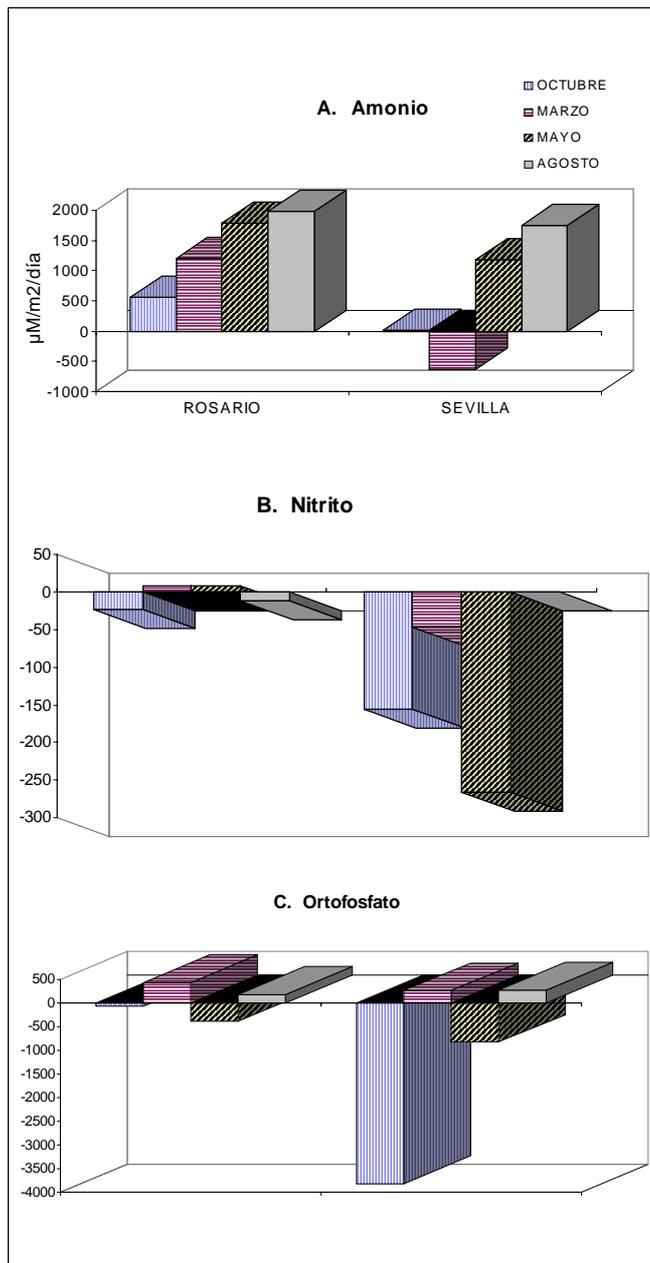


Figura 1. Tasas de flujo de los nutrientes inorgánicos en los experimentos control para las cuatro épocas climáticas y los dos sitios de muestreo en la CGSM.

Efecto de cadmio y cobre sobre el flujo de nutrientes inorgánicos

Los resultados del ANOVA multifactorial mixto (Tabla 1), mostraron diferencias significativas en los flujos de amonio entre los tratamientos realizados en IR en todos los muestreos. Los resultados de IR presentados en la Fi-

gura 2 muestran el efecto inhibitor del antibiótico sobre la actividad bacteriana, también que los sedimentos tratados con Cd+antibiótico y Cu+antibiótico presentaron flujos muy inferiores a los medidos en los controles aunque fueron tanto positivos como negativos y con gran variabilidad intrasemanal y que el Cd incrementó las tasas de flujo de amonio en marzo y las disminuyó en mayo y agosto. El cobre tuvo un efecto significativo sólo en las últimas semanas de mayo y agosto, disminuyendo e incrementando los flujos respectivamente. En la estación RS (Figura 3) los flujos de amonio entre tratamientos mostraron diferencias significativas en los meses de marzo y agosto solamente. En marzo, el Cd produjo flujos hacia la columna de agua, mientras que el Cu, Cd+antibiótico y Cu+antibiótico inhibieron (primera semana) o aumentaron el flujo hacia el sedimento (segunda semana). En agosto el flujo de amonio desde el sedimento al agua se inhibió en todos los tratamientos con diferente

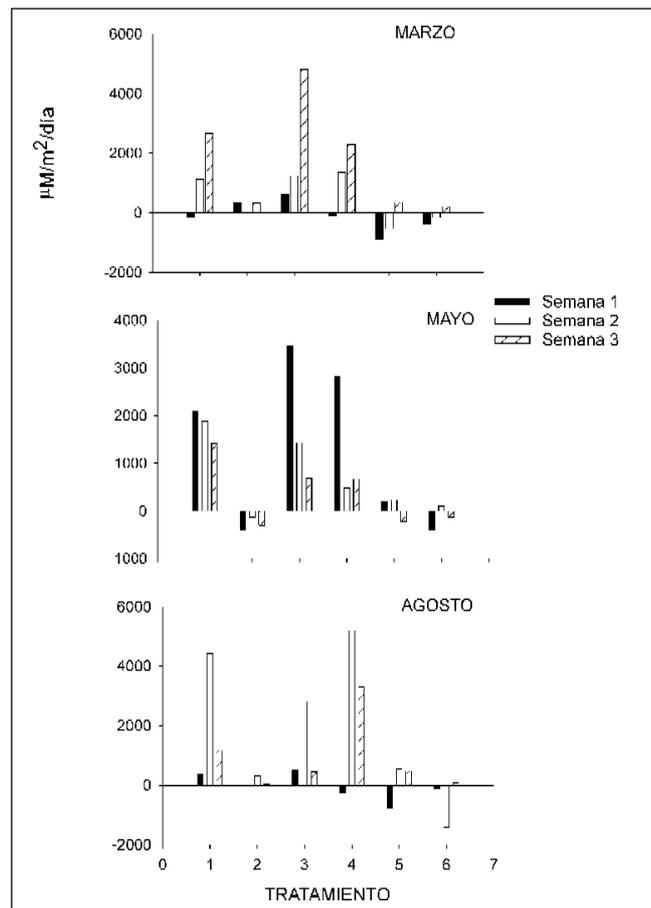


Figura 2. Flujo de amonio en la interfase agua-sedimento de Isla Rosario en tratamientos: 1. Control, 2. Antibiótico, 3. Cd, 4. Cu, 5. Cd + antibiótico, 6. Cu + antibiótico, durante las tres semanas de cada período de muestreo.

Tabla 1. Resultados (valor de probabilidad) del ANOVA multifactorial mixto usando los tratamientos como factor fijo y tres semanas consecutivas de muestreo como factor aleatorio para cada sitio, época y cada uno de los tres iones. Los números en negrilla indican diferencias significativas para ese factor dados por los tratamientos subrayados. Incremento de los flujos(+), disminución de los flujos (-) con respecto al control.

		ESTACIÓN: IR (Islas del Rosario)			ESTACIÓN: RS (río Sevilla)		
ION	FACTOR	Marzo 97	Mayo 97	Agosto 97	Marzo 97	Mayo 97	Agosto 97
Amonio	Tratamiento	0.000	0.0000	0.002	0.034	0.073	0.000
	Semanas	0.000	0.0017	0.004	0.540	0.290	0.745
	Interacción	0.002	0.008	0.078	0.320	0.910	0.954
		Antibiót,	Antibiót,	Antibiót.	+Cd		Antib.
		+Cd	-Cd+Ab	-Cd+Ab	±Cu		-Cd+Ab
		-Cd+Ab	-Cu+Ab	-Cu+Ab	±Cu+ant		-Cu+Ab
	-Cu+Ab	±Cd	-Cd	±Cd+ant			
			±Cu	+Cu			
Nitrito	Tratamiento	0.380	0.000	0.000	0.002	0.160	0.210
	Semanas	0.320	0.004	0.007	0.230	0.000	0.000
	Interacción	0.480	0.002	0.000	0.970	0.136	0.670
	Dado por:		+Cd, +Cd+Ab	+Cd	+Cd		
				+Cd+Ab	+Cu+Ab		
Fosfato	Tratamiento	0.762	0.035	0.223	0.163	0.179	0.584
	Semanas	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Interacción	0.149	0.032	0.000	0.075	0.684	0.019

magnitud. En general, el flujo de amonio presentó mayor variabilidad intrasemanal en IR que en RS, en su respuesta a los diferentes tratamientos con Cd y Cu en todas las épocas de muestreo. Por lo tanto es difícil determinar un patrón de comportamiento ante la adición de los metales sobre la amonificación.

El flujo de nitrito presentó una variación significativa en IR en mayo y agosto, incrementando su flujo hacia la columna de agua en dos órdenes de magnitud en los tratamientos con Cd y Cd+antibiótico. En RS los flujos de nitrito se incrementaron solo en marzo, hacia la columna de agua por el Cd y hacia el sedimento por el Cu+antibiótico (Figura 4 y 5).

El flujo de ortofosfato en IR y RS no mostró diferencias significativas entre tratamientos ni épocas.

Las concentraciones de Cd y Cu biodisponible en los sedimentos tratados, presentaron una variación amplia en ambas estaciones (0.001 – 2 mg Cd/ml y 0.034 – 0.227 mg Cu/ml en IR, y entre 0.0076-10.6 mg Cd/ml y 0.0013-0.278 mg Cu/ml para RS). Estas concentraciones no se relacionaron significativamente con las tasas de flujo de cada ión.

Discusión

La amonificación parece ser un proceso dominante en la CGSM y probablemente la principal fuente de amonio

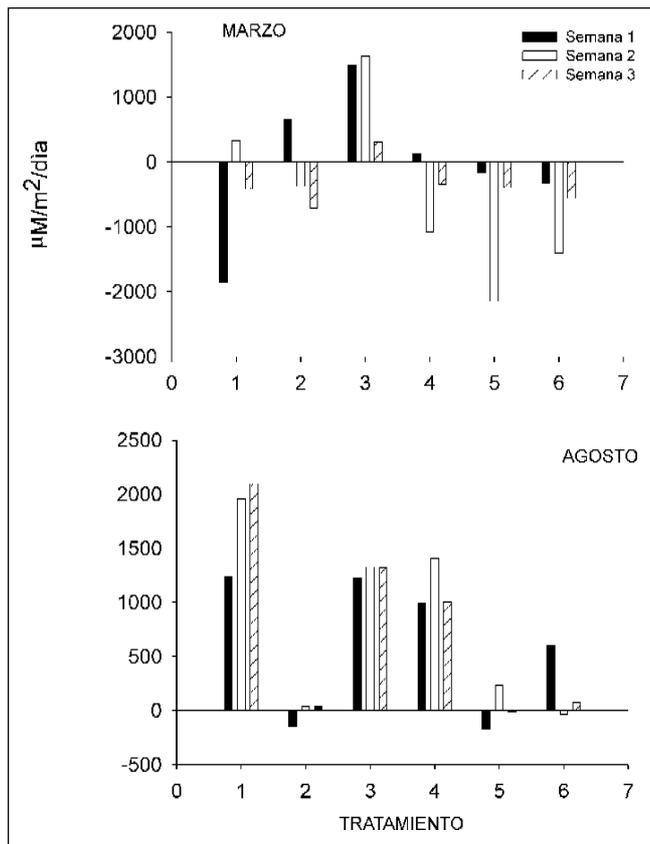


Figura 3. Flujo de amonio en la interfase agua-sedimento del Río Sevilla en tratamientos: 1.Control, 2. Antibiótico, 3. Cd, 4. Cu, 5. Cd + antibiótico, 6. Cu + antibiótico, durante las tres semanas de cada período de muestreo.

hacia la columna de agua viene de la descomposición de la materia orgánica en el sedimento, además de la excreción de organismos bentónicos. El flujo de amonio observado desde el sedimento hacia la columna de agua en ambas estaciones de muestreo, indica que la amonificación ocurre con mayor intensidad cerca a la interfase agua-sedimento, específicamente en los sedimentos superficiales, donde se sabe que las bacterias son más activas (Warwick & Downes, 1981). Sin embargo, las mayores tasas de flujo de amonio fueron observadas en IR, indicando predominio de procesos aeróbicos como la nitrificación, favorecido por la baja cantidad de MO (2.7-4.3%) y de bacterias ($1.8 \pm 1.0 \times 10^6$ cél/ml), dentro de un sedimento arenoso-limoso de grano grande que permanece más oxigenado como ha sido reportado también por Koike & Hattori (1978) en sedimentos costeros de la bahía de Mangoku-Ura, Japón.

En cambio, la actividad desnitrificante en los sedimentos de RS parece ser la responsable de la toma activa del nitrito en ésta área. Corredor & Morell (1989) registraron este proceso en ecosistemas semejantes a la CGSM,

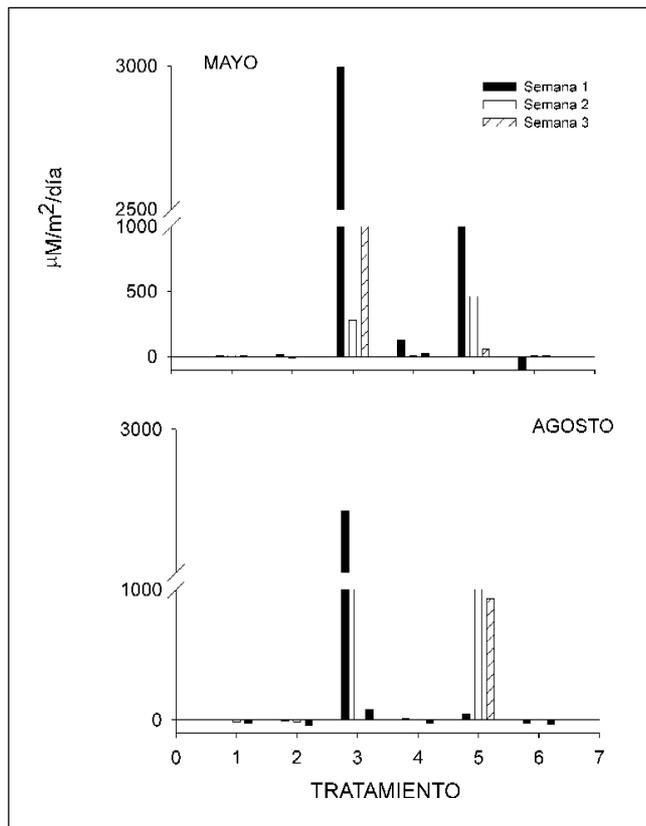


Figura 4. Flujo de nitrito en la interfase agua-sedimento de Isla Rosario en tratamientos: 1. Control, 2. Antibiótico, 3. Cd, 4. Cu, 5. Cd + antibiótico, 6. Cu + antibiótico, durante las tres semanas de cada período de muestreo.

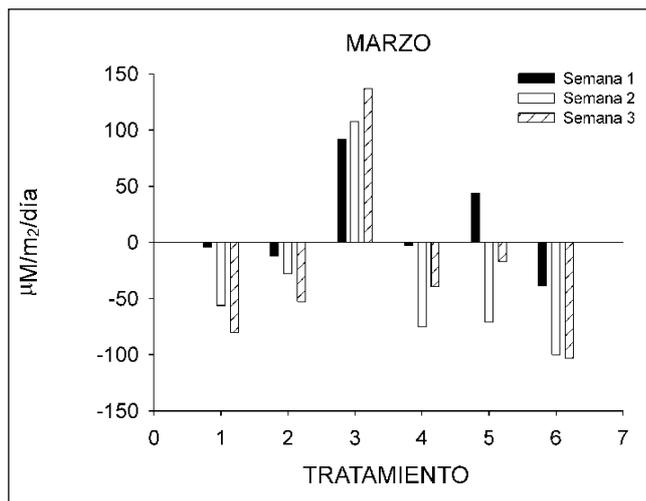


Figura 5. Flujo de nitrito en la interfase agua-sedimento del Río Sevilla en tratamientos: 1.Control, 2. Antibiótico, 3. Cd, 4. Cu, 5. Cd + antibiótico, 6. Cu + antibiótico, durante las tres semanas de cada período de muestreo.

con sedimentos anaeróbicos y ricos en materia orgánica oxidable; como es el caso en RS, en donde el contenido de MO fluctuó entre 11.4 y 15.3%, favoreciendo además, una mayor abundancia bacteriana ($5.4 \pm 2.3 \times 10^6$ cél/ml) como ha sido señalado en otros ambientes marinos (Montagna, 1982).

El flujo de ortofosfato observado desde el sedimento hacia la columna de agua puede ser el resultado de los procesos de remineralización microbiológica o de descomposición de la materia orgánica, como lo anotan Propp *et al.*, (1980); o bien por la liberación del fósforo sedimentario a causa del cambio en las condiciones químicas en cada núcleo (O_2 y pH) durante la incubación y/o por la presencia de invertebrados bentónicos que puedan producir bioturbación (Sinke & Cappenberg, 1988). Ahora, el retorno del fósforo al sedimento que también fue observado en algunos experimentos, puede ser causado por procesos de asimilación por parte de la microbiota (microalgas y bacterias fotosintetizadoras) y/o procesos de precipitación e inmovilización en las que intervienen elementos como el Fe, Al, Mn, SO_4^- , Ca, compuestos orgánicos y arcillas, dependiendo de los cambios en el pH y las condiciones de oxido-reducción presentes, como lo han señalado Sinke & Cappenberg (1988) en sedimentos eutróficos. De hecho, el efecto nulo de la adición de Cd o Cu sobre el flujo de ortofosfato, sugiere el predominio de procesos físico-químicos en el reciclaje de este ión en la CGSM.

Ahora, las diferencias observadas en el efecto inhibitorio del antibiótico sobre las bacterias responsables del flujo de amonio y de nitrito dentro del sedimento y entre sitios de muestreo puede ser indicio de una resistencia previa de la población microbiana a los antibióticos en IR principalmente. En este sentido Dijk & Joorde (1976) encontraron en experimentos de laboratorio, que las bacterias nitrificantes (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) no son inhibidas fácilmente por sustancias antimicrobiales y que bacterias de sedimentos estuarinos presentan resistencia a uno o más antibióticos.

De otra parte, aunque algunos resultados sugieren que el Cd puede estimular la amonificación, como se ha indicado, sobre la metanogénesis en sedimentos costeros (Capone *et al.*, 1983) y sobre la reducción asimilativa de nitrato en microalgas bentónicas (Moffett *et al.*, 1997); también su efecto inhibitorio diferencial sobre la amonificación y la utilización de nitrito fue observado. Es probable que diferencias en la formación de complejos con ligandos inorgánicos u orgánicos dentro del sedimento haya determinado la cantidad de Cd libre capaz de afectar a la comunidad microbiana en uno u otro lugar

(Moffett *et al.*, 1997). Sin embargo, nuestros resultados no mostraron una correlación clara entre la concentración de metal biodisponible en el sedimento y las tasas de flujo observadas. Asimismo, la fuerte acumulación de nitrito observada en nuestros experimentos con Cd se puede atribuir a su efecto tóxico sobre las bacterias *Nitrobacter* (responsables de la transformación a nitrato), ya que se ha señalado que este metal puede modificar las propiedades del sustrato de la oxidasa de nitrito, inhibiendo así su actividad (Xu *et al.*, 2000). Al respecto, se ha indicado que la toxicidad del Cd genera disminución en la abundancia bacteriana (Modamio & Mallo 1984, Fabiano *et al.*, 1994) e inhibe procesos como la metanogénesis y la reducción de sulfato (Capone *et al.*, 1983). Sin embargo, el claro discernimiento de los efectos positivos o negativos del Cd sobre las diferentes comunidades presentes en el sedimento y por ende sobre las diferentes enzimas responsables del reciclamiento del amonio, nitrito o nitrato, requieren de un estudio detallado y específico en relación con las características químicas del sedimento, como el potencial redox.

La baja inhibición mostrada por el cobre sobre el flujo de amonio, con respecto al cadmio y el mayor efecto inhibitorio en IR que en RS, sugiere el efecto de diferentes procesos sobre la concentración de Cu^{+2} libre dentro del sedimento. Uno de ellos es la capacidad de formar complejos rápidamente con la materia orgánica, lo cual puede ser el caso en RS y la velocidad con que los forme dependerá de los ligandos inorgánicos y en especial de los orgánicos, así como de la concentración de los sulfuros presentes (Moffett *et al.*, 1997). También, se debe tener en cuenta que éste es un elemento esencial y está presente en muchas de las enzimas que intervienen en los procesos de oxidación del amonio a nitrato (Xu *et al.*, 2000). Quizá por esto, se observó una mayor utilización de nitrito dentro del sedimento al adicionar el Cu. De otra parte, las bacterias en RS pueden tener ventaja selectiva sobre las de IR ya que están sometidas a unas concentraciones de Cu mayores, si se tiene en cuenta que éste es uno de los lugares de mayor descarga de Cu a la Ciénaga; al igual como se ha observado en otros ambientes marinos contaminados (Stephen *et al.*, 1999, Timoney *et al.*, 1978). Además, estas poblaciones bacterianas, como ha sido descrito por Allen *et al.*, (1977), Nakahara *et al.*, (1977), Timoney *et al.*, (1978) y Devanas *et al.*, (1980), pueden haber desarrollado mecanismos para su detoxificación ante las altas concentraciones de metales pesados en el medio y en especial en aquellas áreas con alto grado de contaminación.

La alta variabilidad en la concentración de Cd y Cu biodisponible en los sedimentos de ambos sitios de

muestreo, indican el efecto de procesos químicos como adsorción, precipitación y complejidad, los cuales dependen en gran medida de cambios en las condiciones de oxido-reducción, pH, contenido de materia orgánica, porosidad y permeabilidad del sedimento, así como la salinidad, entre otros factores (Mantoura *et al.*, 1978; Mittelman & Geesey 1985; Commans 1987; Fu & Allen 1992; Barcellos & Lacerda 1993; Alloway 1995). Estos factores presentan gran variabilidad dentro de un ecosistema, de manera que es muy difícil discernir el papel de cada uno de ellos en la especiación de cada metal. Por esto, se hace necesario desarrollar más estudios que permitan acoplar mejor el componente químico con el biológico y determinar su impacto potencial en el ecosistema estuarino.

Conclusiones

A pesar de la gran variabilidad espacio-temporal observada durante este estudio, destacamos que los flujos de amonio y nitrito se vieron afectados diferencialmente, por la presencia de Cd y Cu en ambas áreas de estudio. En RS se observó un mayor efecto en la época lluviosa, mientras que en IR la oscilación natural de los flujos a lo largo del año no mostró diferencias. El Cd inhibió la utilización del nitrito y activó la amonificación, mientras que el Cu estimuló la utilización del nitrito en la interfase agua-sedimento. Por ende, el incremento en la concentración de uno u otro metal en los sedimentos de la CGSM puede afectar negativamente el ciclo del nitrógeno, alterando significativamente el reciclaje de amonio y nitrito y conllevando a efectos negativos sobre la producción biológica del estuario. Sin embargo, desde un punto de vista global, es probable que, a pesar de que están entrando grandes cantidades de estos contaminantes, el sistema esté en capacidad de mantenerse en equilibrio sin presentar mayores cambios en los flujos de nitrógeno y fósforo a una mayor escala espacio-temporal.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Universidad Nacional de Colombia y fue desarrollado como parte de la tesis presentada por MCG como requisito parcial para optar al grado de Magister Scientiae en Biología – Biología Marina, convenio UN – INVEMAR. Agradecemos a R. Sánchez y G. Navas por su colaboración en el trabajo de campo y de laboratorio, al Dr. S. Zea por su colaboración en el análisis estadístico y al INVEMAR por su apoyo logístico.

Bibliografía

- Allen, D.A., B. Austin & R. Colwell. 1977. Antibiotic resistance patterns of metal-tolerant bacteria isolated from estuary. *Antimicrob. Agents Chemother.* 12: 545-547.
- Alloway, B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professional. 368 p.
- Arenas, V. & G. de la Lanza Espino. 1990. El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Cienc. Mar.* 16(3):45-62.
- Barcellos, C. & L.D. Lacerda. 1993. Cadmium behaviour in a tropical estuary. In: CEP consultants (Eds). Heavy metals in the environment. Mc Graw Hill Ed. Toronto. 1:169-172.
- Campos, N.H. 1984. Concentración de metales pesados en algunas especies de bivalvos de la costa caribe colombiana. Tesis, Universidad de Kiel, Alemania. 116 p.
- Campos, N. H. 1988a. Selected bivalves for monitoring of heavy metal contamination in the Colombian Caribbean. In: U. Seeliger, L.D. Lacerda & S.R. Patchineelam (Eds). Metals in Coastal Environments of Latin America. Springer-Verlag, Berlín. 270-275 p.
- Campos, N.H. 1988b. Variaciones estacionales de las concentraciones de metales traza en organismos de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: L. Botero (Ed.) Informe final INVEMAR, Proyecto Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. 47 p.
- Campos, N.H. 1989. Contenido de metales pesados en el chivo *Mapalé Cathorops spixi* de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Bogotá. En Memorias del Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del mar. C.C.O. pp. 305-313.
- Campos, N.H. 1991. La ostra comercial de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la problemática de la contaminación por metales. *Trianea* 4: 623-631.
- Campos, N.H. 1992. Concentración de metales traza en *Ariopsis bonillai* de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 40(2): 179-183.
- Capone, D.G., D. Reese & R.P. Kiene. 1983. Effects of metals on methanogenesis, sulfate reduction, carbon dioxide evolution and microbial biomass in anoxic salt marsh sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 45: 1586-1591.
- Capone, D.G., M.E. Jacobson & J.E. Mackin. 1987. Ammonium production in sediments inhibited with molybdate and bromoethane sulfonic acid: Implications for the sources of ammonium in anoxic sediment. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 2435-2439.
- Commans, R. 1987. Adsorption, desorption and isotopic exchange of cadmium on illite: evidence for complete reversibility. *Water research.* 21:1573-1576.
- Corredor, J.E & J.M. Morell. 1989. Assessment of inorganic nitrogen fluxes across the sediment-water interface in a tropical lagoon. *Est. Coast. Shelf Science.* 28(3): 339-345.
- Devanas, M.A., C.D. Litchfield, C. McClean & J. Gianni. 1980. Coincidence of cadmium and antibiotic resistance in New York

- Bight in benthic microorganisms. *Mar. Poll. Bull.* 11: 264-269.
- Dijck, van der & Joorde, van der.** 1976. Sensitivity of environmental microorganisms to antimicrobial agents. *Appl. Environ. Microb.* 31(3): 332-336.
- Fabiano, M., R. Danovaro, E. Magi & A. Mazzucotelli.** 1994. Effects of heavy metals on benthic bacteria in coastal marine sediments: a field result. *Mar. Poll. Bull.* 28(1): 18-23.
- Fu, G. & H.E. Allen.** 1992. Cadmium adsorption by oxic sediment. *Water Research.* 2: 225-233.
- Gajraj, M.** 1981. Threats to the terrestrial resources of the Caribbean. *Ambio* 10(6): 307-311.
- Gallo, M. C. & N. H. Campos.** 1997. Contenidos de Cd, Cu y Zn en sedimentos de zonas de manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Bahía de Chengue, Caribe colombiano. *Cont. Amb.* 16(28-29): 13-24.
- Gocke, K.** 1987. Manual para determinar "Los procesos de producción y degradación en biotopos marinos, especialmente en lagunas costeras y manglares" Mimeografiado en biblioteca del INVEMAR. 84 p.
- Hernández, J.H.** 1979. Contaminación acuática en Colombia. Informe Museo del Mar No. 17. 14 p.
- Klinkerberg, G., G. Schlunbaum & L. Bruegmann.** 1990. Der Einfluß von Schadstoffen auf den Denitrifikationsprozeß in flachen Küstengewässern - Untersuchungen zur Mikrobiologie und Stoffbilanz. *Limnologia* 20(1): 149-52.
- Koike, I. & A. Hattori.** 1978. Simultaneous determinations of nitrification and nitrate reduction in coastal sediments by a ¹⁵N dilution technique. *Appl. Environ. Microbiol.* 35(5): 853-857.
- Mantoura, F.F., A. Dickson & J. Riley.** 1978. The complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 6: 387-408.
- Mittelman, M.W. & G.G. Geesey.** 1985. Copper-binding characteristics of exopolymers from a freshwater sediment bacterium. *Appl. Environ. Microbiol.* 49(4): 846-851.
- Modamio, X & S. Mallo.** 1984. Heavy metals effect on bacterial communities from coastal sediments. Acte Coll. GERBAM, Brest 1-5 October 3: 597-600.
- Moffett, J.W., L.E. Brand, P.L. Crott & K. Barbeau.** 1997. Cu speciation and cyanobacterial distribution in harbors subject to anthropogenic Cu inputs. *Limnol. Oceanogr.* 42(5): 789-799.
- Montagna, P.** 1982. Sampling design and enumeration statistics for bacteria extracted from marine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 43(6): 366-1372.
- Nakahara, H., J. Ishikawa, Y. Saray, I. Kondo, H. Kozukue & S. Silver.** 1977. Linkage of mercury, cadmium, arsenic and drug resistance in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Appl. Environ. Microbiol.* 33: 975-76.
- Palacio, F.J.** 1975. Colombia: Perspectivas sobre sus recursos acuáticos. Vivos continentales y la contaminación de sus aguas. Ter-
cer curso de capacitación de los recursos vivos. Lima, Perú, 100 pp.
- Parker, J.G.** 1983. A comparison of methods used for the measurement of organic matter in marine sediment. *Chem. Ecol.* 1: 201-210.
- Propp, M.V., V.G. Tarasoff, I.I. Chebardgi & N.V. Lootzik.** 1980. Benthic pelagic oxygen and nutrient exchange in a coastal region of the sea of Japan. In: K.R.Tenore & B.C.Coull (Eds.). *Marine Benthic Dynamics.* Univ. South Carolina Press, Columbia. pp.265-284.
- Ramírez, G.** 1995. Estudio ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta delta exterior del Río Magdalena. Informe INVEMAR. 2. 150 p.
- Roth, S.E., R. Zeh & D. Maier.** 1992. Inhibitory effects of heavy metals on biodegradation of free amino acids in Rhine River water sample. *Vom-Wasser.* 78: 33-46.
- Sinke, A.J.C. & T.E. Cappenberg.** 1988. Influence of bacterial processes on the phosphorus release from sediments in the eutrophic Loosdrecht Lakes, The Netherlands. Proceedings of the first international workshop on sediment phosphorus. Psenner, R., Gunatilaka, A. (Eds) No. 30. pp.5-13.
- Stephen, J.R., Y. Chang, S. J. Macnaughton, G. A. Kowalchuk, K.T. Leung, C.A. Fleming & D.C. White.** 1999. Effect of toxic metals on indigenous soil B-subgroup Proteobacterium ammonia oxidizer community structure and protection against toxicity by inoculated metal-resistant bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 65(1): 95-101.
- Timoney, T.F., T. Port, J. Giles & J. Spanier.** 1978. Heavy metal and antibiotic resistance in bacterial flora of sediments of New York bight. *Appl. Environ. Microbiol.* 36: 405-472.
- Usme, S.** 1984. Evaluación de los niveles de contaminación por cobre y cadmio en sedimentos procedentes de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Tesis U. Nacional de Colombia.150 p.
- Waara, K.O.** 1992. Effects of copper, cadmium, lead and zinc on nitrate reduction in a synthetic water medium and lake water from northern Sweden. *Water Research.* 26(3): 355-364.
- Warwick, F & M.T. Downes.** 1981. Nitrate accumulation in aerobic hipolimnia: Relative importance of benthic and planktonic nitrifiers in an oligotrophic lake. *Appl. Environ. Microbiol.* 42(4): 565-573.
- Wikfors, G.H.** 1982. Growth and adaptation of estuarine unicellular algae in media with excess of Cu, Cd, Zn and effects of metals. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 7(2): 191.
- Xu, Z., S. Zheng, G. Yang, Q. Zhang & L. Wang.** 2000. Nitrification inhibition by naphthalene derivatives and its relationship with copper. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 64(4): 542-549.

Recibido el 2 de octubre de 2003.

Aceptado para su publicación el 30 de agosto de 2004.

JORGE LLERAS PARRA Y LA PRODUCCIÓN DE LA VACUNA ANTIVARIÓLICA EN COLOMBIA 1897-1946

por

Juana Salamanca Uribe*

Resumen

Salamanca Uribe J.: Jorge Lleras Parra y la producción de la vacuna antivariólica en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 545-554, 2004. ISSN: 0370-3908.

A partir de 1897, el médico veterinario colombiano Jorge Lleras Parra, con base en sus conocimientos e investigaciones, inició la producción de la vacuna antivariólica en un rudimentario laboratorio. Gracias a su calidad científica, a su tesón y a su entrega a la lucha contra uno de los males más mortíferos en la historia de la humanidad, durante la primera mitad del siglo XX, Colombia se abasteció suficientemente de una vacuna de excelente calidad con la que se inmunizó a poblaciones de distintas regiones del país. De esta manera el país se comprometió de manera temprana en la erradicación de la enfermedad, meta lograda a finales de la década de los setenta.

Palabras clave: Jorge Lleras Parra, Colombia, vacuna antivariólica.

Abstract

Based in his knowledge and research, in 1897 the veterinarian Jorge Lleras Parra began the production of the smallpox vaccine in a rudimentary laboratory in Bogotá, Colombia. Thanks to his professional quality and to his efforts in fighting one of the most deadly diseases in human history, during the first half of the 20th century, the country benefited with enough stock of high quality vaccine, that allowed many citizens from many regions of the country to be immunized. In this way, Colombia started on time the eradication of the disease, which was accomplished completely in the 70s decade.

Key words: Jorge Lleras Parra, Colombia, smallpox vaccine.

* Calle 12 No. 0-13 Este. Bogotá, Colombia, Tel: 2839281

Una enfermedad que ya es historia

Las epidemias de viruela fueron tan mortíferas como las guerras más sangrientas. La historia del mundo y de Colombia está llena de episodios en los que la enfermedad ocupa lugar protagónico; se la consideró uno de los mayores obstáculos para el crecimiento de la especie humana, con un índice de mortalidad del 30% ¹, (Organización Mundial de la Salud, 2001). Las personas que salvaban su vida tenían que vivir con las consecuencias del mal.

Por fortuna, desde que la vacuna fue descubierta a finales del siglo XVIII se comenzó a prevenir la viruela. Fue un proceso difícil –producir y perfeccionar la vacuna– y una tarea larga en la que se gastaron casi dos siglos de trabajo: solo hasta los años 70 del siglo XX se pudo declarar completamente erradicada la viruela del planeta tierra², (Acosta Lleras, 1997).

Se sabía muy poco acerca de qué producía la enfermedad, pero se entendía que la viruela era la más contagiosa desde los primeros síntomas. Igualmente se tenía noticia de que la viruela era directamente contagiosa, y que además lo era por medio de objetos que hubieran estado en contacto con el paciente infectado.

Los primeros síntomas eran malestar general, fiebre y dolor de cabeza; luego aparecían manchas rojas en el cuerpo, y sobre ellas se formaban bolsas de materia infectada; la picazón se hacía insoportable y muchos sucumbían a la tentación de rascarse, lo que dispersaba la infección. La bolsa de materia reventaba y el líquido, de olor nauseabundo, se secaba para dar lugar a costras que dejaban ci-

catrices. Eran frecuentes las complicaciones como la ceguera por lesión de las córneas y estallido de los globos oculares, afecciones respiratorias y daños de los sistemas nervioso y renal, muchas veces irreversibles³ (Acosta Lleras 1997).

Descubrimiento de la vacuna

Hacia comienzos del siglo XVIII se conocieron en Europa técnicas primitivas utilizadas en Oriente para prevenir la viruela. Lady Mary Wortley Montague, esposa del embajador británico en Turquía, observó cómo algunos médicos en ese país hacían aspirar a sus pacientes un polvillo producto de la trituración de las costras de la viruela, con el objeto de prevenir la enfermedad y promovió en su país tal procedimiento. No obstante, la *variolización* –administración del mismo virus de la viruela atenuado– era sumamente riesgosa: en ocasiones podía defender al indi-



Foto 1. Erupción de la viruela.



Foto 2. Fotografía de Jorge Lleras Parra.

viduo contra la enfermedad, pero también podía desatar el mal con violencia.

En 1796 en la provincia de Gloucestershire, Inglaterra, el médico Edward Jenner notó cómo a pesar de que las epidemias de viruela asolaban la región, los encargados de ordeñar las vacas que habían sido contagiados de una erupción, que aparecía las ubres de los animales, conocida como cow - pox (en español “vacuna”) no sufrían de viruela.

Jenner recogió linfa de una pústula de cow-pox y la inoculó en una persona, para mostrar que la enfermedad de la vaca se podía introducir en el hombre; luego introdujo materia de una pústula aparecida en las manos de un ordeñador en el brazo de un niño donde apareció una roncha rojiza, que a los pocos días expulsó un líquido similar al de las manos del trabajador. Posteriormente la pústula se secó, dio paso a una costra y luego a una cicatriz. Jenner había demostrado que el cow-pox es transmisible de hombre a hombre. Más adelante, en quienes había introducido cow-pox ensayó la inoculación de la viruela y demostró que ésta jamás se desarrollaba en ellos. ⁴ (Revista de Higiene, 1939).

Años después, el científico francés Louis Pasteur quiso hacer un homenaje a su colega y bautizó con el nombre genérico de “vacuna” a todas aquellas sustancias que producen inmunidad en el hombre y en los animales.

La viruela descubre a América

La viruela –traída a América a partir de la Conquista, por los negros africanos y los blancos europeos– arremetió contra los indígenas, cuyos organismos carecían de defensas frente a un mal desconocido. Comenzó así una



Foto 3. Sede del Parque de vacunación en la Avenida Caracas de Bogotá.

larga historia de epidemias en el Nuevo Mundo, que se extendió hasta bien entrado el siglo XX. Fueron los negros y los indios, mal alimentados y sometidos a condiciones brutales de vida y de trabajo, los más golpeados. Al Nuevo Reino de Granada la viruela llegó entre 1558 y 1566⁵ (Silva, 1992).

A falta de mejores explicaciones, las epidemias se interpretaron como “castigos divinos” o producto de hechizos y brujerías. Hacia finales del siglo XVI, las autoridades comenzaron a adoptar medidas para evitar que el mal se propagara, como aparece en algunas Leyes de Indias.

La vacuna descubierta por Jenner llegó a nuestro país en 1805 cuando, por orden de Carlos IV, fue traída por 22 huérfanos que se pasaron el virus de brazo a brazo durante la travesía del Atlántico. No obstante las conmociones políticas de la Reconquista y la Independencia, la vacuna traída por la “Expedición de la vacuna” se conservó casi hasta mediados del siglo⁶ (Sotomayor, 1997).

El “Parque de vacunación”

En las primeras décadas de la era republicana Bogotá era un caldo de cultivo para la enfermedad debido a las

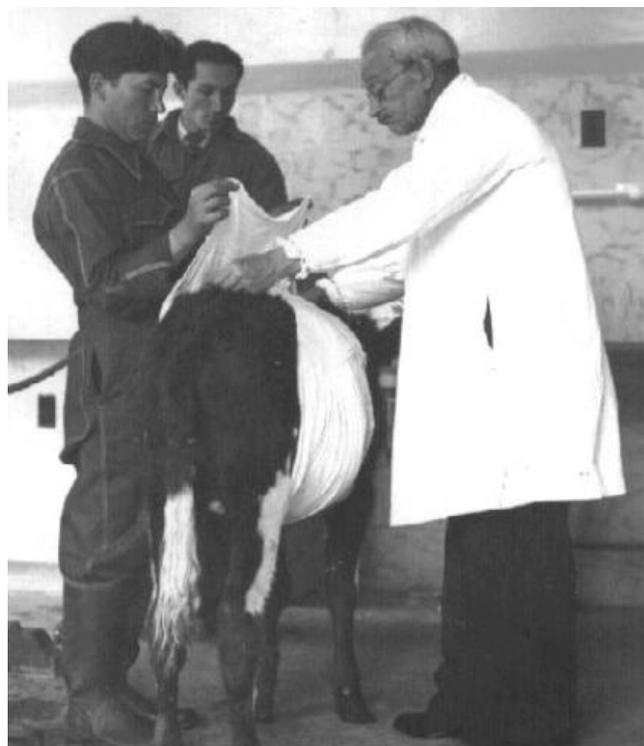


Foto 4. Jorge Lleras Parra con una de las terneras vendadas, luego de la inoculación del virus de la viruela.

desastrosas condiciones de aseo. Tras la pérdida del virus en 1843 fue preciso importar vacuna con agravantes como demoras, sobre costos y deficiente abastecimiento. Los científicos hacían esfuerzos por producir la vacuna en Colombia, pero la falta de laboratorios y de personal especializado, lo habían impedido. El 1 de diciembre de 1887 se creó la Junta Central de Higiene, una de cuyas dependencias sería el llamado “Parque de vacunación”. El joven veterinario Jorge Lleras Parra fue designado director ⁷ (Lleras Parra, 1939).

Jorge Lleras Parra nació el 22 de diciembre de 1874 en el barrio de San Victorino, en Bogotá. Fueron sus padres Martín Lleras Triana y Dolores Parra de Lleras. Su abuelo, don Lorenzo María, se destacó como escritor, político y educador. De él los Lleras heredaron, además de la pobreza con su parienta cercana, la honradez, las ideas liberales entendidas como el respeto por los demás, el amor por la patria, la inclinación por las ciencias y la creatividad. Del matrimonio Lleras Parra hubo 4 hijos: Elena, Laura, Martín y Jorge ⁸ (A. Lleras, 1997).

Claude Vericel

Al terminar el bachillerato en el colegio de don Manuel Antonio Rueda, Jorge Lleras aspiraba a estudiar medicina, pero sus medios económicos no alcanzaban para hacer realidad este sueño. Su inclinación por las ciencias naturales, su evidente amor por el reino animal y el encuentro con el veterinario francés Claude Vericel –fundador de la Escuela de Veterinaria de la Universidad Nacional– lo indujeron a elegir esta disciplina. De la mano de Vericel, el alumno conoció a fondo el descubrimiento de Jenner y comenzó a soñar con producir la vacuna en el país.



Foto5. El veterinario Jorge Lleras durante el proceso de lavado de la piel de las terneras antes de inocular el virus.

Acababa de posesionarse como director del “Parque” cuando una epidemia comenzó a hacer estragos en los barrios pobres de Bogotá. La bandera amarilla que anunciaba la presencia de la peste ondeaba en las carretas de bueyes usadas para transportar hacia la fosa común los cadáveres, blanqueados con cal. Al hacer un recorrido por los sectores afectados, conmovido, se propuso hacer todos los esfuerzos para producir la vacuna; sabía que la idea era viable y decidió acudir al profesor Vericel, quien facilitó una habitación de la Escuela de Veterinaria que serviría de laboratorio, y dos pesebreras para las terneras en las que se sembraría la vacuna.

Se cuenta que al terminar de organizar el lugar, el viejo maestro tomó una tabla y con su propia letra escribió –sin mayores explicaciones– “Parque de vacunación”⁹ (Román, 1997). El mismo Lleras relata sus inicios: “Allí, sin elementos de ninguna clase, inventando y construyendo instrumentos y aparatos y utilizando herramientas viejas y cuantos objetos nos podían prestar algún servicio, principió el Parque a funcionar y el día diez del mismo mes (diciembre de 1897) se hizo la primera remesa de vacuna al Ministerio de Gobierno, con la nota que copio a continuación:

“Tengo el honor de remitir a Su Señoría ciento diez tubos de vacuna de superior calidad, procedente de la ternera número 2.

Soy de su Señoría atento, seguro servidor,

Jorge Lleras P”.¹⁰ (Lleras Parra, 1939).

En diez días se logró lo que nunca había sido posible en Colombia: la producción de la vacuna contra la viruela.

Durante la Guerra de los Mil días, Jorge Lleras permaneció en su cargo dispuesto a librar otras batallas; el trabajo tuvo que multiplicarse pues la confrontación trajo una grave epidemia de viruela. Si bien antes del levantamiento liberal el país se hallaba abastecido de vacuna, ahora la situación se tornaba muy complicada debido a que, según el propio Lleras, “se solicitaba en cantidades fantásticas”. Sin recibir sueldo ni dinero para gastos, trabajó a marchas forzadas: la producción no se suspendió “ni aún por el hecho de haber sido ocupada la casa por tropas llegadas del Norte”.

Preparación de la vacuna

Nadie mejor el mismo Lleras para darnos a conocer los detalles de la técnica que desarrolló para producir la vacuna. En un documento que presentó a la XI Conferencia Sanitaria Panamericana realizada en 1942 en Río de

Janeiro,¹¹ (Lleras Parra, 1942) expone los resultados de años de investigación: “El cultivo y preparación de la vacuna constituyen un trabajo que no tiene complicaciones de ninguna clase. No tengo la pretensión de creer que la técnica que empleo es mía: es un conjunto de procedimientos empleados en los diferentes centros de producción, de los cuales he escogido lo más práctico... Si acaso hay algo mío, son pequeñas modificaciones en los procedimientos, en los aparatos o en los instrumentos usados, que facilitan el trabajo y han dado por resultado un mejor producto”.

Sin embargo, reconoce que su técnica ha sorteado con éxito el examen, tanto nacional como internacional: “A todos los que han tenido la curiosidad de visitar el Parque y observar el proceso empleado para producir la vacuna, y sobre todo a los que han visto en el exterior cómo se hacen estos trabajos, les he pedido el favor de indicarme las modificaciones que crean convenientes para mejorar la técnica: pero ninguno, tal vez por delicadeza, me ha hecho observaciones en tal sentido. La lectura de un reciente libro de G. Levaditi y P. Lepine que trae un bello estudio de vacuna antivariolosa de P. Gastinel, con interesantísimas experiencias de laboratorio y de bacteriología experimental, me ha suministrado muchos conocimientos sobre la materia y me ha dado la explicación de fenómenos que ya había observado, pero cuya causa desconocía”.

Decía el científico: “Expreso con sencillez mis ideas, sin sentar doctrinas y sin ánimo de criticar teorías ajenas; tales ideas serán seguramente erradas, pero los hechos tangibles, los resultados que están a la vista y que pueden comprobarse en cualquier momento, me alientan a creer que no esté del todo equivocado en mis experiencias y

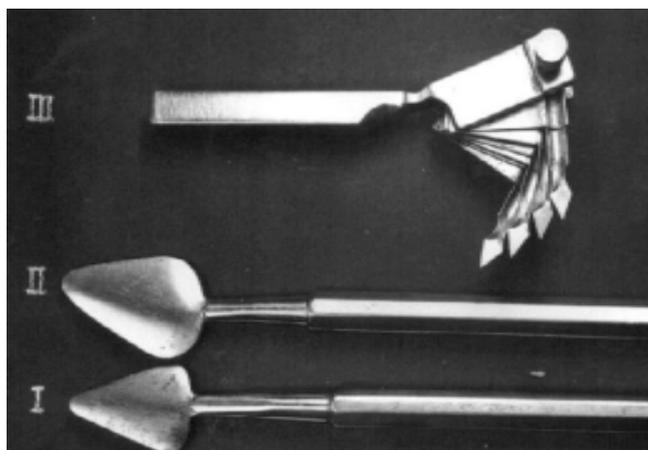


Foto 6. Escarificador y curetas fabricadas por Jorge Lleras Parra en su taller.



Foto 7. Molino fabricado por Jorge Lleras Parra.

deducciones”. Más adelante da, hermosamente, el secreto de su éxito profesional: “En realidad, la técnica consiste en ponerle cariño al trabajo y en no descuidar una serie de detalles que, a primera vista parecen pueriles y tontos, pero cuyo conjunto es el que produce el resultado tan halagador a que he llegado de obtener costras frescas, sin gérmenes”.

“Jóvenes, rubias, y en buen estado de carnes...” Así debían ser las terneras elegidas para producir la vacuna. Pero no sólo eso: un sinnúmero de detalles debían tenerse en cuenta para garantizar el éxito del proceso. Animales finos, entre 6 y 8 meses de edad, “ojalá coloradas que son las que mejores cultivos dan” y de pelo suave. A partir de ahí se realizaba una serie de operaciones que culminaban con la obtención de la vacuna, proceso que el científico explicó en el documento mencionado.

Estos pasos, que a su vez estaban compuestos de varias rutinas –que no podían obviarse a riesgo de fabricar una vacuna contaminada o sin efectividad– se daban como resultado de investigaciones profundas y requerían no sólo suficientes conocimientos científicos sino la habilidad manual sobresaliente que caracterizó a Jorge Lleras. Cada uno de los procedimientos, muchos de ellos inventados por él, tenía su razón de ser, de manera que no aplicar la técnica como se indicaba, resultaba peligroso. Pero, entre todas las instrucciones, en la que más se insiste es en la

limpieza. Desde los baños a las terneras hasta la esterilización de los tubos para empacar la vacuna, todos los pasos se acompañaban de recetas minuciosas para obtener condiciones máximas de asepsia. Por supuesto el objetivo era la obtención de un producto libre de gérmenes.

Además, Lleras puso en marcha un sistema de control para determinar la presencia de bacterias en las costras de manera que al final se tuviera absoluta certeza de que en ellas sólo se desarrollaba la vacuna y que la vida de los vacunados no peligraría a causa de infecciones. Tan interesante y novedoso resultó este procedimiento, que el mismo científico hubo de reconocerlo: “este es el resultado que pienso que puede tener algún valor y algún interés para las personas que conocen de estos asuntos”.

La operación consistía en sembrar sucesivamente porciones de costra en distintos medios y enumerar las colonias de bacterias halladas. Al principio, era natural encontrar gérmenes, pero a medida que las costras permanecían más tiempo a baja temperatura, las colonias iban disminuyendo hasta desaparecer totalmente al cabo de 90 días, sin disminuir la actividad del virus. Si ello era así, la vacuna había pasado la prueba de calidad. El celo puesto en este proceso dio como resultado la producción de una vacuna perfectamente estéril.

Bernardo Samper, médico y colega de Lleras en el Instituto de Higiene aseguró: “es tal la perfección a que el doctor Lleras ha llevado su técnica que en los últimos exámenes que se han tomado de las costras en el Instituto, éstas han resultado prácticamente estériles, aún recién recolectadas de la ternera”.¹² (Samper Sordo, 1939).

El científico artesano

La habilidad de Jorge Lleras para realizar oficios manuales lo caracterizó como un “cositero” en el buen sentido de la palabra. Fabricaba herraduras y herraba los caballos; hacía trabajos de plomería, latonería y talabartería y desarrollaba toda clase de inventos. Cuando se casó en 1902 con su prima Sara Lleras Franco, él mismo fabricó el mobiliario de la casa.

Esa destreza manual y el ingenio que caracterizaron al director fueron factor decisivo para el éxito de las tareas del Parque, porque a falta de herramientas para la producción de la vacuna, el científico hubo de inventarlas y fabricarlas: así ocurrió con el “escarificador”, que reemplazó los cuchillos corrientes que se usaban para hacer los cortes en las terneras, facilitó la operación y permitió un mayor número de siembras de vacuna. Otros elementos



Foto 8. Vista general del laboratorio del Parque de vacunación.

fueron perfeccionados por él, entre ellos, un tamiz y un molino que elaboró con el torno de su taller.

Y cuando el Parque de vacunación tuvo que cambiar de sede, cosa que ocurrió varias veces, Lleras combinaba su actividad científica con la de dibujante arquitectónico, y personalmente hacía los bocetos que daban origen a los planos.

Una empresa de familia

En la medida en que la esposa, los hijos y luego los nietos participaron en las labores del Parque –durante años la familia residió en una casa contigua al laboratorio– Jorge Lleras contó siempre con mano de obra “gratuita” y eficaz que le ayudó a producir la vacuna. Se trataba de una empresa familiar en el sentido de que no pocos miembros de la tribu aportaban su esfuerzo. Sin embargo, nunca pasó por la mente del científico la posibilidad de que la producción de vacuna se convirtiera en una empresa privada que, seguramente, le hubiera dado jugosos rendimientos¹³ (E. Parra, E. Acosta, F. Acosta, 2000).

Vacuna en glicerina

Si la producción misma de la vacuna tenía tantas dificultades y procedimientos complicados, una vez obtenidas las costras había que resolver otros problemas no menos importantes. El primer asunto se resumía en el siguiente interrogante: ¿cómo hacer para que el virus contenido en las costras de las terneras mantuviera la efectividad esperada durante largo tiempo? Se sabía que la vacuna dejaba de ser inmunizante y no “prendía” al cabo de un tiempo. Y el otro asunto era cómo hacer para

que las costras permanecieran libres de gérmenes o bacterias que, ya lo hemos dicho, era una de las obsesiones de Lleras. En aquella época en los Estados Unidos se consideraba permisible un límite de 50 colonias de bacterias por dosis de vacuna. Pero nuestro científico no se conformaba con ello, y estaba decidido a producir una vacuna completamente libre de gérmenes, que al mismo tiempo mantuviera su actividad por mucho tiempo. Tras numerosos ensayos, halló el secreto, una fórmula original, única en el mundo, que le permitió resolver con éxito las dos cuestiones.

El procedimiento consistía en colocar las costras recién recolectadas en glicerina neutra estéril, sin adicionarle preservativo alguno. De esta manera se conseguía una maduración perfecta del virus al cabo de dos o tres meses de conservación en nevera, a una temperatura de 4 grados centígrados. Al mismo tiempo, ideó mantener el virus en las costras mismas y realizar la trituración y la emulsión –esto es, la preparación de la vacuna propiamente dicha– en el momento de darla al consumo y no antes¹⁴ (**Lleras Parra**, 1942).

“La eficacia del método he podido comprobarla personalmente en los últimos años, por los repetidos exámenes bacteriológicos que he practicado en muestras tomadas durante las diversas etapas del proceso de preparación de la vacuna”, dijo Bernardo Samper¹⁵ (**Samper**, 1939).

Vacuna seca

La vacuna en glicerina tenía muy buena efectividad en Bogotá y regiones cercanas, pero se veía comprometida en regiones cálidas y apartadas donde el virus llegaba inactivo, debido a la precariedad de los medios de transporte al principio del siglo XX. Para salvar este obstáculo, el científico decidió probar la fabricación de una vacuna en polvo que pudiera ser mezclada con líquido sólo en el momento de ser aplicada.

El método se componía de varias operaciones minuciosas que daban como resultado la vacuna seca¹⁶ (**Lleras Parra**, 1942).

Pero los tiempos cambiaron y con ellos los medios de transporte que permitieron llevar el producto rápidamente hasta donde se necesitaba: esto hizo suspender la producción de la vacuna seca hacia 1933. Sin embargo, este gran aporte quedó grabado en la historia de la medicina colombiana. Años más tarde, por allá en los 60, quienes sucedieron al científico pudieron comprobar la gran calidad de la vacuna seca al encontrar el virus perfectamen-

te activo en una vieja ampollita.¹⁷ (**Acosta Lleras**, 1997).

Descubrimiento del Horse Pox

En sus visitas a los hatos lecheros de la Sabana de Bogotá Lleras descubrió una erupción benigna que afectaba a los equinos en la nariz, en los labios y en los párpados y que les causaba rasquiña. Más adelante, al concentrar sus observaciones en el ganado vacuno encontró rastros de la erupción hallada en los caballos, solamente en las vacas de ordeño, que eran las únicas que tenían contacto directo con los caballos.

Con base en estas observaciones, Lleras divulgó una novedosa teoría que controvertía, en parte, las investigaciones de Jenner. Había llegado a la conclusión de que el famoso “cow pox”, descubierto por el científico británico, y que inoculado al hombre lo prevenía contra la viruela, no existía como tal, pues en realidad se trataba de un enfermedad de los caballos, que éstos contagiaban a las vacas.

“Se ha tenido la creencia, desde Jenner hasta nuestros días, de que la vacuna (cow - pox) es una enfermedad originaria de la vaca y únicamente de la vaca de hato, la que está en ordeño. La vacuna es, a mi modo de ver, enfermedad originaria del caballo (horse-pox), transmitida por contacto directo a la vaca de ordeño. Nunca la he visto en vacas horras, ni en las novillas, ni en los machos; en cambio, la he encontrado muchas veces en las vacas de ordeño, pero cuando éstas están en contacto con caballos, o son ordeñadas y cuidadas por individuos que manejan caballos (...) Si se toma la linfa de estas pequeñas pústu-



Foto 9. Jorge Lleras Parra con el presidente Eduardo Santos, tras recibir la Cruz de Boyacá.

las, y se siembra en la piel de otro equídeo, se produce la enfermedad; sembrada en la piel de un bovídeo... se producen pústulas características del cow pox".¹⁸ (**Lleras Parra**, 1953).

Reactivación en las burras

Este importante descubrimiento le permitió a Lleras Parra idear un método eficaz para mantener activo el virus que, como habíamos dicho, está expuesto a perder su actividad, al pasar de ternera en ternera, y puede llegar a debilitarse por completo. Tras realizar ensayos en conejos y otros animales, que no consideró viables por el peligro de contaminación con pelos u otras sustancias, o con enfermedades como la encefalitis, encontró que la única manera confiable de mantener el virus vivo y fuerte era mediante la siembra del mismo en équidos. Inicialmente probó con los caballos, pero encontró dificultades relacionadas con el manejo de los mismos durante la siembra de vacuna. Finalmente halló que las burras eran los animales más adecuados para esta tarea: "El sistema que me ha dado magníficos resultados, siempre satisfactorios, consiste en sembrar todo cultivo en ternera, con vacuna de burra: se obtiene así una vacuna de actividad uniforme y de alta virulencia".

Al mismo tiempo, el veterinario controvertió una teoría según la cual la vacuna recuperaba su efectividad mediante intercambio de cepas entre un laboratorio y otro: "El intercambio de cepas, usado en casi todos los centros de producción, no tiene razón de reactivar el virus; tal vez lo único que se obtiene con este sistema es cambiar la flora microbiana de las costras, que no es de lo que se trata".

Y en realidad, ciertos hechos incuestionables corroboraron de manera suficiente las tesis de Lleras en este sentido. El mismo científico lo señala en uno de sus documentos, producido en la década de los 40: "El resultado obtenido con los procedimientos empleados por mí en el Parque se manifiesta bien en un hecho que quiero hacer constar y que justifica mi consagración a este trabajo, así como los gastos que el Estado haya hecho en el Parque de vacunación: la cepa que hoy se emplea es la misma con que principié la producción de vacuna hace 47 años, cepa que he conseguido sostener activa y sin infección alguna en todo este largo período de tiempo".

Lleras propuso, también, un método efectivo para comprobar la potencia de la vacuna. Esto se podía determinar por las características de la roncha y la pústula que se formaba en la piel de los vacunados luego de la inoculación. El científico ensayó algunos procedimientos recomendados en el exterior pero, como casi siempre ocurrió

en su vida, terminó decidiéndose por el suyo propio: en este caso, su propuesta consistía en realizar vacunaciones en niños no vacunados anteriormente, en cuyos organismos, por carecer por completo de defensas contra la enfermedad, se podía observar con claridad la reacción.

Vacuna no es viruela

De igual manera Lleras hizo claridad sobre una tesis que hizo carrera desde el descubrimiento de Jenner, según la cual la "vacuna" es la misma viruela humana transmitida a la vaca por accidente o por vía de experimentación. Esta creencia resultaba muy peligrosa en opinión del científico, toda vez que la vacuna así producida, podía ocasionalmente inmunizar contra la enfermedad pero, en cualquier momento podía recuperar su actividad y producir entre los vacunados verdaderas epidemias de viruela.

"Creo, dijo, que la viruela y la vacuna son dos entidades perfectamente distintas; las siembras de vacuna jamás producen viruela; las siembras de costras de viruela, producen pústulas muy diferentes a las de la vacuna, y en el hombre, en ocasiones, la viruela".¹⁹ (**Lleras Parra**, 1942).

El final del camino

El 18 de julio de 1939, con ocasión de la inauguración de una nueva sede del Parque, el Presidente de la República, a la sazón Eduardo Santos, impuso al científico la más alta condecoración que otorga el Gobierno de Colombia: La Orden de Boyacá. En buena hora el gobierno había reconocido de alguna manera el aporte de Lleras. El decreto correspondiente justificaba la condecoración así:

"por sus eficaces servicios como director del Parque de vacunación durante 42 años de constante consagración, con resultados que honran y benefician grandemente al país".²⁰ (Decreto 1472, 1939).

Tras recibir la distinción, Jorge Lleras agradeció al presidente en un magro discurso y se retiró, sin estridencias, a su hogar, con los suyos. Al día siguiente, temprano, se dirigió al laboratorio: aún le quedaban seis años de vida para trabajar...

Hacia mediados de 1945, una neumonía se fue apoderando del científico hasta que en el mes de julio no tuvo más remedio que permanecer en su catre de cobre, en la misma habitación de la casa de San Victorino donde había nacido 71 años antes. El 6 de agosto a la media noche, los hijos y los nietos se despidieron de él definitivamente. Al tiempo, comenzaron a disfrutar de una jugosa he-

rencia representada en un hermoso ejemplo de vida, el mejor patrimonio que un ser humano puede dejar a los suyos.

El nieto en lugar del abuelo

En 1953 vino a ocupar la dirección del Laboratorio “Jorge Lleras Parra” –así se le llamó al Parque desde la muerte del científico– un joven médico a quien las tareas concernientes a la producción de la vacuna le eran familiares y queridas: Eduardo Acosta Lleras, el nieto mayor de Lleras Parra. La misma sangre terminaba la tarea iniciada más de 50 años atrás.

El nombramiento del nuevo director coincidió con la iniciación del programa de erradicación de la viruela propiamente dicha, con la colaboración de la Organización Mundial de la Salud y de la Oficina Sanitaria Panamericana. Fue preciso multiplicar la producción –se llegó a un millón de vacunas por mes– y se iniciaron los intentos de “lío-filización”, que no era otra cosa que producir vacuna en polvo, con métodos bastante similares a los desarrollados por Jorge Lleras a principios del siglo XX, pero con procedimientos más eficientes.²¹ (Acosta Lleras, 1997).

En 1979 el Ministerio de Salud de Colombia anunció el cierre definitivo del Laboratorio Jorge Lleras Parra. La dependencia –cuyos orígenes se remontaban a aquel precario establo dispuesto en 1897 para producir la vacuna contra la viruela– ya no tenía razón de ser: la viruela había desaparecido de Colombia y del mundo, convertida en la primera enfermedad viral erradicada por la acción directa del hombre. En nuestro país la meta se había alcanzado sin haber tenido que importar, desde la fundación del Parque de vacunación, ni una sola dosis de vacuna.

De acuerdo con las estadísticas divulgadas por el Instituto Nacional de Higiene, al que estaba adscrito el Parque, Jorge Lleras produjo, entre los años de 1898 y 1932, 185.837 gramos de vacuna glicerizada y 16.291 de vacuna en polvo. Si tenemos en cuenta que un gramo de vacuna se convertía en aproximadamente 200 dosis, podemos concluir que Jorge Lleras, durante ese lapso, produjo la cantidad suficiente para inmunizar a 37.167.400 personas con vacuna glicerizada y a 3.558.200 con desecada. Asimismo, entre 1934 y 1939, se produjo en el Parque de vacunación un total de 8.657.100 dosis de vacuna²² (Revista de Higiene, 1939).

De los anteriores datos resulta que el total de dosis producidas por Jorge Lleras desde la fundación del par-

que hasta 1939 –no se encuentran datos de la producción entre 1939 y 1945– fue de 49.382.700, un promedio de 1.175.778 vacunas al año, cifra sorprendente si se considera la precariedad de equipos, recursos, e instalaciones.

La consulta de algunos documentos y autoridades de la Organización Panamericana de la Salud, permite concluir que, con excepción de México, que inició la producción de la vacuna en 1915, con base en la semilla proporcionada por el Instituto Lister, ningún país de América Latina desarrolló un programa similar al adelantado en Colombia, durante la primera mitad del siglo XX. Los informes consultados dan cuenta de la iniciación de la producción, con asesoría de gobiernos e instituciones del primer mundo, a partir de los años 60²³. (Organización Panamericana de la Salud, 2001).

Ciertamente la desaparición de la enfermedad fue el resultado de un largo proceso que contó con un protagonista central: Jorge Lleras Parra. Con el cierre del laboratorio, en un acto nostálgico para muchos, se refrendaba un hecho incontrastable: la viruela se había convertido en un mal recuerdo y Colombia daba un paso importante en su carrera hacia el desarrollo.

Bibliografía

- 1 Organización Mundial de la Salud. www.who.int/emc/diseases/smallpox/sfactsheet.html. Nota descriptiva de la OMS sobre la viruela, octubre 2001.
- 2 Acosta Lleras, E. 1997. El Instituto Nacional de Salud en la lucha contra la viruela, en Instituto Nacional de Salud 1917-1997. Una historia, un compromiso, Primera edición, Bogotá, Imprenta INS.
- 3 *Ibíd.*
- 4 Jenner y la vacunación en Revista de Higiene, órgano de los servicios de higiene del Ministerio de Trabajo, Higiene y Previsión Social, julio de 1939, número 7, págs. 16 y 17.
- 5 Silva, R. 1992. Las epidemias de viruela de 1782 y 1802 en la Nueva Granada, Colección de Edición Previa, Universidad del Valle, serie Investigaciones, Cali.
- 6 Sotomayor Tribín, H. A. 1997. Guerras, enfermedades y médicos en Colombia, Bogotá, Escuela de Medicina Juan N. Corpas.
- 7 Lleras Parra, J. Parque de vacunación. Reseña histórica en Revista de Higiene, órgano de los servicios de higiene del Ministerio de Trabajo, Higiene y Previsión Social, julio de 1939, número 7.
- 8 Lleras Camargo, A. 1997. Memorias, El áncora editores, Bogotá.
- 9 Román, C. 1997. Claude Vericel. El amigo de los animales, Serie Juvenil Colciencias, Bogotá Panamericana Impresores, primera edición.

- 10 **Lleras Parra, J.** Parque de vacunación. Reseña histórica en Revista de Higiene, órgano de los servicios de higiene del Ministerio de Trabajo, Higiene y Previsión Social, julio de 1939, número 7.
- 11 Técnica para la preparación de la vacuna antivariolosa. Algunas consideraciones sobre el origen del virus de la vacuna y método para conservar su actividad uniforme. Documento presentado a la XI Conferencia Sanitaria Panamericana reunida en Río de Janeiro el 7 de septiembre de 1942, en Boletín del Instituto Nacional de Higiene Samper Martínez, número 9 Bogotá, noviembre de 1942.
- 12 **Samper, B.** Discurso en el acto de inauguración del Parque de vacunación en Revista de Higiene, órgano de los servicios de higiene del Ministerio de Trabajo, Higiene y Previsión Social, julio de 1939, número 7.
- 13 Entrevistas personales con descendientes de Jorge Lleras Parra, entre ellos Eduardo Acosta Lleras, Fernando Acosta Lleras y Ernesto Parra Lleras.
- 14 **Lleras Parra, J.** 1942. Técnica para la preparación de la vacuna antivariolosa. Algunas consideraciones sobre el origen del virus de la vacuna y método para conservar su actividad uniforme. *Ibid.*
- 15 **Samper, B.** *Ibid.*
- 16 **Lleras Parra, J.** 1942.
- 17 **Acosta Lleras, E.** El Instituto Nacional de Salud en la lucha contra la viruela, en INS 80 años, Instituto Nacional de Salud.
- 18 **Lleras Parra, J.** Citado en Un sabio colombiano, nota editorial, Revista de la facultad de medicina Veterinaria y de zootecnia, Julio, agosto septiembre de 1953, número 108.
- 19 Técnica para la preparación de la vacuna antivariolosa. Algunas consideraciones sobre el origen del virus de la vacuna y método para conservar su actividad uniforme. *Ibid.*
- 20 Decreto número 1472 de julio 18 de 1939, por el cual se confiere la condecoración de la orden de Boyacá, firmado por el presidente Eduardo Santos y el Ministro de relaciones Exteriores Luis López de Mesa.
- 21 Entrevista con Eduardo Acosta Lleras.
- 22 Revista de Higiene, órgano de los servicios de higiene del Ministerio de Trabajo, Higiene y Previsión Social, julio de 1939, número 7, cuadro de producción de vacuna en el parque de vacunación desde su fundación, págs. 13 y 14.
- 23 Presentaciones de los representantes al evento The potential for small pox vaccine production in the Americas, december 19/2001, Washington DC PAHO.

Recibido el 1° de octubre de 2003

Aceptado para su publicación el 28 de septiembre de 2004

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DE LAS ARCILLAS EMPLEADAS PARA CERÁMICA ROJA EN LAS ZONAS DE MEDELLÍN, ITAGÜÍ Y AMAGÁ

por

L. Duitama, C. Espitia, J. Mojica, J. Quintero & F. Romero*

Resumen

L. Duitama, C. Espitia, J. Mojica, J. Quintero & F. Romero: Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 555-563, 2004. ISSN: 0370-3908.

Mediante un estudio sistemático se caracterizaron los materiales arcillosos provenientes de la formación Amagá (Ts) y del Stock de Alta vista (Itagüí y Medellín) en el Departamento de Antioquia (Colombia). Ello permitió identificar las zonas con mejores calidades para el suministro de materias primas para la industria de cerámica roja en su área de influencia. Para cada zona se describen las características geológicas, y se determina la composición química y mineralógica; además, se desarrollaron pruebas específicas para establecer la aptitud cerámica de estos recursos naturales. Las muestras presentan contenidos de álcalis superiores al 0,2% lo cual podría bajar la calidad de los productos terminados.

Palabras clave: arcilla, materias primas cerámicas, Antioquia, Colombia.

Abstract

A systematic study to characterize the clay materials coming from the Amaga (Ts) formation and the Stock of AltaVista (Itagui and Medellin) of the Department of Antioquia (Colombia) was developed, with the purpose of identifying the areas with better qualities for the supply of raw materials for the red ceramic industry in the influence area.

In each sample zone the geological characteristics were determined, together with the chemical and mineralogical composition, also specify tests were developed to know the ceramic attitude of these natural resources.

The samples present contents of alkalis greater than 0,2% which could decrease the quality of finished products.

Key words: clay, ceramic raw materials, brick clay, Antioquia, Colombia.

* Área Recursos del Subsuelo. INGEOMINAS. Diag. 53 No. 34-53. Bogotá-Colombia. E-mail: lduitama@ingeomin.gov.co

1. Introducción

En el año 2002 el proyecto Investigación en utilización y procesamiento de rocas, minerales y carbones de INGEOMINAS, dio inicio a un trabajo sobre caracterización mineralógica, química y determinación de algunas propiedades físicas de los materiales arcillosos que explotan las industrias ladrilleras ubicadas en la ciudad de Medellín y sus alrededores para fabricar ladrillos, tejas y tubos y de este modo suplir la demanda de estos productos en su zona de influencia.

El objetivo de esta investigación se centró principalmente en estudiar y caracterizar las unidades geológicas y zonas favorables de arcillas para uso en cerámica roja, sin desconocer otros posibles usos, con el fin de predecir, desde el yacimiento, los problemas que puede originar en los procesos de elaboración de las piezas, la presencia o no de componentes indeseables, o explicar a través de la materia prima los acabados o defectos que puedan presentar.

La metodología general para la realización de esta investigación se resume a continuación:

- Recopilación de información bibliográfica (revisión de mapa geológico de Antioquia y las planchas 146 Medellín occidental y 147 Amagá, informes internos de INGEOMINAS, revisión de técnicas analíticas para determinar composición química y mineralógica de las muestras), consulta de otras fuentes de información como Ladrilleras Unidas de Antioquia (LUNSA) con el fin de establecer los puntos donde sus asociados obtienen las materias primas y entrevista directa con algunos explotadores para conocer la evolución de dicha industria y los problemas que han identificado en sus productos.
- Establecimiento de criterios y selección de las unidades geológicas favorables para hacer la toma de muestras.
- Reconocimiento en campo de las unidades geológicas con el fin de determinar los diferentes estratos o niveles arcillosos, su continuidad lateral, espesor y la presencia de intercalaciones de material arcilloso, limoso o arenoso junto con su potencialidad, grado de cementación y consistencia.
- Toma de muestras. El muestreo se hizo abriendo canales de 10cmx20cmx10cm perpendiculares a los estratos, con una recolección total del material extraído del canal y mediante roleos y cuarteos sucesivos se obtuvieron muestras de 3 y 4 Kg.
- Validación de las técnicas analíticas empleadas para determinar la composición química de las muestras. Con el fin de garantizar el control estricto de los métodos aplicados en la evaluación de los yacimientos muestreados se evaluó la sensibilidad, límite de detección, precisión y exactitud de cada uno de los métodos químicos aplicados en la caracterización de las arcillas.
- Ensayos de caracterización de las muestras: clasificación granulométrica, análisis químicos por absorción atómica, análisis mineralógico por difracción de rayos X, medidas de plasticidad por el método de los límites de Atterberg, contracción en crudo y en quema, determinación del color en crudo y en quema por medio de la construcción y cocción de probetas a 1.000°C en horno eléctrico.
- Análisis e interpretación de resultados. Se hizo una correlación de los datos obtenidos con el fin de establecer si la composición química, mineralógica y las propiedades físicas medidas correspondían a los requerimientos del tipo de arcillas que exige la industria de cerámica roja a nivel nacional e internacional; en aquellos casos en los cuales no cumplía, se estableció sobre cuales elementos presenta déficit con el fin de recomendar la mezcla con otros componentes minerales y de este modo lograr la pasta óptima para este tipo de piezas.
- Con base en los datos de análisis químico y mineralógico por DRX se calculó el análisis próximo mineralógico.
- Elaboración del informe.

2. Ubicación geográfica del área de estudio

En el departamento de Antioquia se encuentran ubicadas 45 ladrilleras de las cuales el 95,5% se hallan en operación (ANFALIT, 2002); su producción anual asciende a 494.112 toneladas. Los tipos de industria pueden catalogarse desde artesanales hasta altamente mecanizadas (Tabla 1).

Tabla 1. Tipo de industrias ladrilleras

Tipo industria	Número	Porcentaje
Grande	10	22,2
Mediana	15	33,3
Pequeña	6	13,3
Chircal	14	31,2

Fuente: ANFALIT (2002).

La arcilla que se usa como materia prima para la fabricación de los ladrillos y las tejas provienen del sector occidental de la ciudad de Medellín (Belén Altavista y Aguas Frías), sector suroccidental del Valle de Aburrá (municipio de Itagüí) y del municipio de Amagá.

El área de estudio comprende parte de la denominada “Área metropolitana de Medellín” y la zona suburbana del municipio de Amagá (Figura 1). Se encuentra enmarcada dentro de las coordenadas geográficas X=1.160.000 a 1.195.000 y Y=810.000 a 840.000, su extensión aproximada es de 350 km².

Se analizaron 40 muestras tomadas en 19 estaciones de trabajo, las cuales corresponden a dos unidades geológicas y se distribuyen así: 14 de la Formación Amagá, 13 suelos residuales del Stock de Altavista en el área nororiental de Itagüí y 13 suelos residuales del Stock de Altavista en el área noroccidental de Medellín. La mayoría de estas muestras fueron tomadas en las zonas de explotación activas para producción de materiales de construcción (Figura 2).

3. Unidades geológicas favorables para arcillas de uso en cerámica roja

Las descripción de las unidades geológicas se basa en la cartografía de las planchas 146 Medellín occidental y 147 Amagá (INGEOMINAS, 1983). Cronológicamente estos materiales se ubican desde el paleozoico hasta el cuaternario, secuencia que se relaciona con los distintos paisajes fisiográficos que se encuentran en el área.

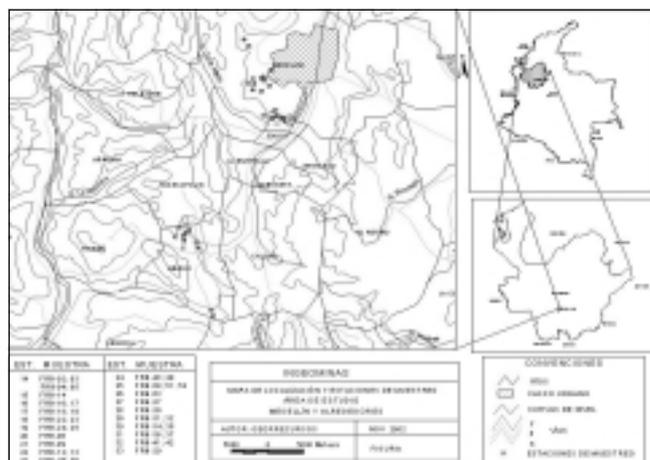


Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo.

3.1 Formación Amagá (Ts)

Este es un depósito de arcillas secundarias o transportadas, que se han acumulado con otros sedimentos en el llamado Terciario Carbonífero de Antioquia. El área fue estudiada en detalle por **Grosse E.**, quien en 1926 denominó Terciario Carbonífero de Antioquia al conjunto de estratos concordantes compuestos por sedimentos que afloran en la región de Amagá.

El nombre proviene de la población de Amagá, se extiende a lo largo de una franja de dirección NNW en el departamento de Antioquia. **Grosse E.** (1926) la dividió en tres pisos, que posteriormente **González** (1976), denominó Formación Amagá.

La unidad consta de rocas sedimentarias en una secuencia que va desde conglomerados hasta arcillolitas con intercalación de mantos de carbón; dividida según sus variaciones composicionales en tres miembros:

Miembro Inferior (200 m de espesor). Expuesto en Titiribí y el margen derecho de la Falla de Amagá, compuesto por conglomerados polimícticos, areniscas cuarzosas con matriz caolinítica, lodositas carbonosas y mantos delgados de carbón con espesores inferiores a 70 cm.

Los conglomerados de este miembro presentan gran variación en el tamaño de los clastos que lo constituyen, con diámetros de partículas entre 0,2 y 10 cm, embebidos en una matriz limoarcillosa, sus niveles pocas veces superan los 6 metros; las areniscas son por lo general de grano grueso, de cuarzo, con cemento a menudo

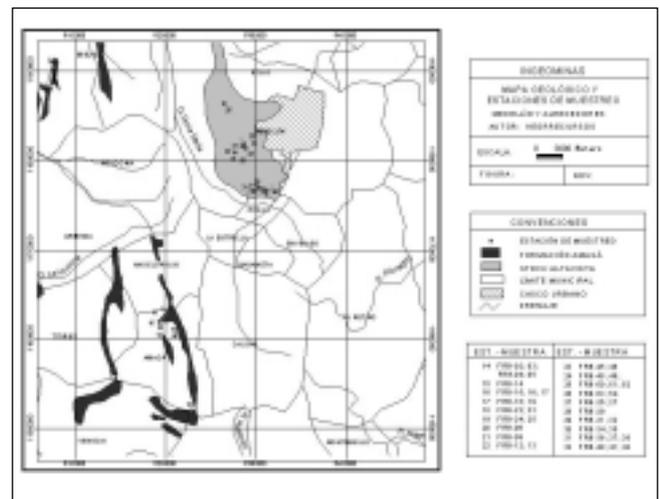


Figura 2. Unidades geológicas favorables arcillas de uso en cerámica roja.

caolinítico que le da un color blanco y gris, con espesores de 1 a 100 metros.

Miembro Medio (200 a 250 m de espesor). Contiene los mantos de carbón económicamente explotables, este miembro carece de los niveles conglomeráticos antes mencionados ofreciendo un mayor espesor de las capas de lodolitas, arcillolitas carbonosas y arcillas pizarrosas de color gris y presenta niveles de areniscas, concreciones arenosas con matriz siderítica. Aflora al norte de Amagá y al este de Titiribí.

Miembro Superior (1.000 m de espesor). Aflora en Amagá en la quebrada Gualí y está constituido por areniscas bien cementadas de color crema, arcillas fisiles, gris verdosas y ocres y localmente bancos delgados de conglomerados y carbón.

3.2 Stock de Altavista (Kida)

Este plutón fue descrito parcialmente en 1933 en la quebrada Altavista, al occidente de Medellín. **Botero** (1963) denominó así a un cuerpo intrusivo de composición diorítica que aflora al oeste de Medellín. La composición varía entre diorítica a monzonítica con facies aplíticas en los bordes. Dicha roca es leucocrática con fenocristales de plagioclasa zonada, cuarzo y ortosa en una matriz de igual composición. **Restrepo & Toussaint** (1984) concluyen que se trata de un plutón hipoabisal emplazado muy cerca de la superficie y con amplia diferenciación en una cámara magmática; mientras que para **Rodríguez & Montoya**, (1993) la diferenciación es debida a la formación de un cuerpo en al menos dos pulsos magmáticos reconocibles en tiempo, el espacio y composición, estando el primer pulso emplazado cerca de la superficie y el segundo a mayor profundidad.

El cuerpo plutónico que aflora en la margen occidental del Valle de Aburrá, ocupa un área de 85 km²; presenta gran variedad petrográfica ya que existen rocas desde gabros, dioritas, tonalitas hasta rocas con matriz afanítica de composición andesítica, que son las que parecen predominar.

4. Composición química, y mineralógica y algunas propiedades físicas determinadas en las unidades estudiadas

Se tomaron 40 muestras de material arcilloso, las cuales fueron sometidas a ensayos de caracterización en los laboratorios de de la Subdirección de ensayos y Servicios Tecnológicos de INGEOMINAS. Estos ensayos permiten aproximarse al comportamiento o aptitud de uso para su empleo en cerámica roja y fueron los siguientes:

Determinación de la composición química. Los análisis químicos se realizaron en muestras representativas de cada punto de muestreo molidas a malla -100; fueron disueltas mediante ataque con HF del 40% por 8 horas y una hora al baño María, seguido por dilución con solución saturada de H₃BO₃ la cual contenía 2.000 ppm de CsCl. La solución resultante fue analizada por AA en el equipo PERKIN EILMER 3.110; a cada una se le determinaron los contenidos de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO₂, humedad residual y pérdida por calcinación a 1.000°C. Como pruebas adicionales se determinaron el pH en pasta saturada y la conductividad, esta última con el objeto de conocer los contenidos de sales solubles los cuales están ligados directamente con esta propiedad.

1. Determinación de la composición mineralógica.

La composición mineralógica de las muestras se hizo mediante difracción de rayos-x de polvo en muestras desorientadas y la determinación de los grupos de minerales arcillosos, mediante esta misma técnica sobre muestras orientadas, secadas al aire en rutina normal, solvatación con etilenglicol y posterior calentamiento a 500°C. Se empleo un difractómetro de rayos-x de polvo (marca RIGAKU modelo RINT 2200), rango de medición de muestras desorientadas entre 2 y 70 grados a 2θ; con velocidad de escaneo de 5 grados por minuto; y el rango de medición usado para las muestras orientadas fue de 2 a 20 grados a 2θ, velocidad de escaneo 1 grado por minuto; 40kV, 30mA.

Plasticidad. Para determinar esta propiedad se utilizó el método indirecto o método de Atterberg, siguiendo la norma ASTM D 4318, en la cual se considera una pasta de arcilla y agua que se seca progresivamente pasando del estado líquido al plástico y finalmente al sólido. Los valores que se determinaron con este método fueron: el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límite de contracción o retracción. Los datos obtenidos se representan en el Diagrama de Casagrande.

Contracción en crudo y en quema. Determinando la variación de una de las dimensiones de un ladrillo elaborado con la mezcla de arcilla y agua y siguiendo el método descrito en la norma ASTM C-326 se hizo la determinación de esta propiedad. A partir del material pulverizado se construyeron ladrillos (largo 10,5 cm, ancho 4,5 alto 2,3 cm), los cuales fueron secados a 110°C en una estufa de laboratorio hasta llevarlas a una temperatura de 1.000°C, con un tiempo de permanencia de 60 minutos, una vez cocidos los ladrillos, se midió la longitud final de estos y se determinó la contracción lineal que presentaban, el color y la textura de la pieza cocida.

5. Resultados y discusión

La composición química encontrada para cada unidad arcillosa fue comparada con la establecida como ideal para uso directo en diferentes aplicaciones cerámicas como alfarería común, tubería de gres, (Tabla 2); los resultados de los análisis granulométricos localizados en el diagrama de aptitudes de **Winkler** (1954) para establecer la aptitud o no del mineral para uso en cerámica se combinaron con los datos extractados del Diagrama de Casagrande y la evaluación física de los ladrillos cocidos con las arcillas analizadas para finalmente establecer la aptitud cerámica de dichos materiales.

Además, la arcilla debe tener un bajo contenido de material orgánico para que en el proceso de la cocción no queden espacios vacíos por el consumo de este material (**Alvarado**, 2002).

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada unidad geológica:

Formación Amagá (Ts)

En las Figuras 3 y 4 se presentan las composiciones químicas y mineralógicas características de la Formación Amagá.

Se observa que los contenidos de sílice varían entre 50 y 66% y de óxido de aluminio entre 12 y 30%; si se toman como referencia los valores registrados para estos óxidos en la Tabla 2, nueve de las muestras de esta formación presentan contenidos de sílice adecuados para ser empleadas como materia prima para alfarería común; sin embargo, solo tres cumplen con el tenor de Al_2O_3 requerido. Las muestras FRB 03 y FRB 05 cumplen con los requisitos composicionales para ser empleadas directamente en alfarería.

Tabla 2. Composición química para diferentes aplicaciones cerámicas

Tipo industria	Alfarería común	Tubería de gres
SiO ₂	57,7 a 63,1	
Al ₂ O ₃	27,1-21,6	20,5-9,1
Fe ₂ O ₃	6,1-3,0	0,2-1,1
TiO ₂		0,1-1,8
CaO	5,6-0,4	
MgO	0,1-0,5	0-0,3
K ₂ O	2-2,0	
Na ₂ O	0,2-2,0	0,3-2,0
Álcalis y ácidos	= 0,2	

Fuentes: **Rodríguez A** (1998), **Alvarado** (2002).

La muestra FRB 14 requerirá ser mezclada con arcillas más plásticas para poder ser utilizada como pasta cerámica (el contenido de Al_2O_3 está por debajo del rango óptimo).

El contenido de álcalis total es de 2,9%.

La muestra FRB 18 muestra un pH básico (8,1) y una conductividad alta (428 μ s) sugiriendo que existe un proceso de hidrólisis básica y alta actividad iónica en este punto de la Formación.

Los valores de conductividad encontrados en esta formación (61 a 872 μ s) están relacionados con el contenido

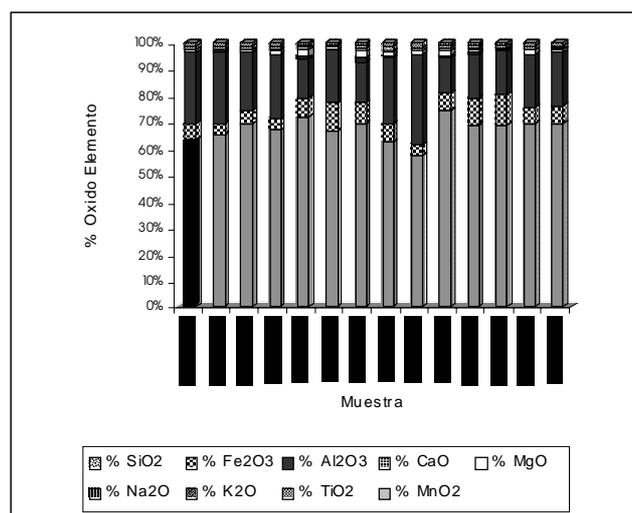


Figura 3. Composición química F. Amagá.

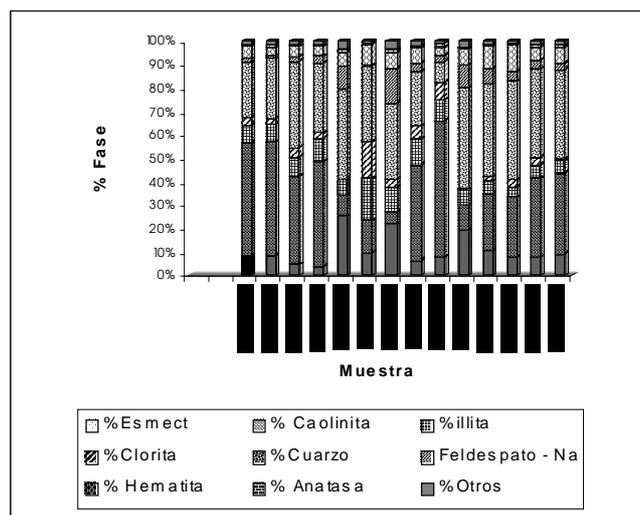


Figura 4. Composición mineralógica F. Amagá.

de sales, lo que corrobora la predisposición de esta materia prima a producir eflorescencias en las piezas terminadas.

Según los resultados del análisis próximo mineralógico (correlación entre el análisis químico y mineralógico), predominan cuarzo y caolinita; la proporción de minerales arcillosos para esta Formación es caolinita > esmectita > illita > clorita. Los contenidos de feldespatos son variables, desde 0,4 a 13,5%, los de hierro como hematita están en los rangos de 3,3 a 10,3. Las arcillas con capas intrestratificadas mas comunes son Illita-clorita.

Las muestras que presentaron valores altos de Al_2O_3 y de caolinita, en la fracción arcillosa, muestran mayor plasticidad (muestras FRB 17 y 18).

La gráfica de los datos obtenidos para los límites líquido y plástico de cada muestra en el diagrama de Casagrande, permite visualizar como 6 de las 14 muestras analizadas en esta Formación se sitúan en la zona correspondiente a mediana plasticidad, una de ellas (FRB15) no presenta comportamiento plástico y el resto se ubican en la zona de baja plasticidad (Figura 5).

En cuatro de las muestras donde el contenido de caolinitas es menor al 10%, se podría esperar disminución en la plasticidad pero la presencia de esmectitas en porcentajes altos contrarresta dicho efecto (muestras FRB 14,16, 19 y 22).

Cuatro de las 14 muestras analizadas, presentaron color rosado claro después de ser cocidas a $1.000^{\circ}C$, lo cual puede deberse a su bajo contenido de hierro, las otras obtuvieron colores que van desde tonalidades amarillas rojizas a cafés claros; el porcentaje de contracción presentado en los ladrillos fue bajo, lo que puede atribuirse a la presencia de caolinita y de sílice en proporciones apreciables.

Stock Altavista Itagüí.

En las figuras 6 y 7 se muestran las composiciones químicas y mineralógicas

Características del Stock Altavista.

De las 13 muestras analizadas para esta unidad, en general se puede ver que el nivel de Al_2O_3 esta en el rango recomendado para alfarería común, pero el nivel de sílice es bajo; la muestra FRB 41 es la que presenta contenidos ideales para ser usada en alfarería. La mayoría de las muestras presentan pH ligeramente ácido (de 4,9 a 6,4) y valores de conductividad baja ($< 100 \mu s$), lo cual podría significar que estos materiales son proclives a una baja hidrólisis, lo que admite suponer poca actividad química en las rocas.

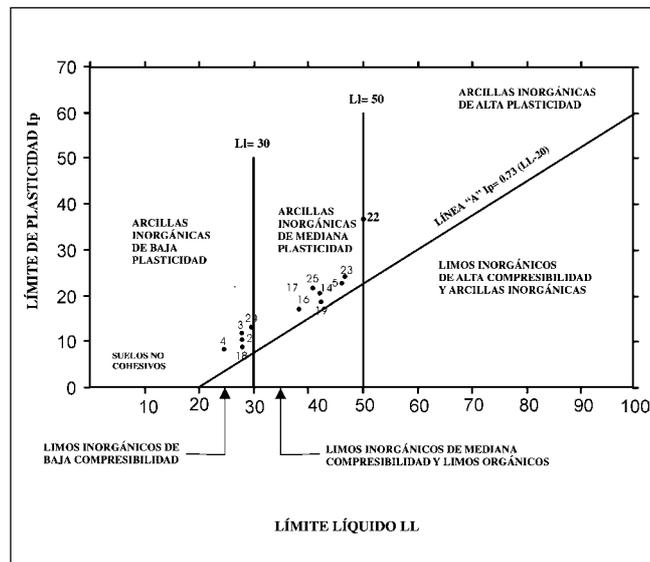


Figura 5. Diagrama de Casagrande F. Amagá.

Las trece muestras analizadas presentan como mineral predominante caolinita, seguido de illita; 4 de las muestras son ricas en esmectitas y presentan como mineral accesorio clorita. El contenido de minerales arcillosos fluctúa entre un 60 y 75% para todas las muestras analizadas. La variación en las proporciones de minerales puede ser debida a diferentes grados de meteorización de la roca en el sitio de muestreo, claro esta, sin tener en cuenta las variaciones composicionales que la roca pueda presentar. Concentraciones tan altas de caolinita pueden favorecer la explotación selectiva de este mineral.

Tres de las muestras analizadas presentan contenidos de calcio y magnesio altos; debido a la presencia de anfíboles y minerales ferro-magnesianos concentrados selectivamente en la roca.

Los contenidos de cuarzo libre según se puede deducir del análisis próximo mineralógico son bajos, oscilan entre 6,12 y 18,67%; esto podría ocasionar una menor resistencia mecánica en las piezas. El contenido de feldespato oscila entre 0,08 y 22,7%; los de hematita en 2,93 a 14,82%.

La mayoría de las muestras se sitúan en el Diagrama de Casagrande en la zona correspondiente a limos inorgánicos de mediana compresibilidad y limos orgánicos (Figura 8). La presencia de estos limos orgánicos contribuye a dar mayor plasticidad a la pasta durante el proceso de moldeo pero en el de cocción dejan espacios vacíos al quemarse la materia orgánica, afectando la resistencia mecánica de las piezas que se fabriquen con estas arcillas.

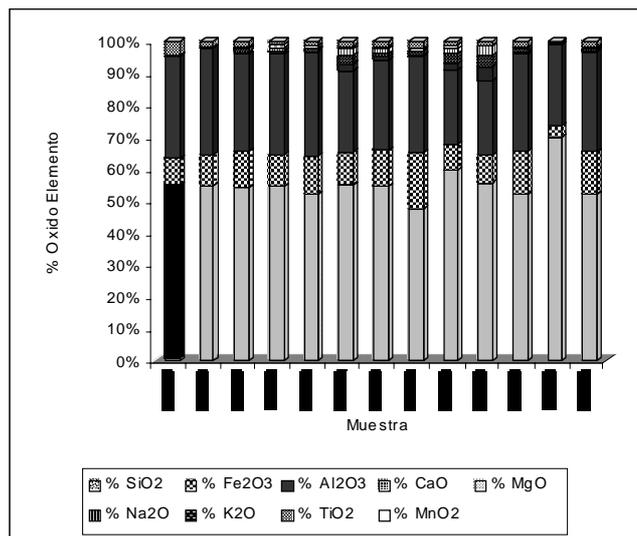


Figura 6. Composición química Stock Altavista-Itagüí.

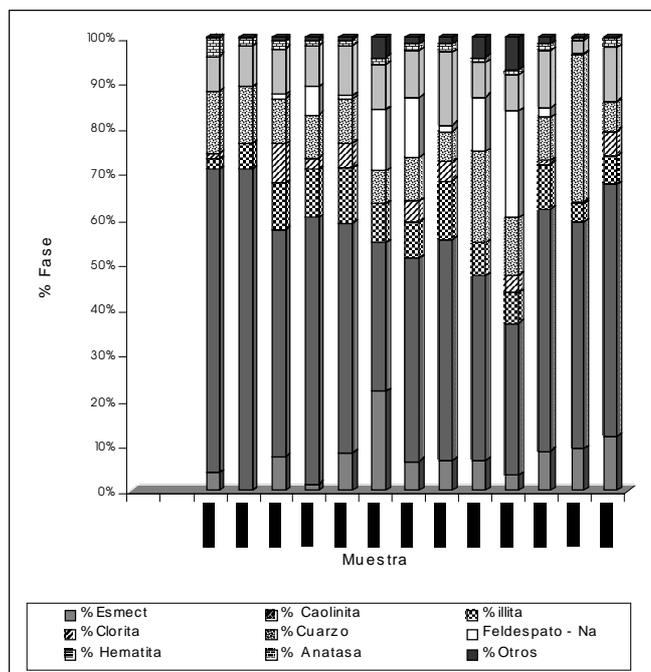


Figura 7. Composición mineralógica Stock Altavista-Itagüí.

El color en quema de los ladrillos producidos con estas arcillas va desde amarillo rojizo a rojo claro.

El bajo tenor de SiO_2 registrado en los análisis químicos hace predecir que se presentará un valor alto en la contracción de las piezas fabricadas con esta arcilla, tal como se encontró en los ensayos realizados, los valores oscilaron entre 1,93 y 3,28 cm.

Stock Altavista Medellín

Los resultados de los análisis químicos de estas muestras se presentan en la Figura 9 y la composición mineralógica en la Figura 10.

Los resultados de la composición química encontrados, reflejan una marcada semejanza con los obtenidos para el Stock Altavista Itagüí; se puede observar que los tenores Al_2O_3 están dentro de los rangos recomendados para el uso de las arcillas en la fabricación de ladrillos, pero los de SiO_2 están por debajo.

Los valores de conductividad y pH son similares a los encontrados en el Stock de Altavista Itagüí.

Como puede verse en la Figura 10; todas las muestras presentan como mineral arcilloso más abundante la caolinita con contenidos que van desde 20,7% hasta 52%; los otros minerales presentes en orden de abundancia serían: illita clorita y en muy baja proporción esmeectita. Algunas muestras presentan contenidos variables de gibbsita, lo cual podría favorecer una explotación selectiva de este material para aplicación en productos refractarios.

En la Figura 11 se presenta el Diagrama de Casagrande para esta unidad, donde se puede ver que sólo dos muestras pueden ser clasificadas como de mediana plasticidad; tres están en la zona correspondiente a limos inorgánicos de alta compresibilidad, una no presenta comportamiento plástico y las demás son limos de mediana compresibilidad.

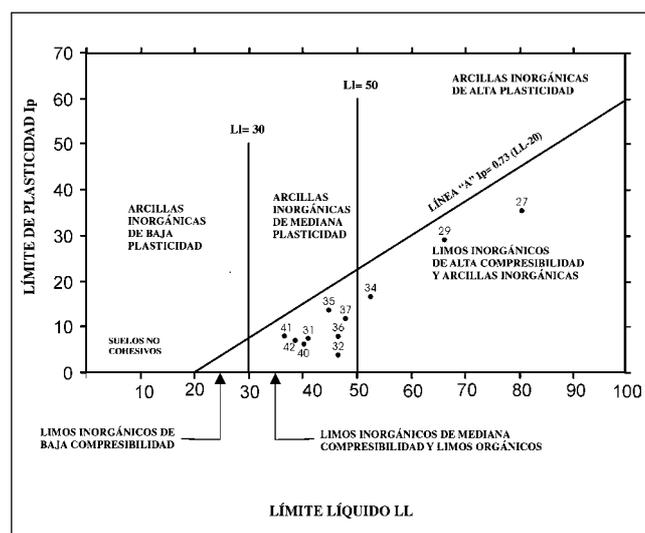


Figura 8. Diagrama de Casagrande Stock de Altavista-Itagüí.

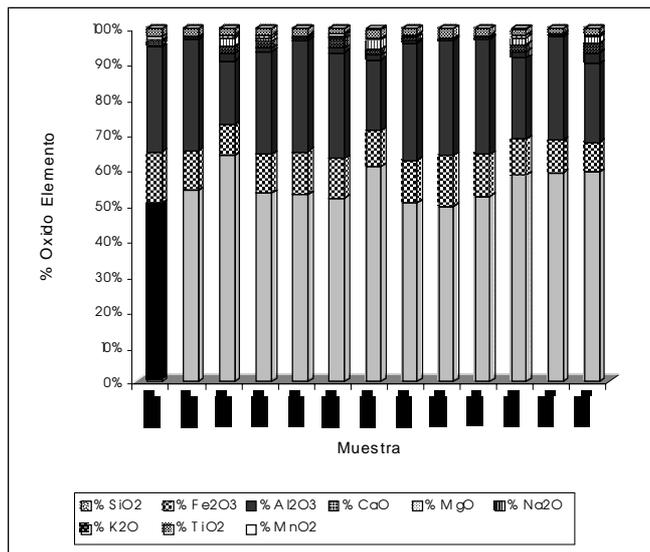


Figura 9. Composición química Stock Altavista-Medellín.

Las muestras que presentaron mayor contracción corresponden a aquellas que en el análisis mineralógico dieron valores altos de halloysita (FRB 6,9, 51,52 y 53). Los contenidos de illita contribuyen a dar una apariencia brillante al ladrillo cocido y de grano fino.

6. Conclusiones

Las muestras de la Formación Amagá presentaron mayores contenidos sales y valores de conductividad altos lo cual puede causar eflorescencias en las piezas cocidas.

Las muestras del Stock de Altavista en las zonas de Itagüí y Medellín son muy similares en su composición química, mineralógica y valores de plasticidad, situándose en el Diagrama de Casagrande en la zona de limos orgánicos e inorgánicos de mediana plasticidad. La presencia de materia orgánica no favorece el proceso de cocción ya que pueden quedar espacios vacíos por el consumo de este material ocasionando imperfecciones en las piezas cocidas.

La presencia de óxidos de hierro en menor proporción en las arcillas de la Formación Amagá le da a las piezas cocidas una coloración más clara que las que se obtiene con las arcillas del Stock de Altavista.

El conocer la composición química, mineralógica y los límites de Attemberg permiten predecir cual va ser el comportamiento de las arcillas durante la cocción, contribuyendo a mejorar los resultados obtenibles con cada tipo de arcillas.

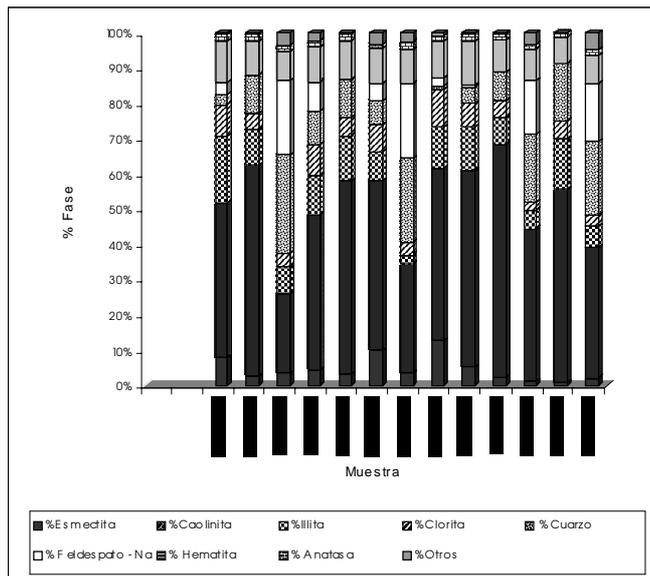


Figura 10. Composición mineralógica Stock Alta vista - Medellín.

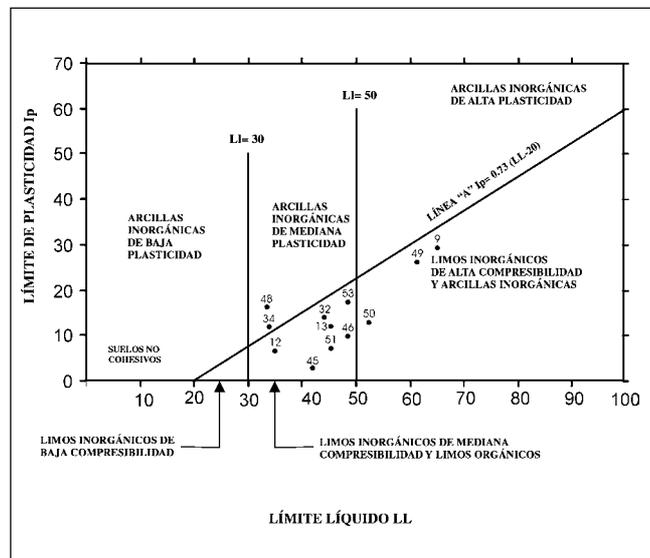


Figura 11. Diagrama de Casagrande Stock de Altavista-Medellín.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración y apoyo financiero de INGEOMINAS y la orientación científica de la química Inés Bernal y el geólogo Antonio Rodríguez. Se resalta la participación del personal científico y técnico del Laboratorio de Minerales de INGEOMINAS: químicos Marcela Hernández, Marcela Pachón, María Helena Múnera

y Hernán Cabezas; técnicos Alejandro Carrión, Alvaro Hernández, Pablo Enrique Pinto y Juan Pablo Bolaños.

8. Bibliografía

- Alvarado, J. N.** 2002. Guía práctica No. 1: laboratorio de cerámicos. www.construaprende.com/lab.
- ANFALIT**, 2002. Diagnóstico de la industria ladrillera en Revista Terracota. Edición Nro 5. Bogotá.
- Botero, G.** 1963. Contribución al conocimiento de la geología de la zona central de Antioquia: Anales de la Facultad de Minas, No. 57. Medellín.
- González H.** 1976. Geología del cuadrángulo J-8 Sonsón. Informe 1704. INGEOMINAS. Bogotá.
- Grosse, E.** 1926. El terciario carbonífero de Antioquia. Dietrich Reimer Editor. Berlín.
- Ingeominas**, 1983. Geología de la plancha 146. Medellín occidental. Escala 1:100.000
- Ingeominas**, 1983. Geología de la plancha 147. Amagá. Escala 1:100.000
- Rodríguez A.** 1998. Las arcillas. Aportes a su conocimiento, evaluación y caracterización físico cerámica. INGEOMINAS. Informe 2304b. Bogotá.
- Rodríguez G. & Montoya T.** 1993. Evolución magmática del Stock de Altavista. Memorias VI Congreso Colombiano de Geología. Medellín.
- Restrepo, J. J. & Toussaint J. F.** 1984. Unidades litológicas de los alrededores de Medellín. Primera conferencia sobre riesgos geológicos del Valle de Aburrá. Sociedad Colombiana de Geología Mecánica. Medellín.
- Winkler, H.G.F.** 1954. Bedeutung der Korngrößenverteilung und des mineral-bestandes von Tonen für die Herstellung grobkeramischer Erzeugnisse. Ber. DKG, 31, 337-343.

Recibido el 30 de agosto de 2003

Aceptado para su publicación el 10 de marzo de 2004

ESTUDIO QUÍMICO DE LA NUEZ DEL MARAÑÓN GIGANTE (*ANACARDIUM GIGANTEUM*)

por

Freddy A. Ramos¹, Coralia Osorio^{*1}, Carmenza Duque¹, Claudia Cordero²,
Fabio Aristizábal², Cristina Garzón³ & Yoshinori Fujimoto⁴

Resumen

Ramos, F., C. Osorio, C. Duque, C. Cordero, F. Aristizábal, C. Garzón & Y. Fujimoto: Estudio químico de la nuez del marañón gigante (*Anacardium giganteum*) Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 565-575, 2004. ISSN: 0370-3908.

A partir del extracto metanólico de la nuez de *Anacardium giganteum* se aislaron e identificaron mediante técnicas espectroscópicas (EM, RMN ¹H y de ¹³C) los siguientes compuestos: 5-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienil]resorcinol **1**, 5-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienil]resorcinol **2**, 5-[8'(Z)-pentadecenil]resorcinol **3**, ácido 6-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienil]salicílico **4**, ácido 6-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienil]salicílico **5**, ácido 6-[8'(Z)-pentadecenil]salicílico **6**, ácido 6-pentadecilsalicílico **7**, naringenina-7-(6''-O-*p*-cumaroil)-β-D-glucopiranosido **8** y naringenina-7-O-β-D-glucopiranosido **9**. Es importante resaltar que en éste trabajo es la primera vez que se realiza la asignación inequívoca de las señales de RMN ¹H y de ¹³C del compuesto **8**, mediante el uso de las técnicas bidimensionales HMQC y HMBC. También es la primera vez que se determina la actividad citotóxica de los compuestos **1 - 9** contra las líneas celulares de tumores humanos HEP-2, MCF-7, HT-29 y MKN-45. En dichos ensayos de citotoxicidad, los compuestos **1 - 3** y **8** fueron activos contra las cuatro líneas celulares utilizadas.

Palabras clave: Anacardiaceae, *Anacardium giganteum*, lípidos fenólicos, citotoxicidad, marañón gigante.

Abstract

From the methanolic extract of the *Anacardium giganteum* nut, the following compounds: 5-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienyl]resorcinol **1**, 5-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienyl]resorcinol **2**, 5-

¹ Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Bogotá, Colombia.

² Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

³ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

⁴ Department of Materials Science, Tokyo Institute of Technology, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8551, Japan.

* A quien debe enviarse la correspondencia. Tel: +57-1-3165000, ext. 14472/14452. Fax: +57-1-3165220. E-mail: cosorior@unal.edu.co

[8'-(Z)-pentadecenyl]resorcinol **3**, 6-[8'-(Z),11'-(Z),14-pentadecatrienyl]salicylic acid **4**, 6-[8'-(Z),11'-(Z)-pentadecadienyl] salicylic acid **5**, 6-[8'-(Z)-pentadecenyl]salicylic acid **6**, 6-pentadecylsalicylic acid **7**, naringenin-7-(6''-O-*p*-cumaroyl)- β -D-glucopyranoside **8** and naringenin-7-O- β -D-glucopyranoside **9**, were isolated and identified by spectroscopic techniques (MS, ^1H and ^{13}C NMR). It is important to note that this is the first time that the unequivocal assignment of ^1H and ^{13}C NMR signals of compound **8** is made on the basis on its HMQC and HMBC spectra. This is also the first time that cytotoxic activity of compounds **1** – **9** against human tumor cell lines HEP-2, MCF-7, HT-29 and MKN-45 is evaluated. In these assays, compounds **1** – **3** and **8** were active against the above-mentioned cell lines.

Key words: Anacardiaceae, *Anacardium giganteum*, phenolic lipids, citotoxicity, giant marañón.

Introducción

La selva tropical húmeda de la región amazónica, es una de las áreas de biodiversidad más ricas del mundo, por albergar varios miles de especies de plantas y animales que son utilizados para diferentes fines, entre ellos: alimento, aceite, fibras, combustible, perfumes, medicinas, anti-conceptivos, entre otros. Este gran potencial, lamentablemente se encuentra amenazado por diferentes procesos como la deforestación, la ampliación de la frontera agrícola, la explotación de los recursos mineros y la apertura de vías de comunicación, los cuales están disminuyendo ostensiblemente la biomasa, y lo que es más grave, están acabando con la población aborígen que históricamente ha vivido en esta zona explotando racionalmente de sus recursos (TCA 1994). Uno de los aspectos más significativos del saber ancestral de éstas comunidades, es la utilización de las plantas medicinales; de modo que para los países de la cuenca amazónica, la protección de dicho saber ancestral y la defensa de los recursos genéticos por medio de la creación de una sólida base científico-tecnológica, deben ser aspectos fundamentales a contemplarse en sus políticas nacionales y regionales.

El presente trabajo hace parte de los estudios de las especies frutales de origen amazónico que se están realizando en nuestro grupo de investigación (Bonilla A *et al.* 2004; Nakagawa H *et al.* 2004). Dichos estudios están enfocados a la búsqueda de compuestos con actividad biológica (particularmente actividad citotóxica), con miras a lograr un aprovechamiento integral de estas especies.

Anacardium giganteum, es un árbol frutal no domesticado, nativo de zonas tropicales amazónicas que crece entre 0-500 msnm y alcanza en promedio 25 m de altura y 60 cm de diámetro. Comúnmente se conoce con los nombres de marañón gigante, marañón amazónico, sasha casho, cajui y añaná. La nuez es una drupa poco carnosa,

reniforme, de color café que está unida a un pseudofruto carnoso, el cual es de color naranja o naranja-rojizo externamente y amarillo claro en el interior cuando está maduro, y cuyas dimensiones varían entre 7 y 9 cm de largo por 5 a 7 cm de diámetro. El pseudofruto contiene una pulpa succulenta, fibrosa, con abundante jugo agrídulce, de color rosado y de sabor muy agradable. Se consume directamente o se utiliza en la preparación de refrescos y bebidas fermentadas. La nuez contiene una almendra comestible luego de un proceso de tostado; tiene además un alto contenido de un líquido color café, el cual es usado por las comunidades indígenas en el tratamiento de la tos, la eliminación de mezquinos y verrugas, como cicatrizante y como antidiarreico (Arévalo LA *et al.*, 2001; TCA 1997). Es importante mencionar que al momento de iniciar el presente trabajo sólo existía un estudio químico de la especie en el cual se señaló el aislamiento del ácido 6-undecil salicílico a partir del fruto (Sharma NK *et al.*, 1966).

Teniendo en cuenta que el extracto metanólico de la nuez de *Anacardium giganteum* presentó actividad citotóxica contra algunas líneas celulares humanas, se desarrolló el presente trabajo con el fin de aislar e identificar algunos de los compuestos presentes en dicho extracto y determinar cuáles eran los responsables de la actividad citotóxica.

Materiales y métodos

General

Los espectros de RMN- ^1H y de ^{13}C se registraron en los equipos JEOL Lambda-300, JEOL Lambda-400 y JEOL Lambda-500. Para los espectros tomados en CDCl_3 se usó como referencia la señal del TMS en δ 0.00 ppm; para los espectros tomados en CD_3OD , se usó como referencia las señales del solvente en $\delta_{\text{H}} = 3.3$ ppm y $\delta_{\text{C}} = 49.0$ ppm. Los espectros de masas en modo IE se lograron en un equipo

de CGAR-EM Shimadzu QP-5050 con detector selectivo de masas en modo *scan* a 70 eV, registrando masas entre m/z 40 y 800 uma. Los espectros de masas en modo IQP se tomaron en el mismo equipo mencionado anteriormente, usando isobutano como gas reactivo, a una presión en la cámara de ionización de 1×10^{-2} Pa, voltaje de ionización de 70 eV y registrando masas entre 70 y 800 uma. Para la separación cromatográfica en CGAR se utilizó una columna HP-1 (25 m x 0.25 mm d.i y espesor de fase de 0.33 μm) con el siguiente programa de temperatura: 170°C por 10 min, luego se incrementó la temperatura hasta 270°C a 0.5°C/min y finalmente se dejó a 270°C durante 70 min; se utilizó helio como gas transportador a 1 ml/min y una relación de *split* de 1:10. La CLAE analítica se realizó en un equipo MERCK-HITACHI 6000A con detector DAD L-4500. La CLAE preparativa se realizó en un cromatógrafo MERCK-HITACHI 6000 con detector UV-VIS L-4250. La CLAE-EM se realizó con un cromatógrafo Shimadzu 10A acoplado a un detector de masas Shimadzu QP-8000 α , usando la fuente de ionización ESI y detectando los iones positivos con masas entre 50 y 1000 uma. Se usó un flujo de N_2 de 2.5 l/min para la nebulización, con temperatura del CDL de 250°C, temperatura en la interfase 250°C y voltaje de ionización de 1.5 kV. Para los análisis por CLAE-EM en modo APCI, se usó el mismo equipo con un flujo de N_2 de 2.5 l/min, temperatura en el CDL de 250°C y en la interfase de 400°C. El voltaje para la ionización fue 1.5 kV y se detectaron iones positivos con masas entre 50 y 1000 uma. La CCD se desarrolló en placas de sílica gel 60 F_{254} (MERCK) con espesor de 0.25 mm, empleando como revelador *p*-anisaldehído - H_2SO_4 y calentando a 100°C. Para la cromatografía en columna se utilizó como soporte sólido sílica gel 60 (MERCK, 0.040-0.063 mm). Los solventes usados tanto en CCD como en CC fueron de grado analítico (MERCK), y para los análisis por CLAE y CLAE-EM se usaron solventes grado LiChrosolv (MERCK).

Material vegetal

Los frutos de *Anacardium giganteum* fueron recolectados en la reserva nacional del parque Araracuara en la Amazonia Colombiana; un espécimen de referencia se depositó en el herbario del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y fue codificado como COL 479854.

Aislamiento y purificación de compuestos presentes en la nuez de *Anacardium giganteum*

Las nueces secas de *Anacardium giganteum* (55 g) se cortaron en trozos pequeños y se extrajeron con MeOH (500 ml) a 60°C durante cuatro horas, dos veces. Luego de

eliminar el solvente a presión reducida se obtuvieron 26 g de extracto metanólico crudo, el cual se sometió a partición entre cloroformo y agua, obteniendo dos fases: la clorofórmica (18 g) y la acuosa (8 g). Una parte de la fase clorofórmica (5 g) fue fraccionada por CC en 100g de sílica gel, utilizando como eluente un gradiente discontinuo de hexano-AcOEt (15:1 a 1:10), seguido por un gradiente discontinuo de AcOEt-MeOH (3:1 a 1:3). Se recolectaron 50 fracciones de 5 ml cada una, las cuales se monitorearon por CCD y se reagruparon para su estudio en tres partes: F1 (1-28), F2 (29-39) y F3 (40-50). La fracción F2 (158 mg) fue sometida a CC en 23 g de sílica gel, utilizando como eluente un gradiente discontinuo de benceno-AcOEt (1:0 a 1:1), para recolectar 46 fracciones de 5 ml cada una, las cuales se controlaron por CCD y se reagruparon en cuatro subfracciones: F21 - F24. La subfracción F23 (21-25, 120 mg) se sometió a CLAE-EM en modo ESI, empleando una columna Hypersyl ODS (100 mm x 2.1 mm d.i. x 3 μm) y como eluente una mezcla de MeOH- H_2O (8:2) a un flujo de 0.2 ml/min. Como resultado de este análisis se detectaron tres compuestos, los cuales fueron aislados por CLAE preparativa utilizando una columna Lichrosorb RP-18 (125 mm x 4.6 mm d.i. x 5 μm) y como eluente una mezcla de MeOH- H_2O (8:2) a un flujo de 1.0 ml/min y detector UV a 235 nm. Finalmente se obtuvieron los compuestos puros: **1** (10 mg), **2** (4 mg) y **3** (3 mg), los cuales se analizaron por RMN- ^1H y de ^{13}C y CGAR-EM (IE, IQP). La fracción F3 (103 mg) se sometió a CLAE-EM en modo ESI, empleando la misma columna mencionada anteriormente y como eluente una mezcla de MeOH-ácido acético 2% (9:1) a un flujo de 0.2 ml/min. Como resultado de este análisis se detectó la presencia de cuatro compuestos, los cuales fueron aislados por medio de CLAE preparativa utilizando una columna Lichrosorb RP-18 (125 mm x 4.6 mm d.i. x 5 mm), eluyendo con MeOH-ácido acético 2% (9:1) a un flujo de 0.8 ml/min y empleando un detector UV a 280 nm. Los compuestos puros obtenidos: **4** (14 mg), **5** (5 mg), **6** (4 mg) y **7** (1 mg), se analizaron por RMN- ^1H y CGAR-EM (IE, IQP).

Una parte de la fase acuosa (4 g), fue fraccionada por cromatografía instantánea en 75 g de sílica gel, eluyendo con 300 ml de AcOEt, seguido por 300 ml de MeOH para obtener dos fracciones: A1 (0.7 g) y A2 (3 g), respectivamente. El control por CCD de A1 (CHCl_3 -MeOH, 6:1) mostró la presencia de un compuesto con R_f 0.24 que reveló con FeCl_3 y sulfato sérico amónico. Una parte de esta fracción (550 mg) se sometió a CC en 40 g de sílica gel usando como eluyente un gradiente discontinuo de CHCl_3 -MeOH (1:0 a 1:6) para obtener 43 fracciones de 10 ml cada una. Estas fracciones se reagruparon de acuerdo con su comportamiento en CCD en cuatro subfracciones:

A11 - A14. La fracción A14 (38-43, 340 mg) se sometió a CC en 25 g de sílica gel, eluyendo con un gradiente discontinuo de CHCl_3 -MeOH (15:1 a 1:2), obteniendo 66 fracciones de aproximadamente 5 ml cada una. Estas fracciones fueron reagrupadas en 8 subfracciones: A141 - A148 de acuerdo con su comportamiento en CCD (CHCl_3 -MeOH, 6:1). A partir de la fracción A145 (40) se obtuvo el compuesto **8** (14 mg). Esta fracción se analizó en primera instancia por CLAE y CLAE-EM en modo APCI, empleando la columna Hypersyl ODS mencionada anteriormente y eluyendo con una mezcla de MeCN- H_2O (3:7) a un flujo de 0.2 ml/min. Posteriormente, el compuesto **8** se sometió a análisis por EM(IE), RMN- ^1H y de ^{13}C , mono y bidimensional. La fracción A2 (3 g) se sometió a CC en 180 g de sílica gel, usando como eluyente un gradiente discontinuo de CHCl_3 -MeOH (10:1- 0:1), obteniendo 160 fracciones de aproximadamente 20 ml cada una, las cuales se reagruparon en 4 subfracciones: A21 - A24. La fracción A23 (49-136, 2g) se sometió a sucesivas CC en sílica gel usando primero como eluyente un gradiente discontinuo de CHCl_3 -MeOH (20:1 a 1:3) y luego una mezcla isocrática de CHCl_3 -MeOH (8:1) para obtener la fracción denominada A2333 (64 mg). Esta fracción fue sometida a CLAE preparativa usando una columna Shizeido RP-18 (250 mm x 4.6 mm d.i. x 5 μm) y empleando el gradiente continuo de MeCN-AcOH 1% que se describe a continuación: de 0 a 8 min. 90% AcOH, de 8 a 18 min. gradiente lineal hasta 60% AcOH, de 18 a 25 min. 60% AcOH y de 25 a 30 min. un gradiente lineal hasta 90% AcOH a 1.0 ml/min. Finalmente se obtuvieron 2 mg del compuesto puro **9**, el cual se sometió a los análisis por CLAE-EM y RMN- ^1H con el fin de elucidar su estructura.

Ensayos de citotoxicidad

Los ensayos de actividad citotóxica del extracto crudo, de algunas fracciones y de los compuestos puros, se realizaron sobre las líneas de células tumorales HEp-2 (células de laringe contaminadas con HeLa), MCF-7 (cáncer de mama), HT-29 (carcinoma de colon) y MKN-45 (carcinoma gástrico). Los ensayos se desarrollaron por duplicado utilizando el método del MTT el cual se describe brevemente a continuación (Cordero CP, 2002): a partir de los cultivos en etapa de crecimiento exponencial, mantenidos a 37°C, 100% de humedad relativa, en medio mínimo esencial con 5% de suero fetal bovino y 50 mg/ml de gentamicina, se obtiene por tripsinización, una suspensión de células tumorales que se inocula en una placa de 96 pozos y éstas se preincuban a 37°C por 24 horas; luego del período de preincubación se adiciona el extracto o el compuesto a evaluar en diferentes concentraciones y se incuba de nuevo por 48 horas. Al finalizar la

incubación se adicionan 200 μL de MTT (0.25 mg/ml en medio de cultivo) y las células se incuban por 4 horas más a 37°C. Luego de eliminar el sobrenadante, el colorante Formazán que se haya obtenido se disuelve en 100 μL de DMSO con agitación. El coeficiente de extinción dependiente de la concentración del colorante en cada pozo se mide en un espectrofotómetro para placas a 570 nm. Como control positivo se emplea Doxorubicina HCl, un antineoplásico de uso común en clínica, que presenta actividad citotóxica frente a las cuatro líneas de células tumorales ensayadas. Los cálculos de la CL_{50} se realizan empleando una regresión con el modelo de Probits.

Datos espectroscópicos

5-[8'(Z), 11'(Z), 14-Pentadecatrienil] resorcinol (1):

EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 314 (M^+ , 4), 299 (2), 271 (1), 243 (2), 217 (3), 191 (4), 177 (5), 163 (24), 149 (20), 137 (19), 124 (100), 123 (62), 107 (15), 93 (23), 91 (20), 81 (21), 79 (48), 69 (10), 67 (45), 57 (2), 55 (28), 43 (5), 41 (42); EM (IQ) m/z (int. rel) 315 ($[\text{M}+\text{H}]^+$, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 315 ($[\text{M}+\text{H}]^+$, 100); RMN- ^1H (400 MHz, CDCl_3) δ 1.29 (8H, m, H_2 -3'- H_2 -6'), 1.55 (2H, m, H_2 -2'), 2.04 (2H, q, $J=6.8$ Hz, H_2 -7'), 2.46 (2H, t, $J=7.8$ Hz, H_2 -1'), 2.79 (2H, t, $J=5.7$ Hz, H_2 -10'), 2.81 (2H, t, $J=6.1$ Hz, H_2 -13'), 4.99 (1H, dq, $J=10.3$, 2.0 Hz, H-15'b), 5.05 (1H, dq, $J=17.3$, 2.0 Hz, H-15'a), 5.35-5.43 (4H, m, H-8', H-9', H-11', H-12'), 5.82 (1H, tdd, $J=17.3$, 10.3, 6.1 Hz, H-14'), 6.17 (1H, t, $J=2.2$ Hz, H-2), 6.25 (2H, d, $J=2.2$ Hz, H-4, H-6); RMN- ^{13}C (100 MHz, CDCl_3) δ 25.6 (C-10'), 27.2 (C-7'), 29.2, 29.4, 29.6, 29.6 (C-3', C-4', C-5', C-6'), 31.0 (C-2'), 31.5 (C-13'), 35.8 (C-1'), 100.2 (C-2), 108.1 (C-4, C-6), 114.7 (C-15'), 126.8 (C-9'), 127.6 (C-11'), 129.3 (C-12'), 130.4 (C-8'), 136.8 (C-14'), 146.1 (C-5), 156.4 (C-1, C-3). La asignación de las señales de RMN- ^{13}C está en concordancia con los datos publicados por Sargent M *et al.*, 1990.

5-[8'(Z),11'(Z)-Pentadecadienil]resorcinol (2):

EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 316 (M^+ , 4), 299 (1), 274 (1), 245 (1), 217 (5), 203 (2), 191 (3), 177 (3), 163 (15), 149 (10), 137 (19), 124 (100), 123 (40), 109 (5), 95 (13), 81 (24), 69 (5), 67 (39), 57 (2), 55 (26), 43 (2), 41 (35); EM (IQ) m/z (int. rel) 317 ($[\text{M}+\text{H}]^+$, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 317 ($[\text{M}+\text{H}]^+$, 100); RMN- ^1H (400 MHz, CDCl_3) δ 0.91 (3H, t, $J=7.5$ Hz, H_3 -15'), 1.38 (2H, sextete, $J=7.5$ Hz, H_2 -14'), 1.31-1.41 (8H, m, H_2 -3'- H_2 -6'), 1.57 (2H, m, H_2 -2'), 2.04 (4H, q, $J=6.3$ Hz, H_2 -7', H_2 -13'), 2.48 (2H, t, $J=7.6$ Hz, H_2 -1'), 2.78 (2H, t, $J=6.3$ Hz, H_2 -10'), 5.34-5.38 (4H, m, H-8', H-9', H-11', H-12'), 6.17 (1H, br s, H-2), 6.24 (2H, d, $J=1.9$ Hz, H-4, H-6); RMN- ^{13}C (100 MHz, CDCl_3) δ 13.8 (C-15'), 22.8 (C-14'), 25.7 (C-10'), 27.2 (C-7'), 29.2, 29.3, 29.4, 29.6 (C-3', C-4',

C-5', C-6'), 31.0 (C-2'), 31.6 (C-13'), 35.8 (C-1'), 100.1 (C-2), 108.0 (C-4, C-6), 128.0 (C-9', C-11'), 130.1 (C-8', C-12'), 146.1 (C-5), 156.6 (C-1, C-3). La asignación de las señales de RMN-¹H y de ¹³C está en concordancia con los datos publicados por **Sargent M et al.**, 1989.

5-[8'(Z)-Pentadecenil]resorcinol (3): EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 318 (M⁺, 3), 297 (1), 275 (2), 250 (1), 236 (1), 222 (5), 205 (3), 191 (4), 165 (6), 163 (8), 149 (6), 137 (15), 124 (100), 123 (45), 111 (3), 107 (2), 95 (3), 81 (3), 69 (10), 67 (8), 57 (2), 55 (40), 43 (36), 41 (38); EM (IQ) m/z (int. rel) 319 ([M+H]⁺, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 319 ([M+H]⁺, 100); RMN-¹H (400 MHz, CDCl₃) δ 0.88 (3H, t, J=6.9 Hz, H₃-15'), 1.30 (16H, m, H₂-3'-H₂-6', H₂-11'-H₂-14'), 1.58 (2H, m, H₂-2'), 2.01 (4H, q, J=6.1 Hz, H₂-7', H₂-10'), 2.48 (2H, t, J=7.8 Hz, H₂-1'), 5.35 (2H, t, J=5.6 Hz, H-8', H-9'), 6.17 (1H, br s, H-2), 6.24 (2H, br s, H-4, H-6); RMN-¹³C (125 MHz, CDCl₃) δ 14.1 (C-15'), 22.7 (C-14'), 27.2 (C-7', C-10'), 29.0, 29.2, 29.2, 29.4, 29.8, 29.8, 31.8 (C-3', C-4', C-5', C-6', C-11', C-12', C-13'), 31.0 (C-2'), 35.8 (C-1'), 100.1 (C-2), 108.0 (C-4, C-6), 129.8, 130.0 (C-8', C-9'), 146.1 (C-5), 156.6 (C-1, C-3). La asignación de las señales de RMN-¹H y de ¹³C está en concordancia con los datos publicados por **Lytollis WJ et al.**, 1995 e **Itokawa H et al.**, 1987.

Acido 6-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienil]salicílico (4): EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 298 ([M-CO₂]⁺, 4), 281 (1), 269 (2), 251 (1), 230 (1), 207 (8), 187 (2), 175 (2), 160 (2), 147 (25), 133 (20), 121 (20), 120 (24), 108 (75), 107 (100), 95 (23), 94 (22), 93 (30), 91 (24), 80 (27), 79 (55), 77 (28), 69 (5), 67 (48), 57 (8), 55 (25), 43 (48), 41 (40); EM (IQ) m/z (int. rel) 341 ([M-H]⁺, 20), 299 ([M-CO₂+H]⁺, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 343 ([M+H]⁺, 100), 325 ([M-H₂O+H]⁺, 95), 299 ([M-CO₂+H]⁺, 25); RMN-¹H (400 MHz, CDCl₃) δ 1.32 (8H, m, H₂-3'-H₂-6'), 1.58 (2H, q, J=7.6 Hz, H₂-2'), 2.04 (2H, q, J=6.7 Hz, H₂-7'), 2.79 (2H, t, J=5.6 Hz, H₂-10'), 2.82 (2H, t, J=6.4 Hz, H₂-13'), 2.97 (2H, t, J=7.9 Hz, H₂-1'), 4.98 (1H, dq, J=10.2, 1.9 Hz, H-15'b), 5.05 (1H, dq, J=17.3, 1.9 Hz, H-15'a), 5.34-5.43 (4H, m, H-8', H-9', H-11', H-12'), 5.82 (1H, tdd, J=17.3, 10.2, 6.3 Hz, H-14'), 6.77 (1H, dd, J=7.6, 1.0 Hz, H-5), 6.87 (1H, dd, J=8.3, 1.0 Hz, H-3), 7.36 (1H, dd, J=8.3, 7.6 Hz, H-4), 11.07 (1H, br s, COOH). La asignación de las señales está concordancia con los datos publicados por **Satoh M et al.**, 2001.

Acido 6-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienil]salicílico (5): EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 343 (M⁺, 1), 326 (1), 300 ([M-CO₂]⁺, 8), 281 (6), 271 (1), 257 (1), 230 (1), 219 (1), 201 (3), 187 (2), 175 (5), 161 (8), 147 (30), 133 (20), 121 (18), 120 (48), 108 (100), 107 (92), 95 (25), 91 (15), 81 (45), 79 (26), 77 (27), 69 (7), 67 (75), 57 (1), 55 (40), 43 (5), 41

(46); EM (IQ) m/z (int. rel) 343 ([M-H]⁺, 20), 301 ([M-CO₂+H]⁺, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 345 ([M+H]⁺, 30), 327 ([M-H₂O+H]⁺, 100), 309 ([M-2H₂O+H]⁺, 25), 301 ([M-CO₂+H]⁺, 10); RMN-¹H (300 MHz, CDCl₃) δ 0.90 (3H, t, J=7.4 Hz, H₃-15'), 1.34-1.41 (10H, m, H₂-3'-H₂-6', H₂-14'), 1.60 (2H, m, H₂-2'), 2.04 (4H, q, J=6.6 Hz, H₂-7', H₂-13'), 2.77 (2H, t, J=5.6 Hz, H₂-10'), 2.98 (2H, t, J=7.8 Hz, H₂-1'), 5.29-5.44 (4H, m, H-8', H-9', H-11', H-12'), 6.78 (1H, d, J=7.3 Hz, H-5), 6.87 (1H, d, J=8.3 Hz, H-3), 7.37 (1H, dd, J=8.3, 7.3 Hz, H-4), 10.80 (1H, br s, COOH). La asignación de las señales está concordancia con los datos publicados por **Satoh M et al.**, 2001.

Acido 6-[8'(Z)-pentadecenil]salicílico (6): EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 302 ([M-CO₂]⁺, 8), 284 (1), 267 (1), 249 (1), 234 (1), 219 (1), 206 (6), 189 (2), 175 (2), 161 (3), 147 (8), 133 (10), 121 (11), 120 (25), 108 (100), 107 (45), 95 (2), 91 (5), 81 (4), 79 (4), 77 (5), 69 (5), 67 (4), 57 (1), 55 (25), 41 (20); EM (IQ) m/z (int. rel) 345 ([M-H]⁺, 30), 303 ([M-CO₂+H]⁺, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 347 ([M+H]⁺, 40), 329 ([M-H₂O+H]⁺, 100), 311 ([M-2H₂O+H]⁺, 20); RMN-¹H (300 MHz, CDCl₃) δ 0.87 (3H, t, J=6.6 Hz, H₃-15'), 1.27-1.32 (16H, m, H₂-3'-H₂-6', H₂-11'-H₂-14'), 1.61 (2H, m, H₂-2'), 2.01 (4H, m, H₂-7', H₂-10'), 2.98 (2H, t, J=7.7 Hz, H₂-1'), 5.35 (2H, t, J=4.6 Hz, H-8', H-9'), 6.78 (1H, d, J=7.3 Hz, H-5), 6.87 (1H, d, J=8.1 Hz, H-3), 7.37 (1H, dd, J=8.1, 7.3 Hz, H-4), 10.80 (1H, br s, COOH). La asignación de las señales está concordancia con los datos publicados por **Itokawa H et al.**, 1987.

Acido 6-pentadecilsalicílico (7): EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 304 ([M-CO₂]⁺, 8), 279 (1), 261 (1), 240 (1), 208 (8), 207 (10), 193 (2), 167 (10), 162 (2), 149 (35), 133 (8), 121 (8), 120 (6), 108 (100), 107 (45), 95 (8), 91 (5), 77 (15), 71 (14), 69 (14), 57 (25), 55 (20), 44 (35), 43 (50), 41 (30); EM (IQ) m/z (int. rel) 347 ([M-H]⁺, 15), 305 ([M-CO₂+H]⁺, 100); EM (ESI) m/z (int. rel) 349 ([M+H]⁺, 100); RMN-¹H (300 MHz, CDCl₃) δ 0.88 (3H, t, J=7.1 Hz, H₃-15'), 1.25 (24H, m, H₂-3'-H₂-14'), 1.57 (2H, m, H₂-2'), 2.95 (2H, br t, J=7.5 Hz, H₂-1'), 6.75 (1H, d, J=6.8 Hz, H-5), 6.85 (1H, d, J=8.0 Hz, H-3), 7.33 (1H, dd, J=8.0, 6.8 Hz, H-4). La asignación de las señales está concordancia con los datos publicados por **Yamagiwa Y et al.**, 1987.

Naringenina-7-(6''-O-p-cumaroil)-b-D-glucopiranosido (8): UV (MeOH) λ_{max} 227.6, 286.4, 314.1; EM (IE, 70 eV) m/z (int. rel) 272 (60), 271 (58), 255 (10), 244 (2), 229 (1), 215 (1), 201 (2), 179 (25), 166 (40), 153 (100), 147 (25), 124 (20), 120 (75), 119 (23), 107 (30), 91 (43), 69 (33), 65 (28), 51 (15); EM (APCI) m/z (int. rel) 581 ([M+H]⁺, 20), 563 ([M-H₂O+H]⁺, 10), 309 ([M-272+H]⁺, 38), 273 (100), 272 (41); RMN-¹H y RMN-¹³C ver Tabla 1.

Tabla 1. Datos de RMN ¹H y de ¹³C del compuesto **8** (CD₃OD, 500 y 125 MHz).

Posición	δ _c ^a	δ _H ^b
2	80.4	5.25, dd (12.7, 3.0)
3a	44.1	3.07, dd (17.2, 12.7)
3b	-	2.68, dd (17.2, 3.1)
4	198.4	-
5	164.4	-
6	97.1	6.16, d (2.2)
7	166.8	-
8	97.9	6.21, d (2.2)
9	165.0	-
10	105.0	-
1'	130.9	-
2'	129.0	7.24, d (8.5)
3'	116.4	6.78, d (8.7)
4'	159.0	-
5'	116.4	6.78, d (8.7)
6'	129.0	7.24, d (8.5)
1''	101.1	4.98, d (7.5)
2''	74.6	3.45-3.51 m
3''	77.8	3.49, t (9.0)
4''	71.8	3.39, dd (9.6, 9.0)
5''	75.6	3.75, ddd (9.6, 7.3, 2.2)
6''a	64.7	4.54, dd (11.9, 2.2)
6''b	-	4.28, dd (11.9, 7.3)
1'''	127.2	-
2'''	131.2	7.37, d (8.7)
3'''	116.8	6.77, d (8.7)
4'''	161.2	-
5'''	116.8	6.77, d (8.7)
6'''	131.2	7.37, d (8.7)
7'''	146.9	7.57, d (16.0)
8'''	114.9	6.31, d (15.9)
9'''	169.1	-

^aAsignaciones realizadas con base en los espectros HMQC y HMBC; ^b δ en ppm, J en Hz.

Naringenina-7-O-β-D-glucopiranosido (9): UV (MeOH) λ_{max} 227.6, 285.6, 328.7; EM (APCI) m/z (int. rel) 435 ([M+H]⁺, 10), 274 (70), 273 ([M-hexosa+H]⁺, 100); RMN-¹H (500 MHz, CD₃OD) δ 2.75 (1H, dd, J=17.0, 3.0 Hz, H-3b), 3.16 (1H, dd, J=17.0, 12.0 Hz, H-3a), 3.39-3.47 (4H, m, H-2''-H-5''), 3.68 (1H, dd, J=12.0, 5.5 Hz, H-6''b), 3.87 (1H, dd, J=12.0, 2.0 Hz, H-6''a), 4.96 (1H, d, J=7.0 Hz, H-1''), 5.38 (1H, dd, J=12.5, 3.0 Hz, H-2), 6.18 (1H, d, J=2.5 Hz, H-6), 6.21 (1H, d, J=2.5 Hz, H-8), 6.81 (2H, d, J=8.5 Hz, H-3', H-5'), 7.31 (2H, d, J=9.0 Hz, H-2', H-6'). La posición del azúcar se asignó por comparación con los datos de la literatura (Sang S *et al.*, 2002).

Resultados y discusión

Aislamiento y purificación de los compuestos 1-9

El extracto metanólico de la nuez de *A. giganteum* fue sometido a partición entre cloroformo y agua, y la fase

clorofórmica se sometió a CC en silica gel (eluente hexano – AcOEt, 15:1 a 1:10) para obtener tres subfracciones (F1 – F3). Teniendo en cuenta que el extracto metanólico y la fase clorofórmica, así como las fracciones F2 y F3 presentaron actividad citotóxica contra líneas celulares de tumores humanos, éstas se seleccionaron para realizar un fraccionamiento posterior que condujo a la purificación de los compuestos **1** – **7**, siguiendo la metodología descrita en la sección Materiales y Métodos. Las estructuras de todos los compuestos aislados de la nuez de *A. giganteum* se presentan en la Figura 1.

Así, la fracción F2 se sometió a CC en sílica gel (eluente benceno – AcOEt, 1:0 a 1:1) para obtener la fracción F23, la cual al ser analizada por CCD mostró una banda con Rf = 0.75 (benceno – AcOEt, 2:1). Su análisis por cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas (CLAE-EM) y por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CGAR-EM) en modo ionización química, indicó que se trataba de una mezcla de los compuestos **1-3**, con pesos moleculares de 314, 316 y 318 uma, respectivamente. Posteriormente, el análisis de la fracción F23 por CGAR-EM en modo impacto electrónico sugirió que los compuestos **1** a **3** eran alquilresorcinoles con una cadena alifática insaturada, por la presencia del pico base en m/z 124, correspondiente a la fragmentación bencílica de este tipo de compuestos (Bouillant ML *et al.*, 1994); por la presencia de los iones en m/z 67 y 95, característicos de fenoles; y por las series de iones C_nH_{2n+1}⁺, C_nH_{2n-1}⁺ y C_nH_{2n-3}⁺, correspondiente a la cadena alifática insaturada. La CLAE preparativa permitió aislar estos tres compuestos en forma pura y su análisis por RMN-¹H y de ¹³C permitió identificar al compuesto **1** como el 5-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienil]resorcinol, aislado previamente a partir de *Anacardium occidentale* (Tyman JHP, 1979); al compuesto **2** como el 5-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienil]resorcinol, identificado previamente en *Anacardium occidentale* (Tyman JHP, 1979) y al **3** como el 5-[8'(Z)-pentadecenil]resorcinol, el cual ha sido registrado previamente como constituyente de *Anacardium occidentale* (Tyman JHP, 1979), *Knema elegans* (Spencer G *et al.*, 1980), *Oryza sativa* (Bouillant ML *et al.*, 1994), *Lysimachia japonica* (Arisawa M *et al.*, 1989) *Ginkgo biloba* (Itokawa H *et al.*, 1987) y *Hakea trifurcata* (Lytollis WJ *et al.*, 1995). La ubicación del doble enlace entre los carbonos 8' y 9' se confirmó por el ión en m/z 191 (presente en los espectros de masas obtenidos por IE y por IQP) correspondiente al rompimiento alílico de la cadena alifática en el enlace 6'-7', con eliminación 1-4 de Hidrógeno (Suzuki Y *et al.*, 1997). La geometría de los dobles enlaces en las posiciones 8' y 11' se estableció como Z, por comparación del desplazamiento

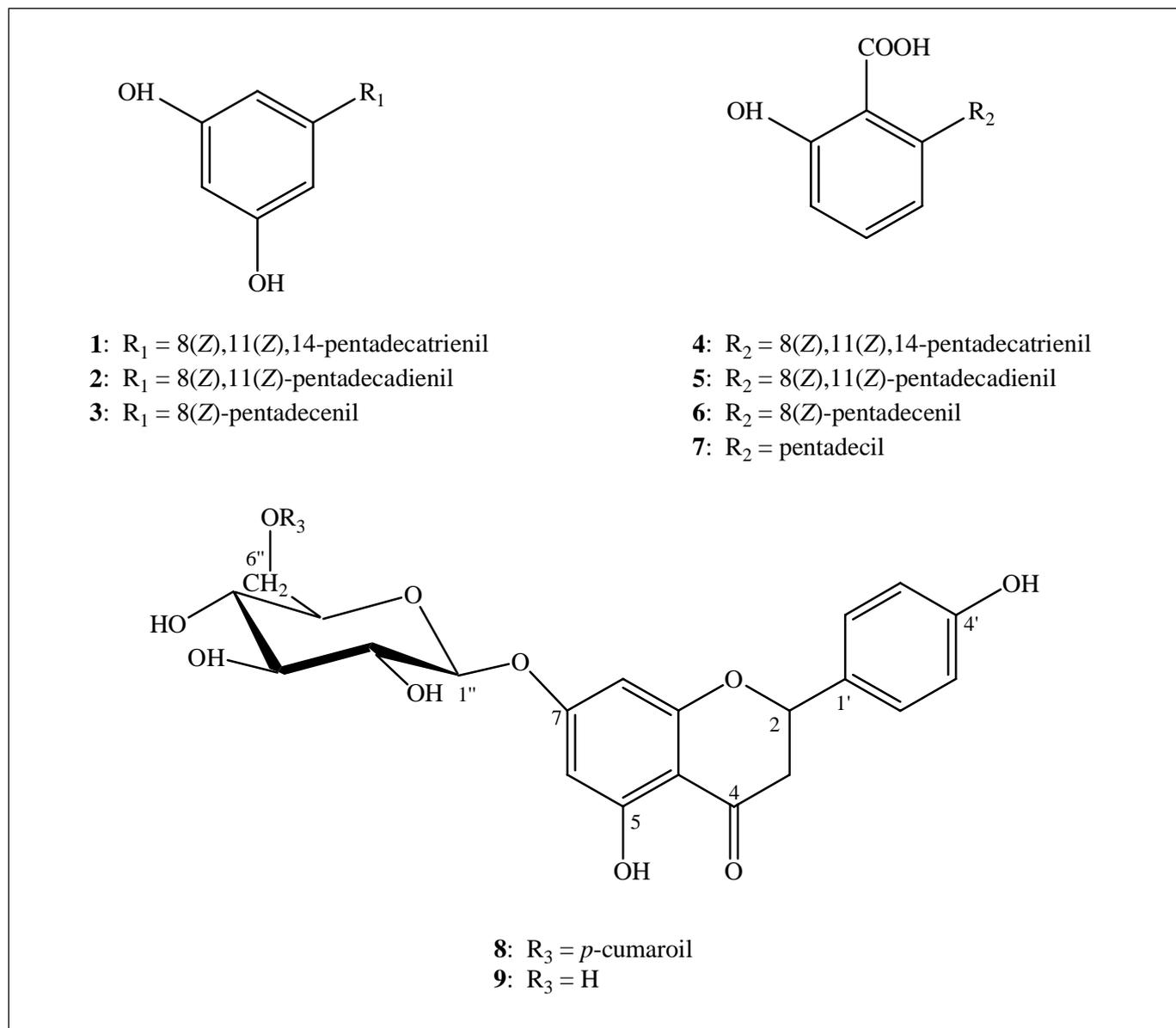


Figura 1. Compuestos identificados (**1-9**) en el extracto metanólico de la nuez de *Anacardium giganteum*.

químico en RMN- ^{13}C de los metilenos adyacentes a dichos dobles enlaces con los publicados en la literatura: d_c adyacente a doble enlace $Z=27.1$, $E=32.5$ (Lie Ken Jie M *et al.*, 1997).

En forma análoga a la descrita anteriormente, al analizar la fracción F3 (Rf 0.33, CCD, benceno-AcOEt, 2:1) por CLAE-EM en modo ESI positivo se detectó la presencia de cuatro compuestos **4-7** con iones pseudomoleculares $[M+H]^+$ en m/z 343, 345, 347 y 349, respectivamente. Otros iones intensos que se observaron en dichos espec-

tros y en los de IQP y ESI correspondientes a $[M-H]^+$, $[M-H_2O+H]^+$ y $[M-CO_2+H]^+$, evidenciaron la presencia de un grupo COOH en éstos compuestos. Adicionalmente, el perfil de fragmentación de los espectros de masas en modo IE, con un pico intenso en m/z 108 correspondiente a la fragmentación bencílica de un alquilfenol y las series de iones $C_nH_{2n+1}^+$, $C_nH_{2n-1}^+$ y $C_nH_{2n-3}^+$, característicos de una cadena alifática insaturada permitieron concluir que los compuestos **4-6** eran ácidos 6-pentadecilsalicílicos con tres, dos y una insaturación, respectivamente. En el caso del compuesto **7**, el análisis del espectro de masas en modo

IE solo indicó que se trataba de un ácido 6-alkilsalicílico con cadena alifática saturada. Posteriormente, éstos compuestos se aislaron mediante CLAE preparativa y su estructura fue confirmada por RMN-¹H como: ácido 6-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienil]salicílico **4**, ácido 6-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienil]salicílico **5**, ácido 6-[8'(Z)-pentadecenil]salicílico **6** y ácido 6-pentadecilsalicílico **7**, respectivamente. Estos compuestos han sido señalados previamente como constituyentes de *Anacardium occidentale* (Tyman JHP, 1979), *Anacardium spondias* (Wang D *et al.* 1998), *Knema elegans* (Spencer G *et al.* 1980), *Knema laurina* (González MJTG *et al.*, 1996) y *Ginkgo biloba* (Itokawa H *et al.*, 1987). La posición de los dobles enlaces entre los carbonos 8' y 9' se confirmó adicionalmente por los iones en m/z 219 y 175 [219-CO₂]⁺ en los espectros de masas en modo IE y en modo IQP, correspondientes al rompimiento alílico al doble enlace con eliminación 1-4 de Hidrógeno, y con descarboxilación adicional.

Es importante mencionar que en el presente trabajo no se detectó el ácido 6-undecilsalicílico, compuesto que fue registrado previamente por Sharma NK *et al.*, (1966) como constituyente del fruto de *Anacardium giganteum*, identificándolo sólo por reacciones de degradación, sin utilizar ninguna técnica espectroscópica.

La fase acuosa obtenida después de la partición entre CHCl₃ y agua del extracto metanólico de la nuez de *A. giganteum* no presentó actividad citotóxica relevante; sin embargo, a partir de esta fase se aislaron los compuestos **8** y **9**, de los cuales el primero presentó actividad citotóxica leve contra las líneas celulares utilizadas.

El espectro de masas en modo APCI del compuesto **8** mostró un ión pseudomolecular [M+H]⁺ en m/z 581, indicando un peso molecular de 580 uma para este compuesto. Los iones en m/z 273 y 309 [M-272+H]⁺ presentes en el espectro de masas en modo IE sugirieron la presencia de una flavanona; la cual fue confirmada por los iones intensos en m/z 153 y 120, característicos de la ruptura Retro-Diels Alder del anillo C de una flavanona trisustituida (Markham KR 1982; Justesen U *et al.*, 1998). Los datos del espectro UV del compuesto **8**, fueron concordantes con la presencia de la flavanona debido a las bandas de absorción I y II en 286.4 y 314.1 nm (Markham KR, 1982).

El análisis detallado del espectro de RMN-¹H junto con el espectro COSY H-H del compuesto **8** permitieron identificar las siguientes subestructuras: dos anillos aromáticos sustituidos asimétricamente en posición *para*, por la presencia de la señal en δ 7.37 (2H, d, J = 8.7 Hz), que correlaciona con

la señal en δ 6.77 (2H, d, J = 8.7 Hz), y la señal en δ 7.24 (2H, d, J = 8.5 Hz) que correlaciona con la señal en δ 6.78 (2H, d, J = 8.7 Hz); un tercer anillo aromático tetrasustituido, por la correlación de los dobletes en δ 6.21 y 6.16, con una constante de acoplamiento característica de protones en posición *meta* (J = 2.2 Hz); un sistema olefínico con geometría *trans* (J = 16 Hz), por la correlación de los dobletes en δ 7.57 y 6.31, cuyo desplazamiento químico a campo bajo, sugiere que está conjugado con un carbonilo; y un grupo O-CH-CH₂ por el patrón de acoplamiento entre la señal del oximetino en δ 5.25 (1H, dd, J = 12.7 y 3.0 Hz) y los protones diastereotópicos de un metileno en d 3.07 (1H, dd, J = 17.2 y 12.7 Hz) y δ 2.68 (1H, dd, J = 17.2 y 3.1 Hz). Las señales restantes del espectro de RMN-¹H que aparecen entre 3.39 y 4.98 ppm, corresponden a 5 oximetinos característicos de una unidad de glucosa sustituida en el C-6 por un grupo desprotector (Yokosuka A *et al.*, 2002), cuya identidad fue confirmada adicionalmente por la comparación de los datos del espectro de RMN ¹³C con los de la literatura (Breitmaier E *et al.*, 1989). La constante de acoplamiento del protón anomérico en d 4.98 (J = 7.5 Hz) indicó la presencia de un enlace β-D-glucosídico en este compuesto.

En el espectro de RMN-¹³C se observaron las siguientes señales: dos señales en δ 198.4 y δ 169.0 que corresponden a dos carbonos carbonílicos; cinco señales entre δ 166.8 y δ 159.0 asignables a carbonos de anillos aromáticos oxigenados sin hidrógeno; ocho señales entre δ 131.2 y δ 127.2 correspondientes a carbonos aromáticos con un hidrógeno; una señal en δ 101.1 junto con cinco señales entre δ 77.8 y δ 64.6 que corresponden a la subunidad de β-D-glucosa; dos señales en δ 146.8 y δ 114.9 correspondientes a los dos carbonos sp² del sistema olefínico; y dos señales restantes en δ 80.2 y 44.1 que se asignaron al grupo O-CH-CH₂.

El análisis de las correlaciones presentes en los espectros de HMQC y HMBC (Figura 2) permitió confirmar la presencia de la flavanona naringenina, sustituida en el carbono 7 por una unidad de β-D-glucosa (correlación entre el carbono cuaternario en δ_c 166.8 y el protón anomérico de la glucosa en d_H 4.98). Adicionalmente, se determinó la presencia de una subunidad *p*-cumaroil unida al carbono 6'' de la glucosa (correlación del carbono carbonílico en δ_c 169.1 con los protones olefínicos en δ_H 7.57 y 6.31 y los protones del C-6'' de la glucosa en δ_H 4.54 y 4.28).

Con base en el análisis anterior, se dedujo que la estructura del compuesto **8** era la 5,7,4'-trihidroflavanona-7-(6''-O-4-hidroxycinamoil)-O-β-D-glucopiranosido, comúnmente conocida como naringenina-7-(6''-O-*p*-

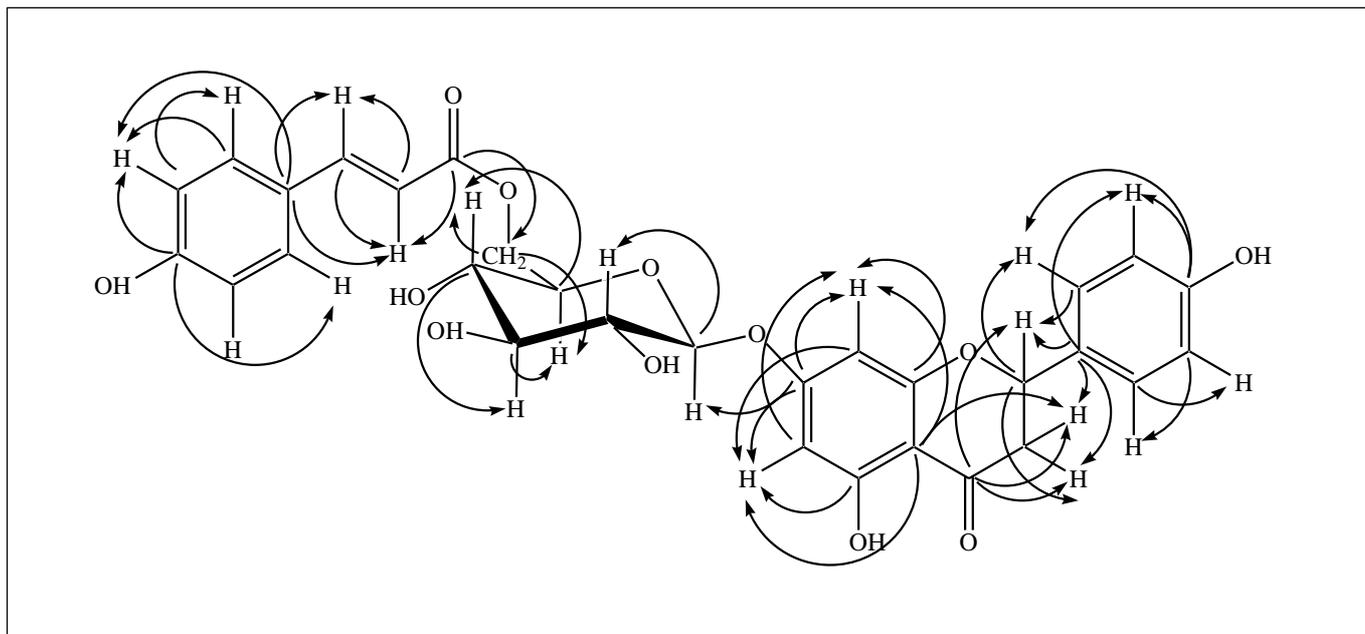


Figura 2. Correlaciones presentes en el espectro HMBC del compuesto 8.

cumaroil)- β -D- glucopiranosido. Este compuesto ha sido previamente aislado a partir de *Anacardium occidentale* (Rahman W *et al.*, 1978), *Anisomeles ovata* (Rao L *et al.*, 1985), *Phlomis aurea* (El-Negoumy SI *et al.*, 1986) y *Mabea fistulifera* subsp. robusta (Garcés W *et al.*, 1997); sin embargo, en este trabajo es la primera vez que se realiza la asignación completa de todas las señales de los espectros de RMN- ^1H y de ^{13}C de este compuesto (Tabla 1) mediante el uso de las técnicas bidimensionales HMQC y HMBC.

El análisis espectroscópico del compuesto 9 indicó que su estructura era similar a la del compuesto 8, con excepción de la desaparición de las señales correspondientes a la subunidad *p*-cumaroil. De esta forma se propuso que el compuesto 9 era la 5,7,4'-trihidroxi-flavanona-7-*O*- β -D-glucopiranosido, conocido como naringenina-7-*O*- β -D-glucopiranosido o prunina, el cual ha sido aislado de diversas fuentes naturales.

Ensayos de citotoxicidad

El extracto crudo de la nuez de *A. giganteum*, así como las diferentes fracciones se sometieron a ensayos de citotoxicidad contra las células tumorales humanas HEp-2, MCF-7, HT-29 y MKN-45, encontrando una actividad leve para el extracto crudo y la fase clorofórmica. La fase acuosa solo presentó actividad leve frente a la línea celular MCF-7. Posteriormente, los compuestos puros 1 – 9 se so-

metieron a los mismos bioensayos encontrando que los 5-alkilresorcinoles 1-3 exhibían una actividad moderada y que el compuesto 8 tenía una actividad leve, contra las líneas tumorales ensayadas; siendo los compuestos 1 y 2 los que presentaron mayor actividad. Los compuestos 4 – 7 y el 9, no fueron activos frente a estas líneas celulares. Los resultados de éstos ensayos se resumen en la Tabla 2.

Vale la pena resaltar que todos los compuestos fueron en general menos activos frente a la línea celular HT-29, mostrando un indicio de selectividad frente a las otras tres líneas celulares (HEp-2, MCF-7 y MKN-45). Esta es la primera vez que se determina la actividad citotóxica de los compuestos 1 – 9 contra las líneas celulares HEp-2, MCF-7, HT-29 y MKN-45.

Aunque la citotoxicidad de los compuestos obtenidos a partir de la nuez de *Anacardium giganteum* no es muy alta sobre las líneas empleadas, la LC_{50} para los compuestos 1-3 está en el mismo orden de magnitud del valor 4 mg/ml, considerado como límite superior de selección de compuestos promisorios para convertirse en medicamentos (Jantová S *et al.*, 2003; Betancur-Galvis L *et al.*, 2001). Adicionalmente, éstos compuestos pueden ser combinados con otros con el fin de aumentar su efecto citotóxico (Kozubek A *et al.*, 1999; Kubo I *et al.*, 1993). La citotoxicidad de los compuestos 1 a 7 han sido probada frente a las líneas celulares BT-20 (cáncer de mama) y HeLa (carcinoma de cervix) (Kubo I *et al.*, 1993) encon-

Tabla 2. Resultados de los ensayos de citotoxicidad de los compuestos aislados de la nuez de *Anacardium giganteum*.

Líneas celulares →	CL ₅₀			
	HEp-2 (µg/ml)	MCF-7 (µg/ml)	HT-29 (µg/ml)	MKN-45 (µM)
Compuestos ↓				
1	6.5 (6.1 - 6.8)	8.4 (8.1 - 8.7)	9.7 (9.5 - 9.8)	8.0 (7.7 - 8.4)
2	3.7 (3.2 - 4.2)	7.7	10.2 (9.4 - 11.5)	7.5 (5.8 - 9.7)
3	12.2 (11.0 - 13.4)	15.6 (14.1 - 17.2)	20.4 (19.9 - 20.9)	21.2 (20.3 - 22.1)
8	24.4 (20.5 - 28.4)	20.9 (18.6 - 23.3)	37.1 (34.7 - 39.4)	25.8 (22.6 - 28.8)
Doxorubicina HCl	0.6 (0.5 - 0.8)	0.2 (0.1 - 0.3)	0.1 (0.1 - 0.2)	0.3 (0.2 - 0.4)

Intervalo de confianza para $\alpha = 0.05$.

trando al igual que en los resultados mostrados en este trabajo, que los 5-alquenilresorcinoles son más activos que los ácidos 6-alquenilsalicólicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación otorgada por Colciencias-BID; por el programa IPICS (International Program in Chemical Science) de la Universidad de Uppsala, Suecia; y por la agencia JSPS (Japan Society for the Promotion of Science) del gobierno del Japón, para la realización del presente trabajo.

Bibliografía

- Arévalo LE, Reyes J.** 2001. Aproximación al conocimiento de la familia *Anacardiaceae* en aspectos taxonómicos, fitogeográficos y etnobotánicos en la región del Aracuaera (Amazonia colombiana). Tesis de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Arisawa M, Ohomura K, Kobayashi A, Morita N.** 1989. A cytotoxic constituent of *Lysimachia japonica* thumb (Primulaceae) and the structure activity relationships of related compounds. *Chem. Pharm. Bull.* **37**(9): 2431-2434.
- Betancur-Galvis L, Zuluaga C, Arno M, González MA, Zaragoza RJ.** 2001. Structure-activity relationship of in vitro antiviral and cytotoxic activity of semisynthetic analogues of scopadulane diterpenes. *J. Nat. Prod.* **64**(10): 1318-1321.
- Bonilla A, Duque C, Garzón C, Takaishi Y, Yamaguchi K, Hara N, Fujimoto Y.** New antimicrobial yellow pigments from the seeds of Champa (*Campomanesia lineatifolia*). *Phytochemistry. Sometido.*
- Bouillant ML, Jacoud C, Zanella J, Favre-Bonvin J, Bally R.** 1994. Identification of 5-(12-heptadecenyl)-resorcinol in rice root exudates. *Phytochemistry* **35**(3): 769-771.
- Breitmaier E, Voelter W.** 1989. Carbon-13 NMR Spectroscopy. 3rd Edition. VCH. Weinheim. Pags. 450-465.
- Cordero, CP.** 2002. Implementación de un método *in vitro* de evaluación preliminar de actividad anticancer de extractos vegetales empleando líneas celulares derivadas de tumores humanos. Tesis Química Farmacéutica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- El-Negoumy SI, Abdalla MF, Saleh NAM.** 1986. Flavonoids of *Phlomis aurea* and *Phlomis floccosa*. *Phytochemistry* **25**(3): 772-774.
- Garcés W, Garcés F, Pellicciari I, Hara SM, Ferreira F, Nakasse L, Siqueira J.** 1997. A bioactive naringenin coumaroil glucoside from *Mabea fistulifera* subsp. *robusta*. *Planta Med.* **63** (4): 386.
- González MJTG, De Oliveira CJC, Fernández JO, Kijoa A, Herz W.** 1996. Further alkyl and alkylphenols of *Knema astrosiamensis*. Location of the double bound in the alkenyl side chains. *Phytochemistry* **43**(6): 1333-1337.
- Itokawa H, Totsuka N, Nakahara K, Takeya K, Lepoittevin JP, Asakawa Y.** 1987. Antitumor principles from *Ginkgo biloba* L. *Chem. Pharm. Bull.* **35**(7): 3016-3020.
- Jantová S, Cipák L, Cernaková M, Kostalová D.** 2003. Effect of berberine on proliferation, cell cycle and apoptosis in HeLa and L1210 cells. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* **55**: 1143-1149.
- Justensen U, Knithsen P, Leth T.** 1998. Quantitative analysis of flavonols, flavones and flavanones in fruits, vegetables and beverages by high performance liquid chromatography with photodiode array and mass spectrometric detection. *J. Chromat. A.* **799**(1-2): 101-110.
- Kozubek A, Tyman JHP.** 1999. Resorcinolic lipeds, the natural non-isoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. *Chem. Rev.* **99**(1): 1-25.
- Kubo I, Ochi MO, Vieira PC, Komatsu S.** 1993. Antitumor agents from cashew (*Anacardium occidentale*) apple juice. *J. Agric. Food Chem.* **41**(6): 1012-1015.

- Lytollis WJ, Scannell RT, An H, Murty VS, Reddy KS, Barr JR, Hecht SM.** 1995. 5-Alkylresorcinols from *Hakea trifurcata* that cleave DNA. *J. Am. Chem. Soc.* **117**(51): 12683-12690.
- Lie Ken Jie M, Mustafa J.** 1997. High-resolution nuclear magnetic resonance spectroscopy. Applications to fatty acids and tryacylglycerols. *Lipids* **32**(10): 1019-1034.
- Markham KR.** 1982. *Techniques of Flavonoid Identification.* Academic Press, London.
- Nakagawa H, Takaishi Y, Fujimoto Y, Osorio C, Duque C, Garzón C.** Chemical constituents from the Colombian medical planta *Maytenus laevis*. *J. Nat. Prod.* Sometido.
- Rahman W, Ishratullah K, Wagner H, Seligmann O, Chari V, Österdhal BG.** 1978. Prunin-6''-O-p-coumarate, a new acylated flavanone glycoside from *Anacardium occidentale*. *Phytochemistry* **17**(6): 1064-1065.
- Rao L, Kumari G, Rao N.** 1985. Flavonoid glycosides from *Anisomeles ovata*. *J. Nat. Prod.* **48**(1): 150-151.
- Sang S, Lapsley K, Jeong W, Lachance P, Ho Ch, Rosen R.** 2002. **Antioxidative phenolic compounds isolated from almond skins (*Prunus amygdalus* Batsch)** *J. Agric. Food Chem.* **50**(8): 2459-2463.
- Sargent M, Wangchareontrakul S.** 1989. Synthesis and identification of alkenyl and alkadienyl catechols from Brimese Lac. *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I* **2**: 431-439.
- Sargent M, Wangchareontrakul S.** 1990. The synthesis of the first natural host germination stimulant for *Striga asiatica* (Witchweed). *J. Chem. Soc. Perkin Trans. I* **5**: 1429-1434.
- Satoh M, Takeushi N, Nishimura T, Ohta T, Tobinaga S.** 2001. Synthesis of anacardic acids, 6-[8'(Z),11'(Z)-pentadecadienyl]-salicylic acid and 6-[8'(Z),11'(Z),14-pentadecatrienyl]salicylic acid. *Chem. Pharm. Bull.* **49**(1): 18-22.
- Sharma NK, Sharma VN.** 1966. Structure of anagigantic acid isolated from *Anacardium giganteum*. *Indian J. Chem.*, **4**(11): 504.
- Spencer G, Tjarks LW, Kleiman R.** 1980. Alkyl and phenylalkyl anacardic acids from *Knema elegans* seed oil. *J. Nat. Prod.* **43**(6): 724-730.
- Suzuki Y, Esumi Y, Uramoto M, Kono Y, Sakurai A.** 1997. Structural analyses of carbon chains in 5-alk(en)ylresorcinols of rye and wheat whole flour by tandem mass spectrometry. *Biosci. Biotech. Biochem.* **61**(3): 480-486.
- TCA, Tratado de Cooperación Amazónica.** 1994. *Plantas medicinales amazónicas. Realidad y perspectivas.* Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría pro Tempore. Lima (Perú).
- TCA, Tratado de Cooperación Amazónica.** 1997. *Cultivo de frutales nativos amazónicos, manual para el extensionista.* Tratado de Cooperación Amazónica, Secretaría pro Tempore. Lima (Perú).
- Tyman JHP.** 1979. Non isoprenoid long chain phenols. *Chem Soc. Rev.* **8**: 499-537.
- Wang D, Girard TJ, Kasten TP, LaChance RM, Miller-Widerman MA, Durley RC.** 1998. Inhibitory activity of unsaturated fatty acids and anacardic acids toward soluble tissue factor VII-a complex. *J. Nat. Prod.* **61**(11): 1352-1355.
- Yamagiwa Y, Ohayashi K, Sakamoto Y, Arikawa S, Kamikawa T.** 1987. Synthesis of anacardic acids and ginkgoic acid. *Tetrahedron*, **43**(15): 3387-3394.
- Yokosuka A, Mimaki Y, Sashida Y.** 2002. Steroidal and pregnane glycosides from rhizomes of *Tacca chantrieri*. *J. Nat. Prod.* **65**(9): 1293-1298.

Recibido el 12 de marzo de 2004

Aceptado para su publicación el 10 de octubre de 2004

CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE ENZIMAS RELACIONADAS CON LA SÍNTESIS DE EXOPOLISACÁRIDOS PRODUCIDOS POR *RAOULTELLA TERRIGENA* Y *PSEUDOMONAS FLUORESCENS*

por

Ángela María Wilches Flórez*

Resumen

Wilches Flórez, A.M.: Caracterización preliminar de enzimas relacionadas con la síntesis de exopolisacáridos producidos por *Raoultella terrigena* y *Pseudomonas fluorescens*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 577-583, 2004. ISSN: 0370-3908.

Se realizó el aislamiento y caracterización de dos cepas bacterianas nativas productoras de exopolisacáridos (EPS). Con estas cepas se llevó a cabo la producción y análisis de la enzima implicada en la síntesis de EPS con el objeto de determinar la actividad enzimática. Las cepas fueron identificadas como *Raoultella terrigena* y *Pseudomonas fluorescens*. *R. terrigena* produce la enzima intracelularmente y por mecanismo de inducción; la enzima sintetizada por *P. fluorescens* es extracelular y de expresión constitutiva.

Palabras clave: exopolisacárido, polímero, enzima, sustrato, inductor.

Abstract

The isolation and characterization of two native bacterium strains that produce exopolysaccharides (EPS) was done. With these strains we produced and analyzed the enzyme implicated in the synthesis of (EPS) with the objective of determining the enzymatic activity. These strains were identified as *Raoultella terrigena* and *Pseudomonas fluorescens*. *R. terrigena* produce the enzyme intracellularly and through an the induction mechanism. The enzyme synthesized by *P. fluorescens* is extracellular and of constitutive expression.

Key words: exopolysaccharides, enzyme, substrate, inducer, polymer.

* Profesora Asociada, Departamento de Microbiología Universidad de Pamplona- Colombia. Instituto Jacques Monod-París-Francia. angelamaw@unipamplona.edu.co

Introducción

El crecimiento bacteriano frecuentemente esta acompañado por la producción de polisacáridos los cuales se localizan fuera de la pared celular. Estos exopolisacáridos (EPS) se encuentran como cápsulas unidas a la bacteria o esta los libera al medio como limo. Un polisacárido puede tener importancia para una bacteria ya sea en procesos de adhesión, infección (Hettwer *et al.*, 1995) y protección (Gamar *et al.*, 1997, von Wrigth *et al.*, 1987) pero también pueden tener valor comercial. Muchos polisacáridos son conocidos por sus propiedades gelificantes, otros tienen propiedades emulsificantes y otros pueden servir como fuente importante de monosacáridos. Un polisacárido tiene valor comercial dependiendo de su composición característica, la cantidad producida por cultivo y la facilidad de recolectar y procesar el polisacárido. Aunque la composición y cantidad del EPS microbiano producido esta determinada genéticamente es posible influenciar las dos por alteraciones de las condiciones del cultivo (Mozzi *et al.*, 1996). La formación de EPS generalmente se ve favorecida por la presencia de nutrientes carbohidratados en exceso y las bajas temperaturas; tanto el rendimiento como la composición del EPS puede ser influenciado por nutrientes limitantes en N, C, P y Sulfuro (Bryan *et al.*, 1986). Se ha encontrado que el $MnSO_4$ ejerce efecto estimulador en la producción de polisacárido por cepas de *Lactococcus casei*; el pH del cultivo también es un factor crítico, los valores cercanos a la neutralidad son los mejores para la producción del polímero (Kojic *et al.*, 1992).

Los polímeros y oligosacáridos microbianos son producidos por la acción de enzimas, principalmente las transferasas. Estas tienen la capacidad de transferir residuos glicosídicos a una gran variedad de aceptores como alcoholes primarios, azúcares simples o cadenas glicosídicas, dando origen a una variedad de polisacáridos y oligosacáridos de interés comercial, entre estos polisacáridos se pueden citar las xantanas, dextranas, pululanas, alginatos, levanas, entre otras (Pérez *et al.*, 1995). Con la realización de este trabajo se quiere hacer el estudio preliminar de la enzima involucrada en la síntesis de EPS producidos por dos cepas bacterianas nativas colombianas capaces de sintetizar polisacáridos extracelulares, adicionalmente el proyecto hace una contribución a la caracterización de la biodiversidad bacteriana presente en diferentes ambientes para explorar su uso potencial en el área de la biotecnología.

Materiales y métodos

Microorganismos: las dos cepas bacterianas objeto de estudio fueron aisladas en el laboratorio de Microbio-

logía de la Universidad de Pamplona- Colombia. Los aislamientos se realizaron a partir de muestras de guarapo, bebida típica colombiana obtenida como producto de la fermentación de diversas frutas y panela (producto elaborado con caña de azúcar). Los aislamientos fueron incubados a temperatura de 25°C durante 48 horas, el criterio de selección de las cepas fue la obtención de bacterias capaces de crecer en agar sacarosa, produciendo colonias de aspecto mucoso.

Caracterización de las cepas: las bacterias fueron caracterizadas en el Centro de Identificación Molecular de Bacterias del Instituto Pasteur, utilizando el sistema de identificación bioquímica Biotype-100 (BioMérieux) y el programa Recognizer (Instituto Pasteur Toxolab) en Macintosh (Apple Computers); y caracterización molecular por medio de la técnica de ARN r 16S.

Producción de la enzima: el cultivo para la producción de la enzima se llevó a cabo en volumen de 25 ml de medio. Se realizaron cultivos de las bacterias en ausencia y presencia de sacarosa (3%). Las condiciones utilizadas para los cultivos fueron 37°C, 220 r.p.m para el aislamiento uno y 25°C, 220 r.p.m para el aislamiento dos. Durante el crecimiento bacteriano se tomaron muestras dobles de 2 ml en puntos específicos de la curva de crecimiento, una serie de muestras se centrifugaron a 12000 r.p.m por 10 minutos, la otra serie fue sometida a ultrasonido durante cinco ciclos de 45 segundos a intervalos de 30 segundos. Todas las muestras obtenidas fueron dializadas a 4°C contra buffer fosfato de sodio 0.05 M pH 7.

Evaluación de actividad enzimática

Actividad hidrolítica: 100 µl de las muestras obtenidas como producto de la diálisis fueron mezcladas con 1 ml de buffer fosfato de sodio 0.1M pH 6.3 sacarosa 0.2M y azida de sodio al 0.02%. La reacción se llevó a cabo a temperatura de 37°C para el aislamiento uno y a 4, 25 y 37°C para el aislamiento dos, por un tiempo de 2 y 4 horas. Alicuotas de 100 µl fueron evaluadas con la prueba del ácido dinitrosalicílico (DNS). El control negativo se realizó con buffer fosfato de sodio 0.1 M pH 6.3 sacarosa 0.2M, como control positivo se utilizó la enzima levansacarasa de *B. subtilis*.

Actividad polimerasa: para el aislamiento uno 37,5 µl de las muestras sonicadas obtenidas como producto de la diálisis fueron mezcladas con 12,5 µl de buffer fosfato de sodio 0.1M pH 6.3 sacarosa 0.5M, 10 µl de sacarosa ^{14}C (5 10^5 cpm μl^{-1}) y azida de sodio al 0.02%; las muestras se incubaron en baño maría a temperatura de 37°C. La reacción para las muestras obtenidas a partir del aisla-

miento dos se realizó tanto para los sobrenadantes como para las muestras sometidas a ultrasonido, la mezcla de reacción fue la siguiente: 25 µl de la muestra respectiva, 25 µl de buffer fosfato de sodio 0.1 M pH 6.3 sacarosa 0.5 M, 10 µl de sacarosa ^{14}C ($5 \cdot 10^5$ cpm µl $^{-1}$) y azida de sodio al 0.02%; las muestras se incubaron a temperatura de 4, 25 y 37°C. De todas las reacciones se tomaron muestras de 10 µl a diferentes intervalos de tiempo y se sometieron a una corrida cromatográfica en papel usando como solvente una mezcla butanol: ácido acético: agua (4:1:1) a temperatura ambiente. Para localizar las regiones radioactivas en el papel se utilizaron dos técnicas en la primera la cromatografía se expuso en película de rayos X, los trozos de papel correspondientes a las regiones radioactivas fueron procesados para análisis de recuento por centelleo. En la segunda las zonas radioactivas fueron visualizadas en equipo Storm 860 Molecular Dynamics.

Resultados y discusión

Caracterización de las cepas: la caracterización bioquímica de los aislamientos uno y dos utilizando el sistema Biotype-100 (BioMérieux) y el programa Recognizer (Instituto Pasteur Toxolab) en Macintosh (Apple Computers) se presentan en la tabla 1.

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización molecular realizada a cada uno de los aislamientos utilizando la técnica de ARNr 16S sirvieron de base para la realización del análisis filogenético cuyos resultados se muestran en las figuras 1 y 2; para realizar dicho análisis se utilizaron los programas de computador Lasergene, Editseq, SeqMan, MegAlign; al igual que información de las bases de datos del GenBank y del Ribosomal Database Project II.

Al analizar la información obtenida a partir de la caracterización bioquímica, al igual que de la caracterización molecular y filogenética se tiene que los aislamientos uno y dos fueron identificados como *Raoultella terrigena* y *Pseudomonas fluorescens* respectivamente; apreciándose total coincidencia entre los resultados obtenidos con cada una de las técnicas utilizadas. La denominación del género *Raoultella* corresponde a la clasificación taxonómica realizada por **Drancourt et al.**, 2001 anteriormente era clasificada dentro del género *Klebsiella* sp. Con respecto a este resultado vale la pena enunciar que hasta la fecha en ninguna de estas dos especies bacterianas se han hecho estudios relacionados con la caracterización de los exopolisacáridos que sintetizan ni de las enzimas que participan en su producción.

Producción de la enzima: la cepa de *Raoultella terrigena* no produce la enzima de manera extracelular

esto se infiere a partir de los resultados obtenidos al hacer análisis de la actividad enzimática utilizando directamente los sobrenadantes obtenidos del cultivo y las muestras totales sometidas a ultrasonido, en los primeros al realizar la prueba del DNS no se registró presencia de azúcares reductores en los segundos si se registró presencia de azúcares reductores después de dos horas de reacción, alcanzado una concentración de azúcares reductores de 200µg ml $^{-1}$. La bacteria produce la enzima por mecanismo de inducción, ya que no registró actividad enzimática en los extractos analizados a partir del cultivo realizado en ausencia de sacarosa este caso la sacarosa actúa como inductor. El resultado del análisis de las muestras sometidas a ultrasonido y de los sobrenadantes del cultivo de *Pseudomonas fluorescens* muestra que esta bacteria produce la enzima de manera extracelular y su expresión es constitutiva (se produce en ausencia de sacarosa) adicionalmente, la producción de la enzima se ve estimulada en la presencia de sacarosa. Este resultado muestra semejanza con estudios de la enzima realizados en cepas de *Pseudomonas syringae* y otros organismos Gram negativos como *E. amylovora*, *E. herbicola*, *Z. mobilis* a diferencia de la expresión dependiente de sustrato encontrada en bacterias Gram positivas (**Hettwer et al.**, 1998). Los resultados presentados por cada microorganismo permiten deducir que en cada caso los patrones de producción de las enzimas que participan en la síntesis de EPS son diferentes, indicando que cada microorganismo es un caso particular y es difícil hacer generalizaciones con respecto al comportamiento enzimático de los diferentes microorganismos productores de EPS.

Evaluación de la actividad enzimática: al observar la cromatografía en papel realizada con las muestras de la cepa de *Raoultella terrigena* no se ve presencia de regiones de radioactividad que indiquen la formación de polisacáridos de alto peso molecular, solo se visualizan las zonas correspondientes a los azúcares glucosa y fructosa (figura 3); este resultado y los resultados de la prueba del DNS permiten inferir que la cepa está produciendo una enzima con actividad hidrolítica pero no con actividad polimerizante, resultado que se corrobora con el análisis del recuento por centelleo; el valor calculado para la actividad de la enzima de la cepa de *Raoultella terrigena* es de 0.4 unidades enzimáticas (UE) definiendo UE como la cantidad de enzima que libera un micromol de glucosa por minuto y por mililitro a temperatura de 37°C y pH 6.3.

En la cromatografía realizada con muestras procedentes de la cepa de *Pseudomonas fluorescens* se visualizan zonas de radioactividad correspondientes a fructosa, glucosa, trisacáridos, tetrasacáridos y polisacáridos de ma-

Tabla 1. Resultados Caracterización Bioquímica realizada a los aislamientos 1 y 2. +, crecimiento en 1-2 días; x, crecimiento en 3,4 días; - no crecimiento.

PRUEBA	AISLAMIENTO UNO	AISLAMIENTO DOS	PRUEBA	AISLAMIENTO UNO	AISLAMIENTO DOS
D-Glucosa	+	+	L-Malato	+	+
D-Fructosa	+	+	Cis-Aconitato	+	+
D-Galactosa	+	+	Trans-Aconitato	+	+
D-Trealosa	+	+	Tricarbalilato	+	-
D-Manosa	+	+	Citrato	+	+
L-sorbosa	+	-	D-Glucoronato	+	+
D-Melibiosa	+	-	D-Galacturonato	+	+
Sacarosa	+	+	2-Cetogluconato	+	+
D-Rafinosa	+	-	5-Cetogluconato	+	-
Maltotriosa	+	-	Triptofano	-	+
Maltosa	+	-	N-Acetil-		
Lactosa	+	-	D-glucosamina	+	+
Lactulosa	+	-	D-Gluconato	+	+
1-O-Metil-			Fenilacetato	+	-
B-galactosidasa	+	-	Protocatecuato	+	+
1-O-Metil-			4-Hidroxibenzoato	+	+
a-galactosidasa	+	-	Quinato	+	+
D-Celobiosa	+	-	Gentisato	+	-
Gentiobiosa	+	-	3-Hidroxibenzoato	+	-
1-O-Metil-			Benzoato	+	+
B-D-glucosido	+	-	3-Fenilpropianato	-	-
Esculina	+	-	m-Cumarato	-	-
D-Ribosa	+	+	Trigonelina	-	-
L-Arabinosa	+	+	Betaina	-	+
D-Xylosa	+	+	Putrescina	+	+
Palatinosa	+	-	4-Aminobutirato	-	+
L-Ramnosa	+	-	Histamina	+	-
L-Fucosa	+	-	DL-Lactato	+	+
D-Melezitosa	+	-	Caprato	-	+
D-Arabitól	+	+	Caprilato	-	+
L-Arabitól	-	+	L-Histidina	-	+
Xylitol	-	+	Succinato	+	+
Dulcitol	-	-	Fumarato	+	+
D-Tagatosa	-	-	Glutarato	-	+
Glicerol	+	+	DL-Glicerato	x	+
Mio-Inositol	+	+	5-Aminovalerato	-	+
D-Manitol	+	+	Etanolamina	-	+
Maltitol	+	-	Triptamina	-	-
D-Turanosa	-	-	D-Glucosamina	-	+
D-Sorbitol	+	+	Itaconato	-	+
Adonitol	+	+	3-Hidroxibutirato	-	+
HQ-B-glucoronido	-	-	L-Aspartato	+	+
D-Lyxosa	-	-	L-Glutamato	+	+
i-Erytritol	-	+	L-Prolina	x	+
1-O-Metil-a-glucosido	+	-	D-Alanina	+	+
3-O-Metil-D-glucosa	+	-	L-Alanina	+	+
D-Sacarato	+	+	L-Serina	+	+
Mucato	+	+	Malonato	-	+
L-Tartrato	-	-	Propionato	-	+
D-Tartrato	-	-	L-Tirosina	-	+
Meso-Tartrato	+	-	2-Cetoglutarato	-	-
D-Malato	+	-	IDENTIFICACIÓN	<i>Raoultella terrigena</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>

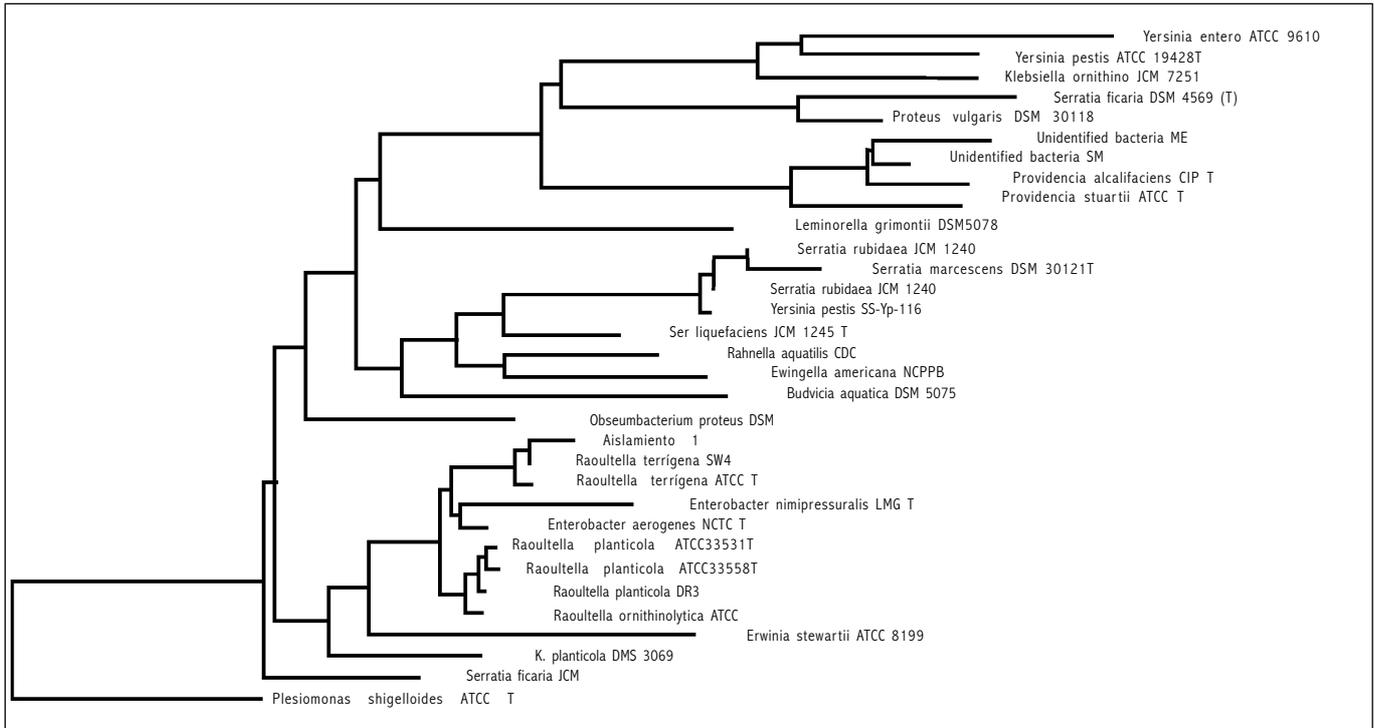


Figura 1. Árbol filogenético de enterobacterias. Se muestra la localización del aislamiento 1 dentro del árbol.

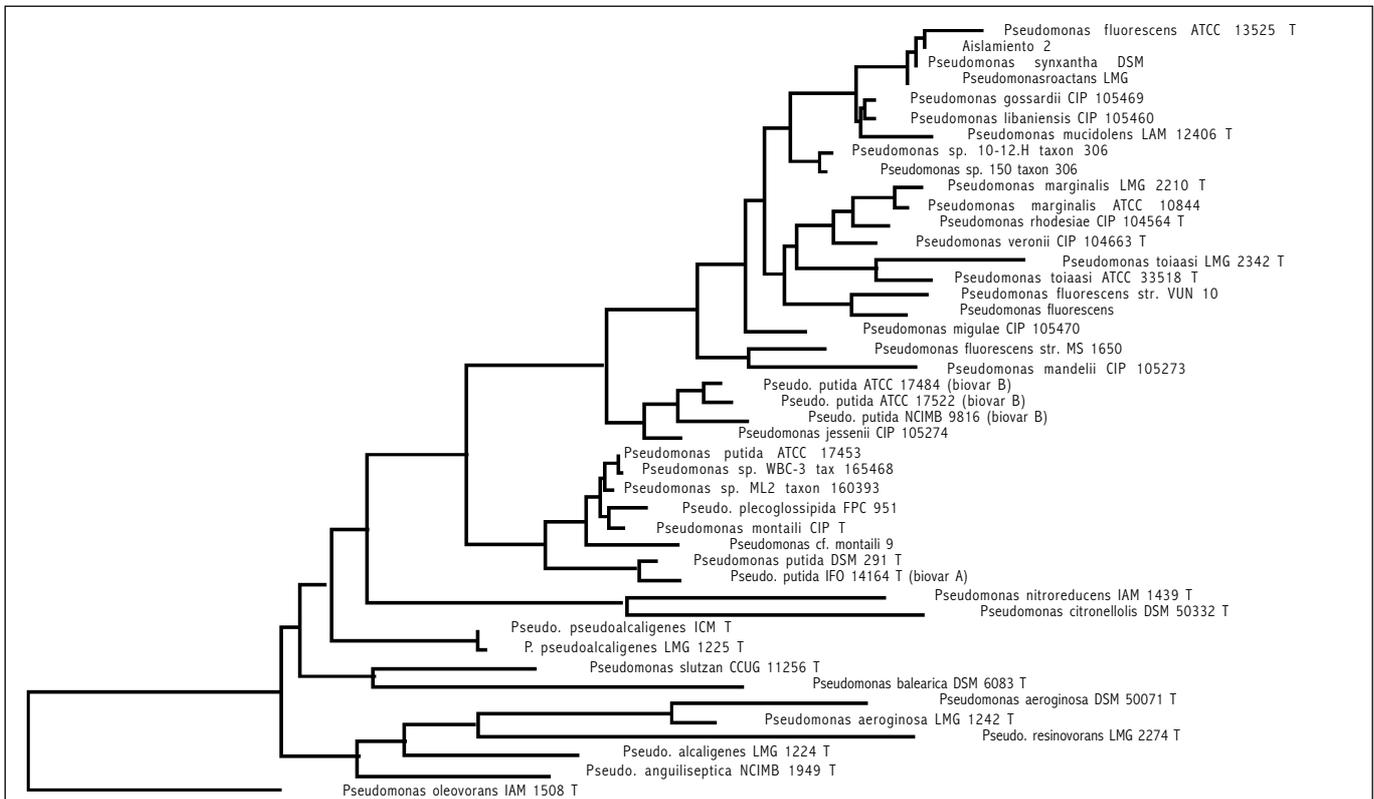


Figura 2. Árbol filogenético de *Pseudomonas*. Se muestra la localización del aislamiento 2 dentro del árbol.

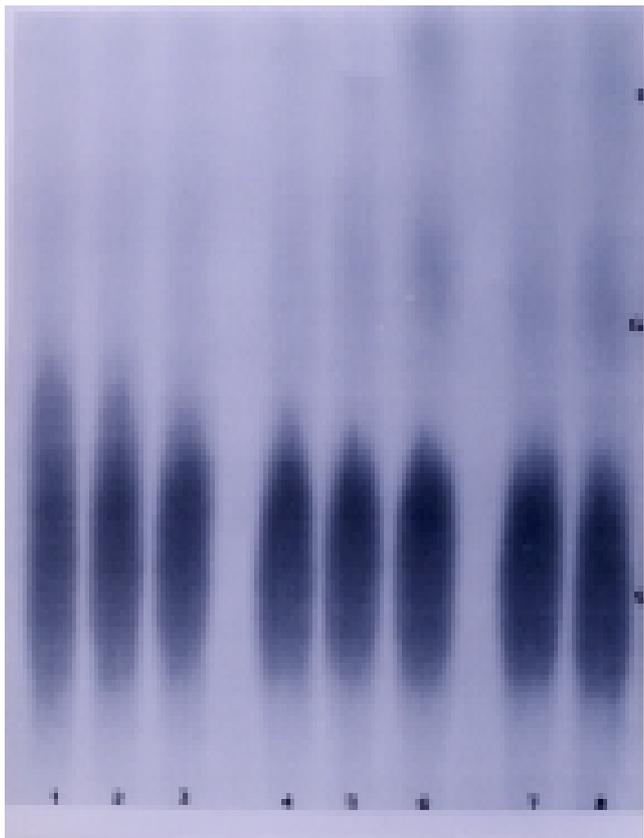


Figura 3. Cromatografía en papel, cepa *Raoultella terrigena*. L1, L2, L3 y L4 muestra sonicada, D. O_{600nm} 11.5; tiempo de reacción 8, 12, 16 y 24 horas respectivamente. L5, L6, L7 y L8 muestra sonicada, D. O_{600nm} 10.62; tiempo de reacción 8, 12, 16 y 24 horas respectivamente. F = fructosa, G = glucosa, S = sacarosa.

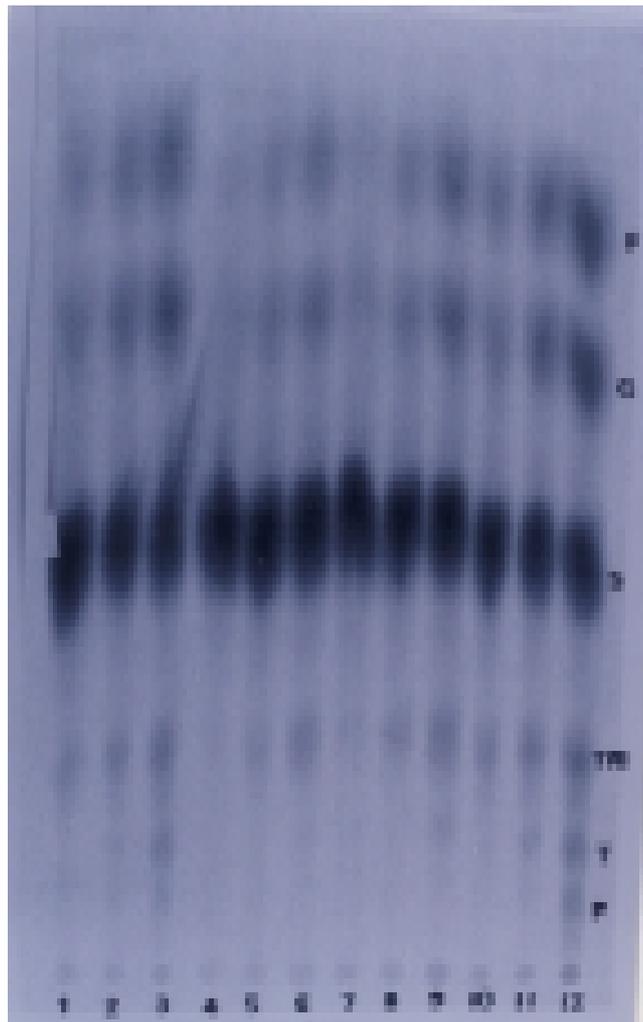


Figura 4. Cromatografía en papel, cepa *Pseudomonas fluorescens*. L1, L2, L3 sobrenadante cultivo inducido, D. O_{600nm} 22.46. L4, L5, L6 sobrenadante cultivo no inducido, D. O_{600nm} 13.26nm. L7, L8, L9 muestra sonicada cultivo no inducido D. O_{600nm} 13.26. L10, L11, L12 muestra sonicada cultivo inducido D. O_{600nm} 22.26. L1, L4, L7, L10 tiempo de reacción 15 min.; L2, L5, L8, L11 tiempo de reacción 60 min; L3, L6, L9, L12 tiempo de reacción 240 min. F = fructosa, G = glucosa, S = sacarosa, Tri = trisacáridos, T = tetrasacáridos, P = polisacáridos (>4).

por peso molecular (figura 4), lo que indica que la enzima producida por esta cepa presenta actividad hidrolítica y de polimerización; la actividad de la enzima es de 0.53 UE definiendo UE como la cantidad de enzima que libera un micromol de glucosa por minuto y por mililitro a temperatura de 25°C y pH 6.3. Al comparar los datos de actividad enzimática presentados por cada una de las bacterias estudiadas se puede ver que la cepa de *P. fluorescens* es más promisorio para la producción del polímero, teniendo en cuenta que para la síntesis de EPS es más importante que la enzima tenga gran actividad de polimerización que de hidrólisis, además una gran actividad de hidrólisis puede ser desfavorable ya que la enzima cataliza la hidrólisis de sacarosa pero también puede ejercer actividad hidrolítica sobre el polímero.

Los datos contenidos en las tablas 2 y 3 presentan los resultados del análisis de recuento por centelleo para la

reacción de transfructosilación (síntesis de trisacáridos y tetrasacáridos) y de polimerización (síntesis de levana y polisacáridos de alta masa molecular > 10⁶ Da), se observa que la reacción de la enzima producida por *P. fluorescens* se ve favorecida a temperatura de 4°C y confirman que la bacteria produce niveles basales de la enzima que se ven aumentados cuando la bacteria es cultivada en presencia de sacarosa.

Tabla 2. Rendimiento de la reacción de transfructosilación y polimerización de la Enzima producida por *Pseudomonas fluorescens* en presencia de sacarosa (3%) como inductor.

	4°C	25°C	37°C
Reacción de transfructosilación (%)	70	37	15
Reacción de polimerización (%)	43	30	0.6

Tabla 3. Rendimiento de la reacción de transfructosilación y polimerización de la Enzima producida por *Pseudomonas fluorescens* sin inductor.

	4°C	25°C	37°C
Reacción de transfructosilación (%)	50	25	0
Reacción de polimerización (%)	30	9	0

Se han realizado numerosos estudios con el fin de examinar el efecto de la temperatura en la producción de polisacáridos, todos ellos mostrando una variedad de resultados, **Kimmel et al.**, 1998 refieren que la producción de polímero en una cepa de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* se ve favorecida en temperaturas superiores a la temperatura óptima de crecimiento (37-42°C). Contrariamente otros investigadores han encontrado que la máxima producción del polímero se obtiene a temperaturas menores que la temperatura óptima de crecimiento, situación que coincide con la encontrada en la cepa de *P. fluorescens* objeto de este estudio.

Conclusiones

- Los aislamientos bacterianos fueron caracterizados como *Raoultella terrigena* y *Pseudomonas fluorescens*.
- La cepa de *Raoultella terrigena* sintetiza de manera intracelular e inducida una enzima que tiene actividad hidrolítica sobre la sacarosa.
- *Pseudomonas fluorescens* sintetiza una enzima extracelular que actúa sobre la sacarosa, esta enzima posee actividad hidrolítica y polimerizante. La bacteria produce la enzima por mecanismo de expresión constitutiva y su producción se ve estimulada en presencia de la sacarosa.
- La temperatura óptima de reacción para la enzima producida por *Pseudomonas fluorescens* es de 4°C.

Bibliografía

- Bryan, B, Linhardt, R, Daniels, L.** 1986. Variation in Composition and Yield of Exopolysaccharides Produced by *Klebsiella* sp. Strain K 32 and *Acinetobacter calcoaceticus* BD4. Applied and Environmental Microbiology. **51**(6): 1304-1308.
- Drancourt, M, Bollet, C, Carta, A, Rousselier, P.** 2001. Phylogenetic analyses of *Klebsiella* species delineate *Klebsiella* and *Raoultella* gen.nov., with description of *Raoultella ornithinolytica* comb. nov., *Raoultella terrigena* comb. Nov. And *Raoultella planticola* comb. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 51: 925-932.
- Gamar, L, Blondeau, K, Simonet, J.** 1997. Physiological approach to extracellular polysaccharide production by *Lactobacillus rhamnosus* strain C83. Journal of Applied Microbiology. 83: 281-287.
- Hettwer, U, Gross, M, Rudolph, K.** 1995. Purification and Characterization of an Extracellular Levansucrase from *Pseudomonas syringae* pv phaseolicola. Journal of Bacteriology. **177**(10): 2834-2839.
- Hettwer, U, Jaekel, F, Boch, J, Meyer, M, Rudolph, K, Ullrich, M.** 1998. Cloning, Nucleotide Sequence, and Expression in *Escherichia coli* of Levansucrase Genes from the Plant Pathogens *Pseudomonas syringae* pv glycinea and *P. syringae* pv phaseolicola. Applied and Environmental Microbiology **64**(9): 3180- 3187.
- Kimmell, S, Roberts, R, Ziegler, G.** 1998. Optimization of Exopolysaccharide Production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp *bulgaricus* RR Grown in a Semidefined Medium. Applied and Environmental Microbiology. **64** (2): 659-664.
- Kojic, M, Vujcic, M, Banina, A.** 1992. Analysis of Exopolysaccharide Production by *Lactobacillus casei* CG11, isolated from Cheese. Applied and Environmental Microbiology. **58** (12): 4086-4088.
- Mozzi, F, De Glori, G, Oliver, G.** 1996. Exopolysaccharide Production by *Lactobacillus casei* under controlled pH. Biotechnology Letters. **18**(4): 435-439.
- Pérez, M, Guereca, L.** 1996. Properties of Levansucrase from *Bacillus circulans*. Appl Microbiol Biotechnol. 44: 367-371.
- von Wright, A, Tynkkynen, S.** 1987. Construction of *Streptococcus lactis* subsp *lactis* Strains with a Single Plasmid Associated with Mucoïd Phenotype. Applied and Environmental Microbiology **53**(6): 1385-1386.

Recibido el 20 de octubre de 2003

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

DISCOVERY OF *OSCAECILIA POLYZONA* (AMPHIBIA: GYMNOPHIONA: CAECILIAIDAE) IN THE MIDDLE MAGDALENA WITH NOTES ON ITS ABUNDANCE AND HABITAT

por

John D. Lynch & Andrés R. Acosta¹

Resumen

Lynch, J. D. & A. R. Acosta: Discovery of *Oscacecilia polyzona* (Amphibia: Gymnophiona: Caeciliidae) in the Middle Magdalena with notes on its abundance and habitat. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **28** (109): 585-589, 2004. ISSN 0370-3908.

Se registra *Oscacecilia polyzona* en dos localidades en el valle medio del río Magdalena; los datos obtenidos de 13 especímenes indican que la especie es abundante, hallándose principalmente en suelos mal drenados. Por otra parte, ponemos en duda el uso de ciertos caracteres morfológicos utilizados para realizar una distinción de las especies del género.

Palabras clave: distribución, ecología, sistemática.

Abstract

Oscacecilia polyzona is reported from two additional localities in the Middle Magdalena. Data are provided for 13 additional specimens and call into question the use of certain characters as means of distinguishing species. *Oscacecilia polyzona* is an abundant species in poorly drained shaded soils in eastern Caldas.

Key words: distribution, ecology, systematics.

In general, one must describe caecilians as rarely encountered organisms. 2004 has proven to be an exceptional year—in only 8 months, we have obtained more than 40 specimens

of these seldom-found creatures. The oral tradition among herpetologists is that one finds these creatures only by luck or during very heavy rainfall. Most species remain known

¹ Laboratorio de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia (JDL); Departamento de Biología, Universidad Javeriana, Bogotá (ARA). jdlynch@unal.edu.co, aracostag@unal.edu.co

only from the original description (Nussbaum & Wilkinson, 1989). *Oascaecilia polyzona* (Fisher) is a case in point. The original three cotypes were collected in 1879 in Cáceres, Antioquia, and a century was to pass before an additional, incomplete, specimen was obtained at Juradó, Chocó (Lynch, 2000). Here we report 13 additional specimens from the Magdalena valley as well as observations on the habitat and abundance of the species.

The new specimens are between 326 and 668 mm total length and exhibit 196 to 209 ($\bar{x} = 203.1$) primary surci as well as 5 to 26 ($\bar{x} = 19.2$) secondaries contrasting with the data provided by Taylor (1968:615-619) where he reported (in the diagnosis) "Primaries, approximately 202-206, few secondaries (10-17)." However, in his text, the primary counts were 203, 206 and 209 with 10-13 secondaries.

Wake (1984) initiated the presentation of minute detail in a species description and was followed uncritically by Lahanas & Savage (1992). In each case, they described a species based upon single examples (hence, perhaps, the attention to detail). We took all those data for each specimen in an attempt to evaluate characters.

We are unable to relate the number of secondaries to body size (granted, over a limited range of sizes—32.6 to 66.8 cm total length) nor can we do so with any of the tooth counts (maxillary-premaxillary 6-6 to 9-9, $\bar{x} = 7.8-8.0$ [minimum-maximum values]; vomeropalatine 4-6 to 9-10, $\bar{x} = 6.7-7.3$; dentary 6-8 to 9-10, $\bar{x} = 7.7-8.0$; splenial teeth 4 to 6, $\bar{x} = 5.2$) or for the number of annuli interrupted by the vent (1-3, $\bar{x} = 2.0$). MUJ 3375 had the most teeth (18 maxillary-premaxillary, 19 vomeropalatines, and 5 splenials) but is not the largest specimen examined. The size of the largest scales varies from 1.7 X 0.8 mm in MUJ 3375 (596 mm total length) to 1.0 X 0.6 mm in ICN 48000 (326 mm) and 48002 (610 mm). There is a single row of scales in each groove.

Species currently classified as *Oascaecilia* exhibit some notable differences in terms of the point of scale inception—*O. elongata* lacks scales (Dunn, 1942), in *O. ochrocephala* and *O. polyzona*, Taylor (1968) reported scale inception at "about primary 26" and at primary 18 in *O. bassleri*. The remaining species show scale inception much further posteriorly (between primaries 90 to 113 in *O. equatorialis*, *O. hypereumeces*, *O. koepckeorum*, and *O. zweifeli* and at primary 175 in *O. osae*; Lahanas & Savage (1992), Taylor (1968, 1969), and Wake (1984). This character appears to be reported for counts made of single individuals and we were curious what might result from taking the data point for each specimen (whether or not there is a character here [bearing in mind the argu-

ments of Grant & Kluge, 2004] remains to be seen). In our specimens of *O. polyzona*, scale inception occurs between primary 17 and primary 36 but principally between primary 20 and 23. Individuals between 40 and 67 cm total length exhibit little variation (primaries 17 to 28, $\bar{x} = 22.1$). The exceptional specimen (ICN 48000) is the smallest specimen examined (32.6 cm total length), suggesting that there may be an ontogenetic component to the character termed scale inception (Fig. 1). Obviously, there is no linear relationship here but we need more juveniles to detect a curvilinear correlation. The index of attenuation varies between 46 and 72 ($\bar{x} = 54.9$) and there is a tendency (significantly different from zero) for the index to increase with body size (Fig. 2).

Using the published records (Lynch, 2000) one obtains a particular view as to the distribution of the species almost consonant with Taylor's (1969) opinion that *polyzona* is a subspecies of *O. ochrocephala* but the new records establish the presence of the species well to the south in the Magdalena valley (Fig. 3). Lahanas & Sav-

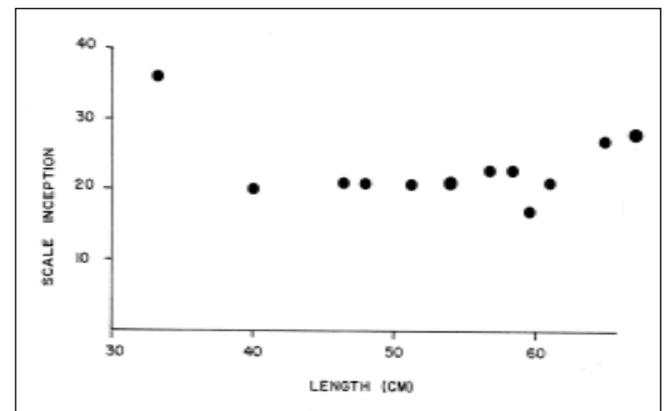


Figure 1. Scale inception versus total length in *Oascaecilia polyzona*.

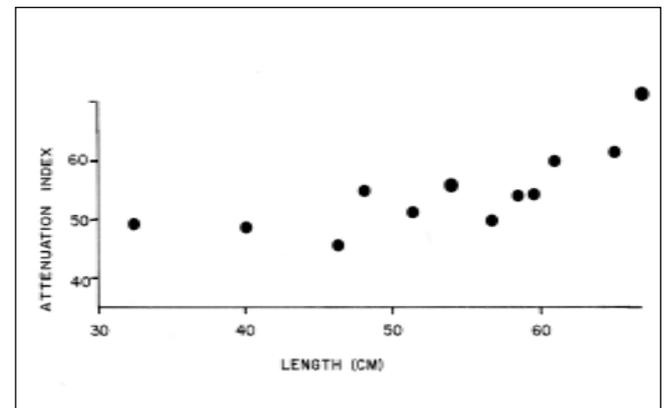


Figure 2. Attenuation index versus total length in *Oascaecilia polyzona*.

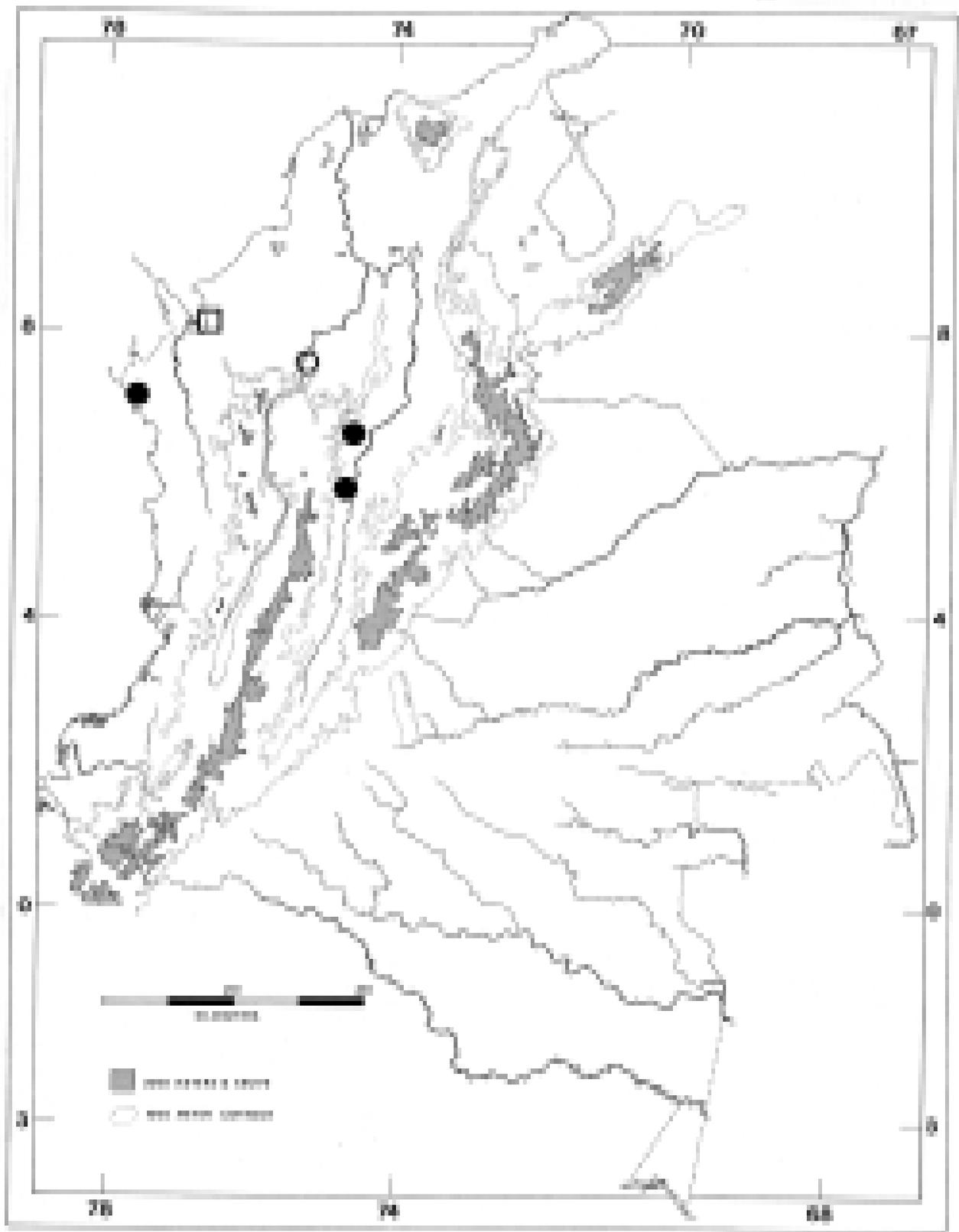


Figura 3. Distributions of *O scaecilia ochrocephala* (square) and *O. polyzona* (circles) in Colombia. Open symbols represent literature records.

age (1992) distinguished *O. ochrocephala* and *O. polyzona*, in part, for the presence of an unsegmented terminal shield in *O. polyzona* and its absence in *O. ochrocephala*. The two species are very similar in coloration (Taylor, 1968) (however, see below) but *O. polyzona* is slightly larger and there is no overlap in primary counts (169-189 in *O. ochrocephala* [correcting Lahanas & Savage, 1992, Savage & Wake, 2001; pers. comm. Jay M. Savage to JDL, 20 Aug. 2004] and 196-209 in *O. polyzona*).

Interviews with fishermen at La Dorada reveal that this species (presumably; actually, we envision as many as five terrestrial species of caecilians may be so exploited there) is used as bait for catfish and is available in local markets for that purpose. That a terrestrial caecilian is sold commercially as fish bait, suggests that the species is a common one-at variance with the collective “knowledge” of herpetologists who viewed as ludicrous our excursions to

collect caecilians. In the case of *O. polyzona*, we have additional evidence gathered by the junior author when he accompanied some of his students on a fieldtrip to eastern Caldas earlier this year. Based on his recollections of our fieldwork in 1999 when we collected caecilians (*Parvicaecilia nicefori*) in abundance at Venadillo, Tolima, he elected to do some digging in what he saw as a particularly attractive spot (Fig. 4). He was able to “rob” only a half an hour from his student but succeeded in capturing ten *O. polyzona*.

In the course of evaluating these specimens we made a silly error of temporarily confusing *Caecilia thompsoni* for *Oscacelia polyzona* (relying upon color pattern to identify specimens-see Fig. 4). Aside from the obvious differences in the visibility of the eye, the species are readily distinguished in that *Caecilia thompsoni* has more primaries in some populations (Lynch, 2000; Taylor, 1968) and its head is not so cone-shaped (the sides of the



Figura 4. A. *Caecilia thompsoni* (MUJ 0000, female, 67.2 cm); B-C. *Oscacelia polyzona* (MUJ 3375, female, 65.9 cm); D. Habitat of *Oscacelia polyzona* in eastern Caldas. Photos by Andrés Acosta.

head in *C. thompsoni* are more nearly parallel) as in *O. polyzona*. In life, *O. polyzona* was described as follows: upper and lateral surfaces of head pink; body with gray grooves, folds gray-brown and small yellow-white flecks; throat pink, body with gray-brown rings on cream background (fieldnotes of the junior author). A remarkable aspect in *O. polyzona* is the change in coloration during its preparation process—its coloration in formaldehyde is generally dark blue-gray above and cream-blue ventrally—once transferred to ethanol, the dorsal surfaces turn pale brown and the ventral surfaces salmon.

Ecological notes are available for 12 of the recently obtained specimens. The Río Manso reserve contains remnants of the original wet tropical forest with an undulating relief where low ridges are forested but the flat areas have been converted into pastureland. *Oscacilia polyzona* was found in areas moderately inclined (ca 25° of slope) in very wet soils (bogs) lacking rocks, covered with palms and trees reaching 10 m high and an understory of herbaceous vegetation.

Specimens examined: **Antioquia:** Maceo, Las Brisas, 500 m (MHUA 2680); **Caldas:** La Dorada, vereda San Roque, Reserva Natural Privada Río Manso, 210 m 5° 39' N, 74° 46' W (ICN 47997-48002, 48040-41, MUJ 3373-77); **Chocó:** Juradó (UVC 8351).

Acknowledgments

The junior author thanks Carolina Huertas, Jairo Moreno and Johan Peña for assistance in the field. Permission to carry out fieldwork was given by the Jaramillo family, especially Ana María Jaramillo, at the Private Reservation Riomanso. Mónica Donuyer and Oscar Ospina (CORPOCALDAS) provided permits for collecting. We thank Fernando Castro (Museo de Historia Natural, Universidad del Valle-Cali, UVC) for loan of

material and Vivian Páez (Museo de Herpetología, Universidad de Antioquia-Medellín, MHUA) for providing working space. Jay M. Savage provided JDL with clarifications concerning his publications on the allied *O. ochrocephala*. Specimens identified as ICN are in the Instituto de Ciencias Naturales and those by MUJ in the Museo de la Universidad Javeriana.

Literature cited

- Dunn, E. R.** 1942. The American caecilians. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, Harvard University, 91: 439-540.
- Grant, T. & A. G. Kluge.** 2004. Transformation series as an ideographic carácter concept. Cladistics 20: 23-31.
- Lahanas, P. N. & J. M. Savage.** 1992. A new species of caecilian from the Península de Osa in Costa Rica. Copeia 1992: 703-708.
- Lynch, J. D.** 2000 ["1999"]. Una aproximación a las culebras ciegas de Colombia (Amphibia: Gymnophiona). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas, Físicas y Naturales 23 (suplemento): 317-337.
- Nussbaum, R. A. & M. Wilkinson.** 1989. On the classification and phylogeny of caecilians (Amphibia: Gymnophiona), a critical review. Herpetological Monographs (3): 1-42.
- Savage, J. M. & M. H. Wake.** 2001. Reevaluation of the status of taxa of Central American caecilians (Amphibia: Gymnophiona), with comments on their origin and evolution. Copeia 2001: 52-64.
- Taylor, E. H.** 1968. The Caecilians of the World/ A Taxonomic Review. University of Kansas Press.
- _____. 1969. A caecilian miscellany. University of Kansas Science Bulletin 50(5): 187-231.
- Wake, M. H.** 1984. A new caecilian from Peru (Amphibia: Gymnophiona). Bonner Zoologische Beiträge 35: 213-219.

Recibido el 1° de octubre de 2004

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

ALGUNOS TREMÁTODOS DIGÉNEOS (RHOPALIASIDAE, OPISTORCHIIDAE) DE *PHILLANDER OPOSSUM* (MARSUPIALIA: MAMMALIA) DE LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA, INCLUYENDO *RHOPALIAS CAUCENSIS* N. SP.

por

Rivillas, C.¹, F. Caro², H. Carvajal³ & I. Vélez⁴

Resumen

Rivillas, C., F. Caro, H. Carvajal & I. Vélez: Algunos tremátodos digéneos (Rhopaliasidae, opistorchiidae) de *Phillander opossum* (Marsupialia: mammalia) de la Costa Pacífica colombiana, incluyendo *Rhopalias caucensis* n. sp. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **28** (109): 591-600, 2004. ISSN: 0370-3908.

Tres (27,3%) de 11 marsupiales capturados, estaban parasitados con tremátodos digéneos de dos familias: Rhopaliasidae (Looss, 1899) Yamaguti, 1958 (*Rhopalias*) y Opistorchiidae Braun, 1901 (*Amphimerus*). Los muestreos se realizaron en Llano Bajo y Bajo Calima, municipio de Buenaventura, departamento del Valle, Colombia. Los tremátodos fueron medidos y descritos, entre ellos una nueva especie *Rhopalias caucensis*.

Palabras clave: *Rhopalias* (Rhopaliasidae), nueva especie, *Amphimerus* (Opistorchiidae), Trematoda, Digenea, Parásito de Marsupiales, Valle del Cauca, Colombia.

Abstract

Three (27,3%) of 11 marsupials captured were found parasited with digenean trematodes from two families: Rhopaliasidae (Looss, 1899) Yamaguti, 1958 (*Rhopalias*) and Opistorchiidae Braun, 1901 (*Amphimerus*). The mammals were captured in Llano Bajo and Bajo Calima, Municipality of Buenaventura, Department of Valle, Colombia. The trematodes were measured and described, among them a new species *Rhopalias caucensis*.

Key words: *Rhopalias* (Rhopaliasidae), new species, *Amphimerus* (Opistorchiidae), Trematoda, Digenea, Marsupials parasites, Cauca Valley, Colombia.

^{1,2,3} Departamento de Microbiología, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Colombia. Correo electrónico: humcarva@telesat.com.co

⁴ Programa de estudio y control de enfermedades tropicales (PECET), Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: ivelez@matematicas.udea.edu.co

Introducción

La familia Rhopaliasidae según **Yamaguti**, 1971, es cercana a los Echinostomatidae en la anatomía general, excepto en la ausencia de un collar de espinas cefálicas y la presencia de dos probosis simétricas armadas en la parte anterior; éstas son contráctiles, semejantes a la probosis de un acanthocefalo. El ciclo de vida es desconocido. Son parásitos del intestino de mamíferos, especialmente marsupiales y ocasionalmente del intestino de otros animales como murciélagos (**Marshall & Miller**, 1979). **Travassos et al.** (1969) describe para Brasil tres especies: *R. coronatus*, *R. baculifer* y *R. horridus*. **Yamaguti** (1971) describe cuatro especies para Centro y Sudamérica, las tres anteriores y *R. macracanthus*, **Kifune & Uyema** (1982) describen *R. caballeroi* para el Perú. **Thatcher** (1993) registra también para Brasil y Norteamérica las tres primeras especies.

Según **Yamaguti** (1971), la familia Opisthorchiidae es cercana a los Cryptogonimidae, parásitos de peces y con el mismo patrón de ciclo de vida, así como algunos aspectos de la morfología del adulto, especialmente en la ausencia del saco del cirro y el acetábulo se encuentra encajado dentro del parénquima. La cercaria se desarrolla en redía en el gastrópodo; pueden ser o no oculadas, distomas, cola con cutícula hinchada o membranas laterales próximas y membranas dorsoventrales dístales; la metacercaria se enquista en renacuajos y peces de agua dulce. Son parásitos de los conductos biliares, vesícula biliar y raramente en el tracto digestivo de vertebrados. Las especies de *Amphimerus* más representativas y que tienen mamíferos como hospedadores finales para Centro y Sudamérica son: *A. caudalitestis* (**Caballero et al.**, 1953) en Panamá; *A. guayaquilensis* (**Rodríguez, Gómez & Montalván**, 1948) en Ecuador, Panamá y Colombia; *A. lancea* (**Barker**, 1911) en Brasil e India; *A. minimus* (**Thatcher**, 1970) en Colombia; *A. neotropicalis* (**Caballero et al.**, 1963) para Costa Rica y Colombia; *A. parciiovatus* (**Franco**, 1967) para Brasil; *A. pricei* (**Foster**, 1939) para Panamá; *A. pseudifelineus minutus* (**Artigas et Pérez**, 1964) para Brasil.

Materiales y métodos

Los muestreos se efectuaron en dos localidades de la costa pacífica colombiana, pertenecientes según **Holdrige** (1947), a bosque pluvial tropical (**Espinal**, 1967). Las capturas se realizaron en los municipios de Llano Bajo, Municipio de Buenaventura, con coordenadas 3° 42' N y 76° 50' W con una altitud de 50 msnm, Bajo Calima, del mismo municipio y con coordenadas 3° 57' N y 75° 59' O

(fig. 1). Ambos sitios están localizados en la vertiente de la cordillera occidental, con una temperatura superior a 24°C y una pluviosidad mayor a 3.000 mm.

Para la postura de las trampas se tuvo en cuenta: tipo de vegetación dominante y su espesura, cercanía a fuentes de agua y la actividad animal presente. Se utilizaron trampas tipo National (60 unidades) y tipo Sherman (60 unidades). Como cebo se utilizó: atún, sardina, fruta, cereales (maíz y harina de trigo) y carne. Se dejaban en el campo durante toda la noche. Los animales capturados se llevaron al laboratorio de Microbiología de la Universidad del Valle.

Una vez muertos los animales, se les extrajo la masa visceral, luego se separaron los distintos órganos y se pusieron en solución salina (85%) para evitar la resequeidad. Cada órgano se examinó al estereomicroscopio y los tremátodos encontrados se extrajeron con pinzas, se colocaron entre dos portaobjetos, se mataron a una T° de 50°C y luego se fijaron en AFA (Alcohol etílico, formalina, ácido acético glacial y agua destilada). Se colorearon en

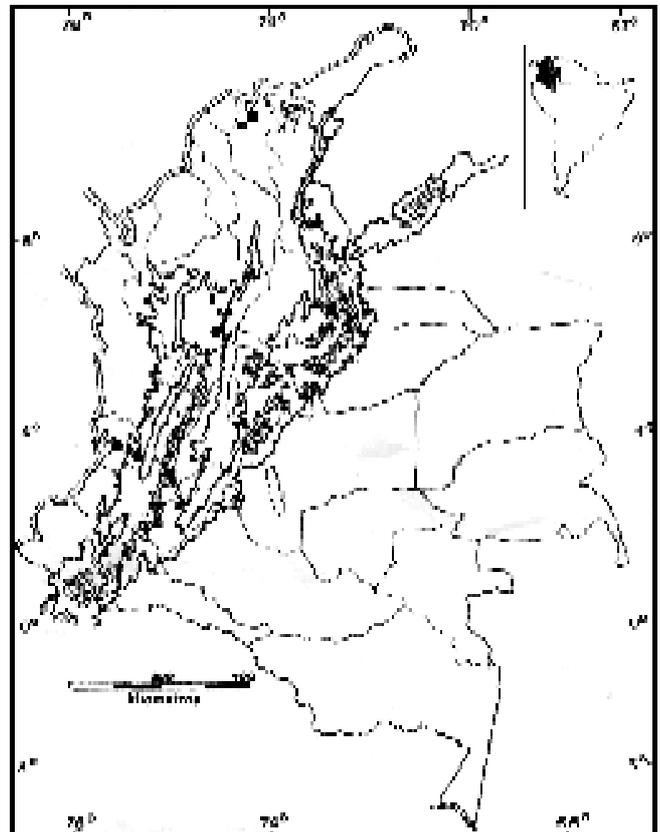


Figura 1. Mapa de Colombia. Señalado con una flecha el Departamento del Valle, donde se realizaron los muestreos: Llano Bajo Bajo Calima, Municipio de Buenaventura.

Carmín de Meyer y se montaron en placas permanentes con Permout. Cada especie de parásito se midió (en mm), se dibujo bajo cámara lúcida y se describió.

Los tipos de las especies se encuentran depositados en U.S. National Parasite Collection, USA (USNPC).

Resultados

DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES

Familia RHOPALIASIDAE Loos, 1899

Rhopalias baculifer Braun 1900 (fig. 2).

Hospedador: *Philander opossum* (Chucha cuatro ojos)

Lugar de infección: intestino delgado

Localidad: Bajo Calima, Municipio de Buenaventura, Departamento del Valle, Colombia.

N° USNPC: 092123.00 y 092124.00

Se encontraron 22 individuos en el tracto digestivo (Tabla I). Cuerpo elongado, delgado y plano en su parte posterior y mas ancho a nivel del acetábulo o frente a éste. Mide 1.42 (1.16-1.73) de largo por 331 (263-527) de ancho a la altura del acetábulo. Cutícula espinosa, con mayor número de espinas en la parte anterior, que empieza a disminuir al nivel del testículo anterior y termina en la parte posterior del animal. Presenta a cada lado de la ventosa oral una fosa armada o probosis con grandes espinas desde adentro, ordenadas en forma palmeada; alcanzan una profundidad igual a la faringe. Miden 0,23 (0,19-0,26) de largo por 0,12 (0,04-0,07) de ancho y tiene un promedio de 6-10 espinas cada una. Ventosa oral triangular, de vértices redondeados, subterminal, mide 0,93 (0,073-0,13) de largo por 0,92,3 (0,77-0,13) de ancho; le sigue una prefaringe de 0,60 (0,11-0,23-) de largo. Acetábulo circular, preecuatorial, es 1,7 veces mayor que la ventosa oral, mide 0,155 (0,13-0,223) de largo por 0,154 (0,13-0,20) de ancho. Faringe paralela a las fosas armadas, mide 0,07-0,14 de largo por 0,03-0,06 de ancho. Esó-

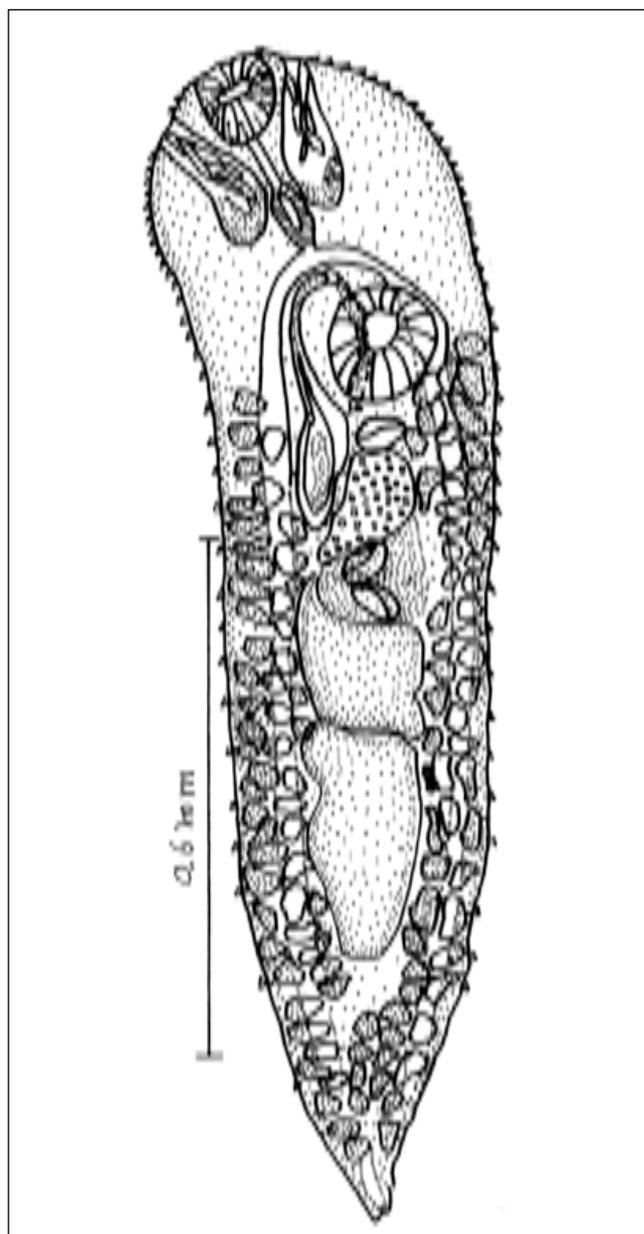


Figura 2. *Rhopalias baculifer* Braun 1900: Morfología interna, hospedador *Philander opossum* (chucha cuatro ojos).

Tabla I. Especies de mamíferos examinados y % de infestación para *Rhopalias baculifer*, *Rhopalias caucensis* y *Amphimerus guayaquilensis* (juveniles y maduros)

Especies de mamíferos	Número de capturados	% de infestados	Especie de tremátodo
<i>Oryzomys caliginosus</i>	6	0	0
<i>Proechimys semispinosus</i>	8	0	0
<i>Rattus rattus</i>	3	0	0
<i>Philander opossum</i>	8	1 (12,5) 1 (12,5)	<i>Rhopalias baculifer</i> <i>Rhopalias caucensis</i> n. sp <i>Amphimerus guayaquilensis</i>
<i>Didelphis marsupialis</i>	3	0	

fago se diferencia sólo en cuatro de los 22 individuos, tiene 0,60 (0,15-0,12) de largo. Ciegos intestinales simples, cubiertos en su mayor parte por los vitelarios, llegan hasta la parte posterior del organismo. Distancia promedio entre la región anterior y el plano ecuatorial del acetábulo es de 0,364 (0,310-0,651). Saco del cirro claviforme, alargado, mas o menos curvado, largo y musculoso bordeado en sus márgenes superiores por glándulas prostáticas; posterior al acetábulo y recorriendo lateral o ventral a él y con la metraterma entre la faringe y el acetábulo, posterior a la bifurcación de los ciegos. Testículos grandes, intracecales, uno sobre otro, borde liso, situados en el primer tercio posterior del cuerpo, el anterior mide 0,156 (0,11-0,21) largo por 0,15 (0,10-0,19) ancho, el posterior mide 0,27 (0,23-0,35) de largo por 0,13 (0,107-0,176) de ancho. Ovario medial, redondo, postacetabular y pretesticular, intracecal, mide 0,127 (0,96-0,165) de largo por 0,130 (0,92-0,223) de ancho. Utero corto, intracecal, se encuentra dorsal al acetábulo y el ovario. Los huevos son grandes y en poca cantidad, miden 0,081 (0,061-0,96) de largo por 0,046 (0,031-0,054) de ancho. Cada individuo tiene entre 3,75 (3-7) huevos cada uno (pero había uno con 25 y otro con uno). Receptáculo seminal inmediatamente posterior al ovario. Vitelarios laterales, desde la zona acetabular hasta la parte posterior del cuerpo, compuestos por lobulillos planos ordenados de forma horizontal; en parte cubre los testículos en los bordes laterales. La vejiga excretora no se observó con claridad, debido a la sobre posición de los vitelarios.

***Rhopalias caucensis* n. sp**

Figs. 3-4 .

Hospedador: *Philander opossum*

Lugar de infección: duodeno

Localidad: Bajo Calima, Municipio de Buenaventura, Departamento del Valle, Colombia.

N° USNPC: 092121.00 y 092122.00

La descripción se hizo con base en ocho individuos encontrados en el tracto digestivo. Cuerpo elongado, puede relajarse lateralmente al frente del acetábulo, en la parte posterior mas delgado pero sin terminar en punta. Mide 2,82 (2,593-3,212,2) de largo por 652 (573,5-790,5) de ancho a la altura del acetábulo. Cutícula cubierta de espinas, con mayor densidad en la parte anterior y disminuye a nivel del ovario hasta la parte media del testículo anterior. A cada lado de la ventosa oral presenta una proboscis retráctil armada con dientes, mide 0,40 (0,35-0,42) de largo por 0,13 (0,11-0,15) de ancho y tiene 9 (7-10) dientes

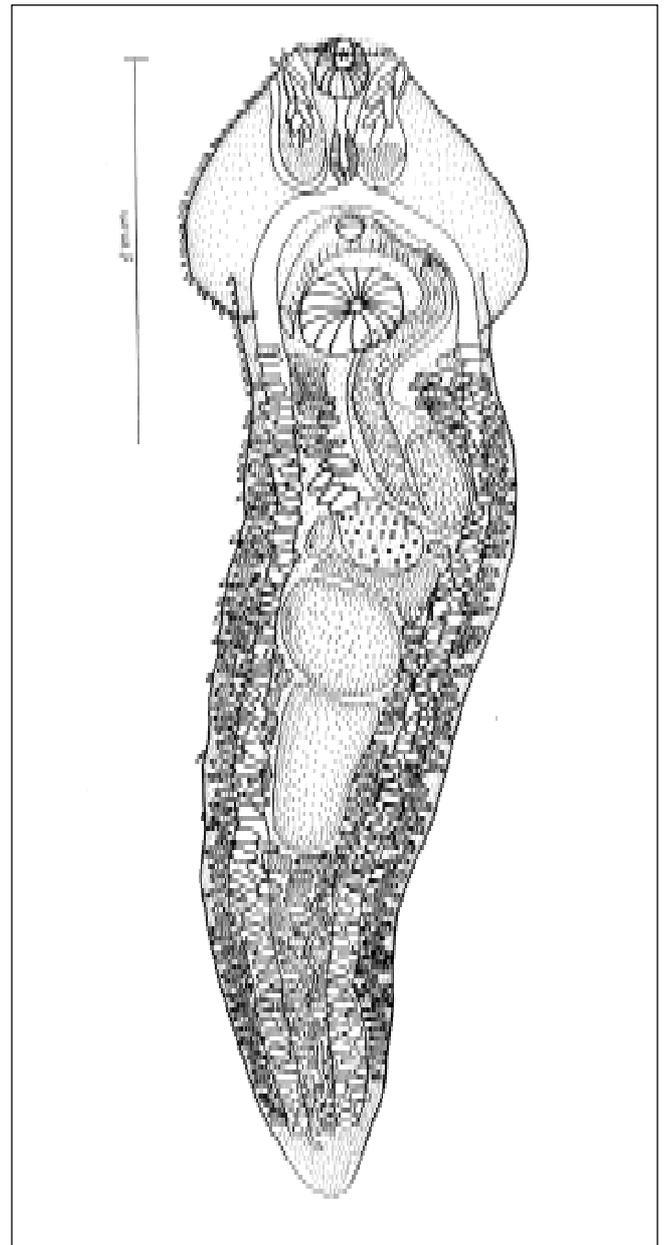


Figura 3. *Rhopalias caucensis* n. sp.: Morfología interna; hospedador: *Philander opossum* (chucha cuatro ojos)

cada una. Ventosa oral subterminal, redondeada, de 0,150 (0,130-0,17) de largo por 0,154 (0,142-0,171) de ancho; sobre el borde anterior de la ventosa oral y a los lados de ésta, se encuentran dos hileras intercaladas y ordenadas de espinas pequeñas, todas del mismo tamaño (Fig. 4 a, b y c). Prefaringe de 0,091 (0,065-0,016) de largo; faringe muscular, elíptica, mide 0,152 x 0,089 (0,14-0,17 x 0,073-0,11); no se observa esófago; ciegos intestinales simples, visibles solo en la región anterior del animal, debido a

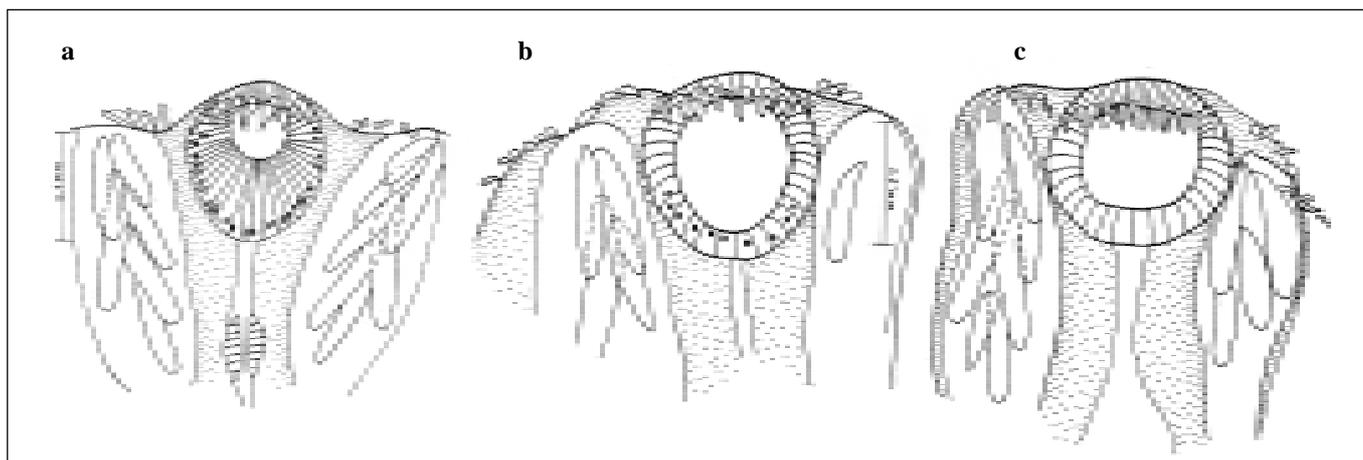


Figura 4. a,b y c. *Rhopalias caucensis* n. sp detalle de la corona de espinas intercaladas situada alrededor de la ventosa oral.

que casi en su totalidad están cubiertos por los vitelarios. Acetábulo circular, mide 0,266 (0,25-0,29) de largo por 0,26 (0,256-0,32) de ancho 1,5-1,8 veces mas grande que la ventosa oral. Testículos mas o menos triangulares, intracecales, uno sobre otro, bordes lisos y forma irregular, localizados en la región central de la mitad posterior del cuerpo; el anterior mide 0,316 (0,25-0,43) de largo por 0,331 (0,250-0,371) de ancho por 0,815 (0,31-0,48) de largo por 0,25 (0,11-0,39) de ancho. Saco del cirro en forma de mazo, algo curvado, cirro sinuoso y vesícula seminal ovalada y bien desarrollada, se encuentra entre la faringe y los testículos, bordeando acetábulo. Poro genital medial, posterior a la bifurcación de los ciegos, entre ambas ventosas. Ovario medial en forma arriñonada, intracecal, posterolateral al saco del cirro, con de 0,149 (0,124-0,170) de largo por 0,232 (0,201-0,284) de ancho. Inmediatamente posterior al ovario se encuentra el receptáculo seminal alargado. Utero corto, ecuatorial, dorsal al ovario y el acetábulo. Tiene entre 3 (1-7) huevos cada uno (tres individuos no tenían). Vitelarios en folículos numerosos y grandes, laterales, cubriendo los ciegos intestinales a lo largo; van desde la parte posterior del acetábulo hasta el extremo posterior del cuerpo, dejando el extremo libre. Huevos escasos, miden 0,096 (0,088-0,100) de largo por 0,040 (0,034-0,046) de ancho. No se observa vejiga excretora.

Familia OPISTORCHIDAE Braun, 1901

Subfamilia Opistorchiinae

Amphimerus guayaquilensis Rodríguez, Gómez et Montalván, 1948 (Fig. 5 y 6).

Hospedador: *Philander opossum*

Lugar de infección: Vesícula biliar e hígado

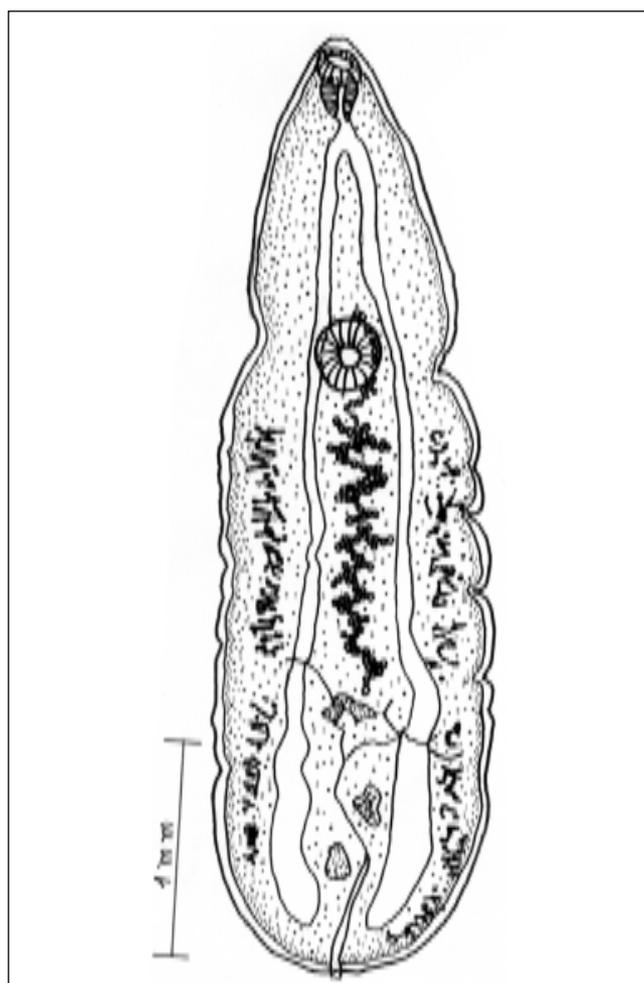


Figura 5. *Amphimerus guayaquilensis* Rodríguez, Gómez et Montanvan, 1948, Morfología interna; individuo juvenil con menor cantidad de huevos. Hospedador: *Philander opossum* (chucha cuatro ojos).

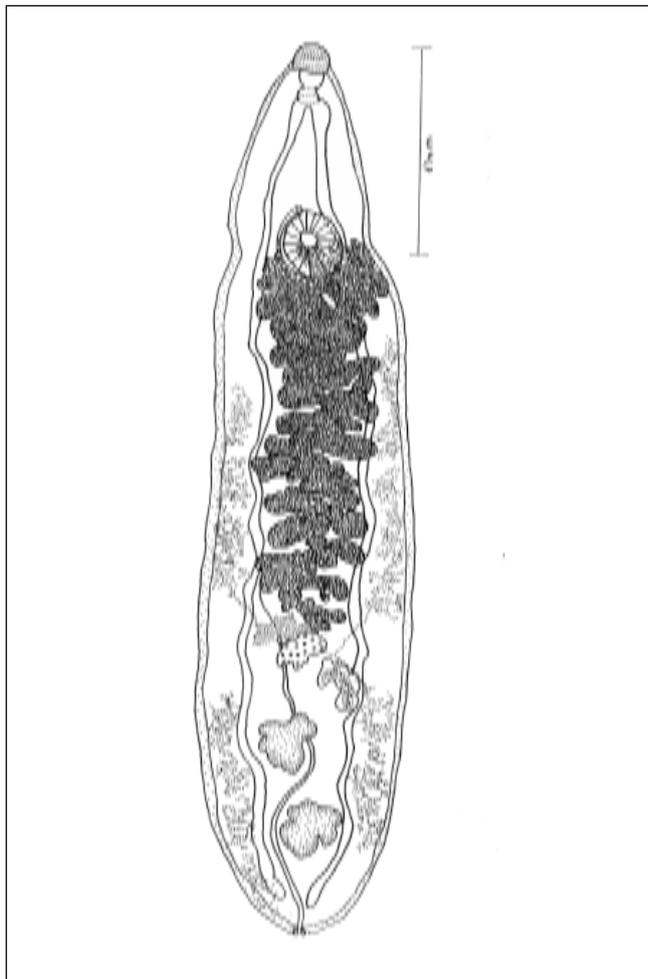


Figura 6. *Amphimerus guayaquilensis* Rodríguez, Gómez et Montanvan, 1948, Morfología interna; individuo muy maduro con gran cantidad de huevos. Hospedador: *Philander opossum* (chucha cuatro ojos).

Localidad: Bajo Calima, Municipio de Buenaventura, Valle, Colombia.

N° USNPC: 092125.00 y 092126.00

La descripción se hizo en base a 18 individuos juveniles. Cuerpo aplanado de forma lanceolada, ahusado en la parte anterior y redondo en el extremo posterior, tiene 4.308 (3,290-5,438) de largo por 1,084 (0,883-1,471) de ancho a la altura del acetábulo. Cutícula lisa sin espinas. Ventosa oral redonda, subterminal, mide 0,213 (0,192-0,263) de largo por 0,257 (0,200-0,296) de ancho. Faringe prominente de 0,178 (0,130-0,596) de largo por 0,183 (0,126-0,635) de ancho. De la faringe sale un esófago de 0,181 (0,073-0,511) de largo. Ciegos intestinales sinuosos se extienden hasta la mitad de la distancia entre el testí-

culo posterior y el extremo posterior del animal. Acetábulo pequeño, circular, localizado en el primer tercio del cuerpo, mide 0,4212 (0,280-1,333) de largo por 0,420 (0,284-0,188) de ancho. Las ventosas están a una distancia en una relación de 1,74:1. Testículos de contorno irregular, intracecales, diagonales localizados en el segundo tercio del cuerpo; miden el anterior 0,107 (0,065-0,173) de largo por 0,180 (0,103-0,288) de ancho y el posterior 0,124 (0,065-0,184) de largo por 0,163 (0,057,7-0,276) de ancho; ambos testículos están separados por una distancia de 0,330 (0,248-0,434). Saco del cirro y glándulas prostáticas ausentes. Vesícula seminal larga y ligeramente plegada, termina en un conducto eyaculador, que termina en el poro genital inmediatamente anterior al acetábulo. Ovario lobulado, medial, intracecal, situado entre el útero y los testículos, mide 0,079 (0,050-0,161) por 0,130 (0,057-0,203). Útero longitudinal en la línea media del cuerpo en circunvoluciones entre el acetábulo y el ovario. Vitelarios laterales a los ciegos intestinales, forma especies de racimos en forma de pequeños folículos, a lo largo de los pliegues laterales del cuerpo y formando grupos de a ocho a cada lado; se extienden desde el nivel posterior del acetábulo hasta el nivel del testículo posterior. Huevos pequeños y abundantes, miden 0,026 (0,023-0,028) de largo por 0,010 (0,07-0,013) de ancho. Vesícula excretora en forma de Y que transcurre en medio de los dos testículos.

Adjunto a los especímenes descritos anteriormente se encontraron también tres individuos con mayor grado de madurez (Fig. 6). En la Tabla III podemos observar la medidas morfométricas de éstos últimos comparadas con los anteriores juveniles.

Discusión

En la Tabla I se encuentran de forma comparativa, las especies de hospedadores, cantidad de individuos de cada especie examinada y la frecuencia de los hospedadores positivos para digéneos estudiados. **Gómez & Vicente** (1972) en su revisión del género *Rhopalias* anotan que son digéneos distribuidos desde Uruguay hasta el sur de los Estados Unidos como parásitos marsupiales y reconocen cuatro especies dentro del género: *R. baculifer* Braun (1900), *R. horridus* Diesing (1850), *R. macracanthus* Chandler (1932) y *R. coronatus* Stiles & Hassall (1898). Posteriormente fue descrita *R. caballeroi* Kifune & Uyema (1982) para el Perú. Las dos especies de *Rhopalias* descritas en éste estudio, presentan varias características significativas que los diferencian: *Rhopalias baculifer* es mas pequeña en largo, pero tiene el mismo ancho *Rhopalias caucensis* n. sp y además ésta última presenta en la parte

anterior de cuerpo un grupo de espinas formando una corona, éstas espinas no se encuentran en la *Rhopalias baculifer*; el número de espinas epidérmicas en las *Rhopalias baculifer* empieza a disminuir a nivel del testículo anterior y se extiende hasta cerca del extremo posterior, en tanto que, en la *Rhopalias caucensis* n. sp. tal número disminuye a nivel del ovario o en la región entre el ovario y testículo anterior o en la parte media de la distancia que existe entre el testículo posterior y la parte posterior del organismo. En la especie *Rhopalias baculifer* los testículos son triangulares y elongados, en tanto que en *Rhopalias caucensis* n. sp. en testículo anterior es algo cuadrado y acortado y el posterior triangular también acortado. El ovario en la mayoría de los especímenes de *Rhopalias baculifer*, presenta forma de riñón a diferencia del ovario redondeado de *Rhopalias caucensis* n. sp. El número promedio de huevos de *Rhopalias baculifer* es de cinco, mayor que *Rhopalias caucensis* n. sp. que es de dos.

Rhopalias baculifer difiere de *R. macracanthus* por tener un tercio del tamaño de ésta última y presentar los órganos de menor tamaño. En *Rhopalias baculifer* las espinas que rellenan la cutícula llegan hasta muy cerca del extremo posterior, mientras que en *M. macracanthus* se extienden hasta aproximadamente la mitad del cuerpo; los testículos en *Rhopalias baculifer* están ubicados en el centro del tercio final del cuerpo y en las especie identificada se encuentran en la región central de la parte posterior del parásito. *Rhopalias baculifer* carece de las 5-6 espinas laterales de la ventosa oral, que *R. macracanthus* si posee (Gómez & Vicente, 1972). *Rhopalias baculifer* difiere de *R. coronatus*, por carecer en la parte anterior del cuerpo de el grupo de 18 a 25 espinas en forma de corona, que caracterizan a *R. coronatus*; la ventosa oral de *Rhopalias baculifer* es triangular con vértices redondeados a diferencia de la redondeada de *R. coronatus*. Las probosis de *Rhopalias baculifer* son cortas alcanzando o sobrepasando un poco al nivel de la faringe, mientras que en *R. coronatus* se extienden hasta el nivel del acetábulo (Gómez & Vicente, 1972). *Rhopalias baculifer* es aproximadamente cinco veces menor que *R. coronatus* y sus órganos ocupan casi la totalidad del parásito. Por el contrario *R. coronatus* presenta la mayoría de sus órganos concentrados en los tercio anteriores del animal (Travassos et al., 1969).

Rhopalias baculifer corresponde a más o menos la mitad del largo de *R. horridus*; *Rhopalias baculifer* muestra las probosis armadas con ganchos grandes y escasos (ca10) en tanto que, en *R. horridus* tales ganchos son pequeños y en número mayor de 30 (Gómez & Vicente, 1972). Aunque es importante aclarar que, en la ilustración que

Yamaguti (1970) usa para representar a *R. horridus*, los ganchos de las probosis se notan grandes y muy escasos. En *Rhopalias baculifer* las espinas que recubren el cuerpo llegan hasta muy cerca del extremo posterior mientras que, en *R. horridus* alcanzan sólo el nivel del testículo posterior. La presente especie carece de ganchos laterales en la ventosa oral y del esfínter grande y muy musculoso a nivel del poro genital que si posee *R. horridus* (Gómez & Vicente, 1972).

Observando en la Tabla II las medidas de las especies de *Rhopalias* descritas por los diferentes autores, vemos que los ejemplares de *R. baculifer* aquí descrita presentan notables diferencias en tamaño con *R. baculifer* descrita por Gómez & Vicente (1972) y por (Travassos et al., 1969); los individuos colombianos son aproximadamente ocho veces menores, igualmente sus órganos son proporcionalmente reducidos; el saco del cirro es largo alcanzando generalmente la zona ovárica, no se observa la vejiga excretora y los folículos vitelinos inician a nivel de la región posterior del acetábulo.

Rhopalias baculifer se diferencia con *R. caballeroi* en que ésta última es aproximadamente el doble de larga, aunque tiene el mismo ancho, la ventosa oral, el acetábulo y el ovario también son proporcionalmente grandes, aunque los huevos no difieren notoriamente en el tamaño.

Después de hacer una detenida comparación de las características morfométricas de ésta especie, consideramos que se trata de una especie nueva para Colombia

Rhopalias caucensis n. sp., muestra algunas diferencias con *R. coronatus*: *Rhopalias caucensis* n. sp. es aproximadamente un tercio de la longitud total de *R. coronatus* y proporcionalmente sus órganos son de menor tamaño (Gómez & Vicente, 1972). El esófago de *Rhopalias caucensis* n. sp. es muy corto y no exhibe prefaringe, mientras en la descripción de Travassos et al. (1969), *R. coronatus* posee esófago y prefaringe de aproximadamente la misma longitud de la faringe. *Rhopalias caucensis* n. sp. presenta una relación ventosa oral-acetábulo, mucho menor que la mostrada por *R. coronatus*. Las espinas que recubren la cutícula de *Rhopalias caucensis* n. sp. se extiende hasta la región testicular, mientras que en *R. coronatus* casi alcanza el extremo posterior. Las probosis de *Rhopalias caucensis* n. sp. alcanzan o sobrepasan un poco el nivel de la faringe a diferencia de *R. coronatus* que tocan el acetábulo. Los folículos vitelinos de *Rhopalias caucensis* n. sp. aparecen en la zona terminal del acetábulo y los de *R. coronatus*, se inician a nivel de la bolsa del cirro. La vesícula seminal de *Rhopalias caucensis* n. sp. es elongada y en *R. coronatus* bilobulada.

Tabla II. Cuadro comparativo de las especies del género *Rhopalias*. En las dos primeras columnas se encuentran las tratadas en este estudio. Los espacios en blanco son datos no registrados por los autores. Medidas en mm

Característica	<i>R. baculifer</i> Rivillas <i>et al</i>	<i>R. caucensis</i>	<i>R. caballeroi</i> Kifune & Uyema 1982	<i>R. coronatus</i> Gómez & Vicente, 1972	<i>R. horridus</i> Gómez & Vicente, 1972	<i>R. baculifer</i> Gómez & Vicente, 1972	<i>R. macracanthus</i> Gómez & Vicente, 1972	<i>R. coronatus</i> Travassos <i>et al.</i> 1969	<i>R. horridus</i> Travassos <i>et al.</i> 1969	<i>R. baculifer</i> Travassos <i>et al.</i> 1969
Largo	1.42 (1.16-1.73)	2.82 (2.59-3.21)	1.85-4.19	5.09-15.12	2.54-3.46	8.09-13.78	4.0-4.75	6 - 9	1.33	10 - 12
Ancho	331 (263-527)	651 573-790	0,45-1.03	0,89-2.21	1.09-1.2	1.71-1.89	--	0,8 - 1.16	2 - 3	--
Ventosa oral L / A	0,073-0,13 x 0,77-0,13	0,13-0,17 x 0,14-0,17	0,10-0,20 diámetro	0,14-0,23 x 0,15-0,24	0,14-0,16 x 0,16-0,17	0,33-0,35 x 0,4	0,15-0,18	0,190,3 x 0,23-0,50	0,104	0,073-0,13 x 0,077-0,13
No. espinas en probosis laterales	8-9	-	8-9	-	-	-	-	-	-	-
Acetábulo	0,13-0,22 x 0,13-0,2	0,25-0,29 x 0,26-0,32	0,22-0,42 x 0,25-0,36	0,42-0,88 x 0,27-0,35	0,26-0,29 x 0,27-0,35	0,68 x 0,70- 0,72	0,36-0,43 x 0,29-0,35	0,5-0,9 diámetro	0,21-0,23 x 0,16-0,23	0,55 x 0,57
Relación ventosa oral - Acetábulo	1:1.65-1.67	1:1.5-1.8		1:1.14-3.7	1:16-2	1:1.8	1:1.16-2	1:1.9	1:2.4	1:2.3
Faringe	0,07-0,14 x 0,03-0,065	0,14-0,17 x 0,073-0,11	--	0,17-0,27 x 0,08-0,2	0,20-0,23 x 0,12-0,14	0,33 x 0,22	0,15-0,18 x 0,12-0,15	0,25-0,30	0,104 (largo)	0,21 x 0,16
Testículo Anterior L / A	0,11-0,21 x 0,10-0,19	0,25-0,43 x 0,25-0,37	--	0,39-1.35 x 0,19-0,45	0,22-0,32 x 0,32-0,38	1.71-2.37x 0,37-0,51	0,38-0,54 x 0,29-0,39	--	--	--
Testículo Posterior L/A	0,23-0,35 x 0,107-0,176	0,31-0,48 x 0,11-0,39	--	0,46 -1.86 x 0,14-0,39	0,32-0,47 x 0,32-0,36	1.79-2.53 x0,42-0,45	0,64-0,68 x 0,29-0,38	--	--	--
Ovario	0,096-0,17 x 0,092-0,22	0,12-0,17 x 0,20-0,28	0,11-0,38 diámetro	0,24-0,5 x 0,21-0,39	0,20-0,22 x 0,26-0,29	0,42 x 0,31	0,16-0,20 x 0,20-0,22	--	--	--
Huevos	0,062-0,096 x 0,031-0,054	0,088-0,100 x 0,035-0,046	0,08-0,09 x 0,04-0,05	0,086-0,093 x 0,0460,053	0,14-0,16 x 0,078-0,083	0,093 x 0,046-0,053	0,105-0,110 x 0,06	0,083-0,093 x 0,0520,062	0,093-0,114 x 0,052- 0,059	0,093 x 0,052

El ovario de *Rhopalias caucensis* n. sp es reniforme en tanto que, en *R. coronatus* es redondeado. En *Rhopalias caucensis* n. sp la vejiga excretora está tapada por los folículos vetelinos, mientras que en *R. coronatus* es tubular y no esta cubierta por los vitelarios, así como el poro excretor en la parte posterior del animal (Gómez & Vicente, 1972).

Rhopalias caucensis n. sp se diferencia de *R. horridus* en que posee una corona cefálica de ganchos en dos hileras intercaladas (Fig. 4 a, b y c). Además posee probósis con ganchos grandes y escasos, en tanto que, en *R. horridus* tales ganchos son pequeños y abundantes (Kifune & Uyema, 1982). No obstante, en la ilustración dada por Yamaguti (1971) para *R. horridus*, los ganchos se notan grandes y reducidos en número. *Rhopalias caucensis* n. sp carece de las 5 a 6 espinas que *R. horridus* muestra a cada lado de la ventosa oral y del esfínter grande y musculoso, que éste posee en el poro genital. El ovario de *Rhopalias caucensis* n. sp es reniforme a diferencia del redondeado de *R. horridus*. En *Rhopalias caucensis* n. sp no se percibe la vejiga excretora por estar cubierta por los vitelarios, que en *R. horridus* es tubular y abre en la

parte distal del parásito. También es importante tener en cuenta que, *R. horridus* siendo algo mas largo que *Rhopalias caucensis* n. sp, presenta tanto el cuerpo como sus órganos, relativamente mas anchos y menos alargados (Gómez & Vicente, 1972).

Rhopalias caucensis n. sp se diferencia de *R. baculifer* por tener aproximadamente un tercio del tamaño y sus órganos son mas o menos la mitad de ésta última especie. Las espinas cuticulares de *Rhopalias caucensis* n. sp alcanzan hasta el testículo posterior, mientras que en *R. baculifer* alcanzan el tercio terminal del cuerpo (Gómez & Vicente, 1972). Aunque es importante anotar que en la descripción dada por Travassos *et al.* (1969) aparece que la cutícula de *R. baculifer* no poseen espinas. La bolsa del cirro en *Rhopalias caucensis* n. sp por lo general alcanza la zona ovariana, mientras que en *R. baculifer* es pequeña y llega solo a la zona posacetabular. En *Rhopalias caucensis* n. sp no se diferencia la vesícula excretora por estar cubierta por los vitelarios, mientras que en *R. baculifer* es tubular y se abre en el poro excretor en el extremo posterior (Gómez & Vicente, 1972).

Al comparar *Rhopalias caucensis* n. sp con *R. macracanthus* vemos las siguientes diferencias:

Tabla III. Cuadro comparativo de los registros de *Amphimerus guayaquilensis*. Las dos primeras columnas son los individuos encontrados en este estudio. Medidas en mm

Especies / Características	<i>A. guayaquilensis</i> (juvenil)	<i>A. guayaquilensis</i> (maduro)	<i>A. guayaquilensis</i> Thatcher, 1970
Largo	4,303 (3,290-5,438)	7,523 (6,271-8,445)	10,4
Ancho	1,084 (884-1471)	1,394 (1,316-1,471)	1,8
Ventosa oral	243 (219-264) x 256 (200-296)	237 (242-235) x 340 (325-354)	0,53 - 0,46
Acetábulo	421 280-1333 x 420 (285-1387)	655 (581-729) x 605 (574-620)	0,72 x 0,72
Relación ventosa oral-acetábulo	1:2,0	1: 2,1	0,076
Faringe	178 (131-597) x 184 (127-636)	162 (156-173) x 221 (219-223)	0,49 - 0,68
Testículo anterior L/A	1,077 (65,4- 173) x181 (104-289)	465 (403-527) x 450(434-465)	0,49 - 0,68
Testículo posterior L/A	124 (65,4-185) x 164 58-277)	519 (481-543) x 570 (527-605)	0,57 - 0,63
Ovario	80 (50-162) x 130,3 (58-204)	248 (171-310) x 492 (465-543)	0,30 -0,46
Huevos	27 (23-28) x11 (8-14)	29 x 17 (15,4-17,3)	0,30 - 0,76
Hospedador	<i>Philander opossum</i> (vesícula biliar)	<i>Philander opossum</i> (hígado)	<i>P. opossum</i> , <i>D. marsupialis</i> (ductos biliares)

Rhopalias caucensis n. sp muestra una ventosa oral triangular con vértices redondeados, mientras que en *R. macracanthus* de redondeada. *Rhopalias caucensis* n. sp carece de carece de las 5 a 6 espinas laterales a la ventosa oral, que si aparecen en *R. macracanthus*. Además, *R. macracanthus* es dos veces mas grande que *Rhopalias caucensis* n. sp.

En la actual investigación se encontraron en el hígado de dos hospedadores marsupiales 21 individuos que claramente pertenecen a la especie *Amphimerus guayaquilensis*. Consideramos que los individuos mas pequeños son especímenes que todavía no han alcanzado el mayor grado de madurez, aunque ya presentan una cantidad de huevos considerable en el útero (fig. 6). Se llegó a la conclusión anterior, por el tamaño de los huevos, que es exactamente el mismo en ambos grupos de individuos, además la distribución y proporción de los órganos es la misma (fig. 5). En la Tabla III vemos las medidas de éstos dos tipos de especímenes comparadas con la señalada por **Thatcher** (1970), que es semejante en su morfometría. Por lo tanto concluimos que se trata de un nuevo registro para esta especie.

Bibliografía

- Artigas, P. de T. e Pérez, M.D.** 1964. Consideracoes sobre *Opisthorchis pricei* Foster, 1939, *O. guayaquilensis* Gomez et Montanvan, 1949 e *O. pseudofelineus* Ward, 1901. Descricao de *Amphimerus pseudophelineus minutus* n. subsp.. Mem. Inst. Butantan **30**: 157-166.
- Gómez, D. C. & J. J. Vicente.** 1972. Estudo do género *Rhopalias* Stiles & Hassall, 1898 (Trematoda, Rhopaliasidae). Mem. Inst. Oswaldo Cruz **70**: 115-133.
- Holdridge, L. R.** 1947. Determination of world plant formation from simple climate data. Science **105** (27): 367-368.
- Kifune, T & N. Uyema.** 1982. Report of the Fukuoka University Scientific Expedition to Peru, 1976. Part 3. Taxonomical Studies on trematodes from marsupials and rodents with records of two crabs. Med. Bull. Fukuoka Univ. **9** (3): 241-256.
- Marshall, M., & G. Miller.** 1979. Some digenetic trematodes from Ecuadorian Bats including five new species and one new Genus. J. Parasitol. **65** (6): 909-917.
- Thatcher, V.** 1993. Trematódeos Neotropicais. Presidencia da República, Ministerio de Ciencia e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia; Manaus, Amazonas. Editora Calderaro, 553 p.
- Travassos, L., Teixeira de Freitas, J. F. & Kohn, A.** 1969. Trematódeos do Brasil. Mem. Inst. Oswaldo Cruz, **67**: 1-886.
- Yamaguti, S.** 1971. Synopsis of the Digenetic Trematodes of Vertebrates. Keigaku Co., Vols. **I & II**. 1074 p. Tokyo, Japan.

Recibido el 15 de marzo de 2002

Aceptado para su publicación el 14 de octubre de 2004

IN MEMORIAM

LUIS EDUARDO MORA OSEJO

(Túquerres, Nariño, 7 de diciembre de 1931 – Bogotá, 11 de marzo de 2004)



La Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales tiene una deuda impagable con el profesor don Luis Eduardo Mora Osejo. Fue nuestro presidente por 20 años consecutivos, durante los cuales la Institución se transformó, para el bien de la ciencia y del país, en una Institución dinámica, moderna e influyente.

Pero la deuda no es sólo por lo que hizo, sino por la forma en que lo hizo, que no fue más que un reflejo de su carácter y de su personalidad excepcionales. El doctor Mora fue y actuó, siempre, como un hombre sabio y bueno. ¡Qué maravillosa combinación! Estudioso y profundo. Su saber iba mucho más allá de un área específica de estudio, incluso más allá de la botánica y de la biología. Generoso con su conocimiento que dispensaba a todos los que nos hallábamos a su alrededor, sin reservas, sin consideraciones diferentes a una convicción férrea de que la ciencia es patrimonio universal, que pertenece a todos, y por tanto era él un depositario transitorio, con el autoimpuesto deber de difundirla y fomentarla para el bien de sus congéneres y de la Nación toda.

Era el Dr. Mora además una persona dulce y comprensiva. De una tolerancia llevada al extremo. Durante todos los años que lo conocí y en los que tuve el privilegio de trabajar con él, no lo recuerdo alzándole la voz a alguien ni jamás escuché de él un concepto negativo sobre perso-

na alguna. No era la suya una tolerancia acrítica. Sus posiciones eran claras y bien meditadas, y perseguía sus metas (siempre altruistas) con constancia y tenacidad. Por eso, la incomparable obra que nos deja para acompañar su memoria.

No hay duda de que don Luis Eduardo Mora Osejo es un ejemplo para todos nosotros. Ni siquiera sé si él sospechaba qué tan importante era su ejemplo. Los hombres grandes, actúan siempre haciendo lo que saben que deben hacer, indiferentes a los honores y ajenos al respeto que despiertan. Saben que eso se da a veces por añadidura, pero que su recompensa verdadera está en la realización de su obra. El Dr. Mora fue un hombre grande. Nos va a hacer mucha falta, nos queda el consuelo, como le debe quedar a su querida familia, a doña Alicia su esposa, a Alicia Margarita y Ana Lucía sus hijas, a Luis Juan su hijo, a sus nietos, a sus hermanos y familiares, que vivió intensamente cada instante, que siempre estuvo creando y produciendo, que difundió generosamente sus conocimientos y que se constituyó en un ejemplo para cientos de discípulos, amigos y compañeros.

Bendita sea su memoria.

Moisés Wasserman
12 de Marzo de 2004

POLIDORO PINTO ESCOBAR

(Carmen de Carupa, 30 de noviembre de 1926 – Bogotá, 13 de noviembre de 2004)



Cuando se encontraba en prensa esta entrega de la Revista falleció el académico de número Polidoro Pinto Escobar, quien colaboraba como Coordinador Editorial de la misma. Durante más de cincuenta años el profesor Pinto ocupó un puesto destacado en la vida de la Universidad Nacional, primero como estudiante y luego como docente. Allí desempeñó diferentes cargos de dirección e influyó decisivamente en la elaboración de los distintos estatutos. Como directivo se preocupó por la consolidación de la carrera docente y por el bienestar del profesorado y mostró especial interés por el desarrollo de la Facultad de Ciencias –sede de Bogotá– de la cual fue su primer secretario y del Instituto de Ciencias Naturales, dependencia de la que fue director por más de ocho años. Una de sus metas fue la de consolidar y fortalecer los programas de investigación, a la vez que se preocupó por activar las publicaciones y mejorar su calidad y difusión. Por sus méritos científicos fue recibido en esta corporación, a la que sirvió con cariño por varios años. Como homenaje a su memoria, y dada la premura del tiempo, me permito reproducir las palabras que pronuncié con ocasión de su posesión como miembro de número la tarde del 28 de noviembre de 2001.

“Acabamos de presenciar una interesante y documentada exposición sobre la familia de las gramíneas. Tenemos aún frescas en la pupila las imágenes de las estructuras más características y hemos visto cuales han sido los antecedentes en el estudio de esta familia en nuestro medio. Por ello, y como parte del ritual académico, al dar respuesta al doctor Polidoro Pinto, quiero comentar algunos aspectos que él, en aras de respetar el tiempo, dejó de lado o tocó apenas en forma tangencial.

Con toda propiedad podemos señalar que la familia de las gramíneas forma el grupo de plantas más importantes para el hombre. De hecho, las gramíneas han estado

estrechamente unidas a la historia de la humanidad y por tal motivo constituyen un importante campo de estudio. Sin embargo, el mismo ha sido eludido por muchos, y tradicionalmente los estudiantes de botánica, y más aún quienes aspiran a convertirse en agrónomos o zootecnistas, muestran temor y aun pánico ante nombres como *Agrostis*, *Paspalum*, *Aristida* o *Poa*, los cuales han pasado a ser sinónimo de dolor de cabeza. En realidad, la clasificación de las gramíneas es conocida por muy pocos, aun entre los propios taxónomos, quienes temen penetrar a ese particular mundo, debido a la similitud que, a primera vista, muestran muchas de ellas y a su poca vistosidad.

Se supone que su organización es muy compleja y difícil de entender, pero, como ocurre con todas las familias de plantas, una vez que se comprende la estructura de sus órganos reproductores, su estudio resulta similar en dificultad al de cualquier grupo vegetal. Dicho de otra manera, aparte de los ejemplares de herbario, tan solo requiere de paciencia, dedicación, un buen estereoscopio y suficiente bibliografía. Abordadas de este modo y comprendidas en sus particularidades, las plantas resultan accesibles a todos, interesantes y aun apasionantes, como le resultan a los especialistas, quienes se encariñan con su tema de estudio y lo incorporan a su vida cotidiana como algo amable.

En forma curiosa, aunque no extraña en nuestro medio, cuando se iniciaba en la botánica sistemática y buscaba un grupo como objeto de investigación, el doctor Pinto fue orientado hacia las gramíneas y se asoció con ellas, merced a un consejo malintencionado de un profesor, quien le sugirió tal tema como campo de profundización, no para llenar un enorme vacío existente en el conocimiento de nuestra flora, sino para mortificar a otro colega interesado el mismo tema. Lo cierto es que el aspirante a agrostólogo perseveró, penetró en los arcanos de las gramíneas y continuó estudiándolas a lo largo de su vida.

Hemos escuchado de sus labios, y hemos visto en las ilustraciones proyectadas, cómo es la estructura de las espículas y qué papel juegan las glumas, las lemmas, las páleas y las lodículas en la clasificación. Ya conocemos las bases de su clasificación y ecología y hemos oído la forma como ha progresado el conocimiento acerca de este grupo; por ello deseo hacer énfasis en su importancia económica y cultural, la cual explica por qué las gramíneas merecen no uno, sino muchos especialistas. Infortunadamente, como nos lo ha señalado el nuevo académico, en nuestro medio esta familia carece de cultores, aunque el futuro se muestra promisorio por la aparición de nuevos agrostólogos.

Las gramíneas son abundantes y frecuentes en todas las regiones del globo. Las encontramos en todos los continentes formando extensas praderas donde son dominantes, y a la vez las hallamos ocupando pequeñas grietas, fisuras e intersticios de las piedras, donde ayudan a generar el suelo al favorecer la meteorización de las rocas, al ayudar a fragmentarlas, en la medida en que penetran sus abundantes raíces, dejando espacio al agua y a otros agentes que continúan el proceso. En Colombia las encontramos desde el nivel del mar hasta el superpáramo, muy cerca al límite de las nieves perpetuas. En el páramo, comparten el dominio del paisaje con los frailejones, dominan en las llanuras de la Orinoquía, son frecuentes a la orilla de las quebradas y caminos, invaden las playas de los ríos, prosperan en el sotobosque y muchas se comportan como invasoras de los cultivos. De hecho, esa notable capacidad para invadir otros cultivos sirvió de origen a los cereales secundarios, cuyas especies invadían las siembras de los cereales primarios. Los agricultores primitivos resolvieron cultivarlos paralelamente con sus congéneres en lugar de combatirlos, lo cual hizo posible que la cebada, la avena, el centeno y demás cereales menores ingresaran a la economía agrícola como forrajes.

Sin duda, los cereales son la principal fuente de alimento para el hombre y para los animales. Su ingreso a la agricultura es tan remoto que olvidamos cuáles fueron sus ancestros. Su evolución ocurrió antes de la época histórica; sabemos que las civilizaciones más antiguas conocían y utilizaban diversas clases de trigo, cebada y otros granos. Muchos años antes de la era cristiana, en Roma, con ocasión de la siembra o la recolección se celebraban grandes fiestas de la cosecha en homenaje a Ceres diosa a quien se atribuía el don de los granos o "*cerealia munera*". En Grecia se daban hechos similares y en América también se ofrecían a los dioses los primeros frutos de cada cosecha

Todos los cereales pertenecen a la familia de las gramíneas; los llamados cereales mayores, tienen una enor-

me importancia en la alimentación. Para cada clase de clima existen uno o varios cereales que se adaptan a sus condiciones. Además son fáciles de cosechar, almacenar y transportar, aparte de poseer un gran valor nutritivo. Su importancia cultural es capital. Gracias al trigo, el sorgo, el arroz y el maíz, florecieron las civilizaciones en Europa, África, Asia y América. Cada desarrollo cultural estuvo fuertemente ligado con el cultivo de uno de estos cereales. No en vano Ceres, la diosa de los cultivos les prestó su nombre. Las espigas y panojas, ricas en granos, resolvieron muchos problemas y permitieron al hombre pasar de la condición de cazador nómada a la de agricultor, y en torno de los cultivos florecieron los poblados que luego se transformarían en pueblos y ciudades donde luego florecería el comercio. Bastó a los primeros colonizadores llevar en su bolsa un puñado de granos para garantizar su supervivencia futura, avalada en la seguridad de una cosecha. En esta forma, el hombre se fue alejando de los valles para ascender por el curso de los ríos y conquistar los valles de las cordilleras.

Quizás un grano caído por descuido sobre las brasas, reventó al calor; el ruido atrajo la atención y quien lo examinó vio cómo el calor había abierto el grano y cómo el jugo de su interior se había transformado en una masa sólida y blanda fácil de masticar y digerir. Esta observación casual, y que se pudo repetir muchas veces, puso de presente las ventajas de la cocción para ablandar los alimentos. El descubrir que los granos se podían pilar o moler, para luego ser amasados y cocidos, revolucionó las costumbres culinarias. Posteriormente, con seguridad en forma casual, se descubrió el proceso de fermentación que dio lugar a varias bebidas refrescantes y que a la vez alegraban el espíritu; estas bebidas vinieron a animar las fiestas de la cosecha y se incorporaron a la cultura y a la economía. Los forrajes para alimentar el ganado simplemente surgieron de los restos del material utilizado para la molienda. El azúcar, otra fuente de alimento y materia prima para la fermentación, apareció con abundancia en las cañas de algunas gramíneas. La caña de azúcar ya no se conoce en estado espontáneo y su cosecha es una de las más importantes a nivel mundial, sobrepasando en importancia al trigo, el maíz y la papa.

Pero no todas las gramíneas son comestibles o forrajes. Muchas de ellas son ornamentales y otras sirven en la construcción. El caso más cercano a nosotros es el de la guadua, hierba gigante y polifacética, cuya arquitectura sorprendió a Humboldt y a Bonpland, quienes la describieron. Sus múltiples usos admiran: van desde una simple vara para formar un tabanque, o medio tallo acostado para fabricar un acueducto rudimentario, hasta la manufactura

de formaletas, muebles, paredes, techos y acabados. No es la ocasión de extenderme en estos temas, que siempre he encontrado de interés y que desarrollé cuando tuve a mi cargo una asignatura conocida como botánica económica. Tan solo he querido destacar los temas tratados por el profesor Pinto, a quien conozco de vieja data.

Aun siendo estudiante, debí acudir a su despacho, de secretario del Instituto de Ciencias Naturales, donde me atendió con amabilidad y resolvió rápidamente mis inquietudes. Recién le había conocido y sabía que acababa de regresar de París, luego de una de sus prolongadas estancias en la Ciudad Luz. Allí, siempre ocupado de las gramíneas, había laborado en el Laboratorio de Fanerogamia del Museo de Historia Natural, donde años atrás había cursado su doctorado, invitado por Monsieur Humbert. De la mano de Mademoiselle Lourteig debió familiarizarse con la biblioteca y con el herbario, que cual caja de Pandora encierra numerosas sorpresas taxonómicas, en medio de un polvo centenario que corroe las blusas de laboratorio. En sus incómodas gavetas se ocultan ejemplares típicos, que carecen de rótulo, pero que permiten aclarar las sinonimias, y de paso dar revolcones a la nomenclatura. Allí, a través de los pliegos se pueden reconstruir los itinerarios de los botánicos más famosos y se puede recrear el progreso de la taxonomía a través de la evolución de los sistemas de clasificación. No en vano, éste es uno de los máximos templos de la botánica, junto con Kew Gardens y San Petersburgo, seguidos por los herbarios de Ginebra y Washington y por otros importantes centros de investigación. Pero el herbario de París,

como lo ha comprobado repetidas veces el profesor Pinto, tiene un encanto particular y encierra mayores arcanos que los demás herbarios del mundo.

He mantenido con el doctor Pinto una amistad que viene desde 1966, cuando empecé a tratarle, amistad que se acrecentó cuando ingresé como docente a la Universidad. He sido testigo de su amor por el “*alma mater*” y de su entrega total a la causa universitaria, pero hoy no quiero destacar estos aspectos, pues su acceso a la silla de numerario se debe, no a su desempeño docente, sino a su actividad como investigador. En este campo, debo destacar su “Clave para los géneros de gramíneas de Colombia”, la redacción de los dos volúmenes en que se trata esta familia para la “Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada”, el texto correspondiente a esta familia en el “Catálogo ilustrado de las plantas de Cundinamarca” y la revisión del género *Bromus*, un trabajo menos conocido entre nosotros, pero que le sirvió como aval para ser invitado a un Congreso mundial en Berlín, donde su participación fue destacada.

Estas ideas, un tanto deshilvanadas me han servido para dar respuesta a su discurso de posesión. Su ascenso a la categoría de numerario es una merecida distinción, y como ha quedado demostrado, enriquece la nómina de los miembros de número. Gracias señor presidente por haberme asignado esta comisión, que he cumplido con inmenso agrado”.

Santiago Díaz-Piedrahita