

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

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXXIV

SEPTIEMBRE DE 2010

NÚMERO 132

DIRECTORA DE LA REVISTA: MARGARITA PEREA DALLOS



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Biología Marina (Marine Biology)		Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano [Landfills in Latin America: Colombian case] <i>Katia M. Noguera, Jesús T. Olivero</i>	347
Bivalvos perforadores de madera en la Costa Pacífica Colombiana [Wood-Boring Bivalves (Mollusca: Teredinidae, Pholadidae) of Pacific coast of Colombia] <i>Jaime R. Cantera K.</i>	277	Química (Chemistry)	
Biología Molecular (Molecular Biology)		Estudio de la hidrogenación en fase homogénea de oleato de metilo con catalizadores de Rutenio y Paladio [Catalytic Hydrogenation of Methyl Oleate by Ruthenium and Palladium Homogeneous Catalysts] <i>Andrés Sebastian Salinas Trujillo, Fernando Cuenú Cabezas, María Patricia Zuluaga Moreno, Luis Alfonso Vargas Jiménez, Alfonso Enrique Ramírez Sanabria</i>	357
Non-GTPase proteins that share common motifs with g domains: convergent or divergent evolution or domain recombination? [Proteínas no-GTPasas que comparten motivos comunes con dominios G: ¿Evolución convergente o divergente o recombi- nación de dominios?] <i>Jorge Hernández-Torres, Alfonso Pineda-Barbosa, Jacques Chomilier</i>	289	Modificación de una Bentonita Sódica mediante intercala- ción-pilarización y delaminación con Oligómeros de Cr o Sn. [Modification of a Sodium Bentonite by intercalation- pillaring and delamination with Cr or Sn Oligomers] <i>Michael Nicolás Vanoy Villamil, José Gregorio Carriazo Baños, Rafael Molina Gallego, Sonia Moreno Guáqueta</i>	365
Botánica (Botany)		Zoología (Zoology)	
Novedades taxonómicas en el género <i>Columnnea</i> (Gesneriaceae) [Taxonomic novelties within the genus <i>Columnnea</i> (Gesneriaceae)] <i>Marisol Amaya-Márquez</i>	301	¿Es <i>Sayornis nigricans</i> (aves: <i>Tyrannidae</i>) un buen indicador de calidad ambiental en la zona urbana de Cali, Colombia? [Is <i>Sayornis nigricans</i> (aves: <i>Tyrannidae</i>) an Accurate Environmental Indicator in the Urban Zone of Cali, Colombia?] <i>Angélica Hernández, Felipe A. Estela, Patricia Chacón de Ulloa</i> ..	373
Uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas en el Valle de Sibundoy, Alto Putumayo, y su relación con procesos locales de construcción ambiental. [Traditional use and management of medicinal and magical plants in the Sibundoy Valley, High Putumayo, and their relationship with local processes of environmental construction] <i>John James Rodríguez-Echeverry</i>	309	La avifauna de la parte media del río Apaporis, Departamentos de Vaupés y Amazonas, Colombia [The avifauna of the middle Apaporis River, Vaupés and Amazonas Departments, Colombia] <i>F. Gary Stiles</i>	381
Ciencias de la Tierra (Earth Sciences)		Ecología de los ostrácodos no marinos del embalse La Fe (El Retiro, Antioquia) y su potencial aplicación en estudios paleoambientales [Ecología de los ostrácodos no marinos del embalse La Fe (El Retiro, Antioquia) y su potencial aplicación en estudios paleoambientales] <i>Andrea Torres Saldarriaga, José Ignacio Martínez</i>	397
Assessing the effect of soil use changes on soil moisture regimes in mountain regions. (Catalan Pre-Pyrenees NE Spain) [Calculo del efecto de los cambios del uso del suelo sobre los regimenes de humedad del suelo en regiones de montaña. (Prepirineo Catalan-NE España)] <i>Juan Carlos Loaliza Usuga, Eusebio Jarauta-Bragulat, Jaume Porta Casanellas, Rosa Maria Poch Claret</i>	327	Constitución de la Academia (<i>Members of the Academy</i>)	411
Medio Ambiente (Environment)		Publicaciones de la Academia (<i>Publications of the Academy</i>)	415
CO ₂ y radiación solar: ¿causantes del calentamiento global? [CO ₂ and solar radiation: cause of global warming?] <i>Gabriel Bayona, Yuri C. García, Heiner R. Sarmiento</i>	339		

EDITORIAL

Nos complace presentar a la comunidad científica nacional e internacional el número 132 de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Se han propuesto algunos cambios relacionados con el Comité Editorial y el Comité Científico Internacional. Para los académicos que nos han colaborado en años anteriores, nuestra profunda gratitud. Presentamos nuestra cordial bienvenida a los nuevos miembros de los comités y los invitamos a participar activamente en el mejoramiento de la revista.

Queremos invitar a los colegas científicos e investigadores a remitirnos sus trabajos, considerando que estas publicaciones contribuyen como elemento fundamental para mantener y mejorar la calidad de la revista.

En el presente número se incluyen temas relacionados con varias áreas de la ciencia. En la “Biología Marina” se presenta un artículo sobre bivalvos -moluscos perforadores de madera- en la Costa Pacífica colombiana. De “Biología Molecular” se expone un análisis sobre proteínas no-GTPasas que comparten motivos con dominios G y su importancia como evidencia de evolución convergente o divergente o recombinación de dominios. En el área de “Botánica” se presentan dos artículos: el primero incluye varias novedades taxonómicas en el género *Columnea* de la familia Gesneriaceae, mientras el segundo analiza el uso de especies de importancia medicinal y mágica en las comunidades del Valle de Sibundoy, alto Putumayo.

En el área de las “Ciencias de la Tierra” se discuten los efectos de cambios en el uso del suelo sobre los regímenes de humedad del suelo en regiones de montaña.

Dentro del tema de “Medio Ambiente” se analiza, en el primer artículo, cómo el CO₂ y la radiación solar pueden ser causantes del calentamiento global, tema de gran interés mundial. El segundo artículo está relacionado con los rellenos sanitarios en América Latina, con especial énfasis en el caso de Colombia.

En “Química” se presenta un estudio sobre la hidrogenación del oleato de metilo en fase homogénea con Rutenio y Paladio. El segundo trabajo hace referencia a la modificación de la Bentonita sódica por intercalación-pilariación y delaminación con los oligómeros de Cr o Sn.

En el área de la “Zoología” se incluyen tres artículos de los cuales dos tratan sobre aves. El primero plantea que el ave *Sayornis nigricans* puede ser un buen indicador de la calidad ambiental para la ciudad de Cali, en tanto que el segundo describe la avifauna presente en la parte media del río Apaporis en los departamentos de Vaupés y Amazonas. Finalmente, se analiza la aplicación potencial de los ostrácodos no marinos del embalse de La Fe (El Retiro, Antioquia) para estudios paleoambientales.

Los recientes avances de las ciencias, inherentes a las numerosas disciplinas cubiertas en este número de la revista, son evidentes; sus resultados repercuten directamente o indirectamente en el fortalecimiento de la medicina, agricultura, industria e ingenierías, y pueden influir en el mejoramiento y bienestar de la humanidad.

Margarita Perea Dallos
Editora

BIVALVOS PERFORADORES DE MADERA (MOLLUSCA: TEREDINIDAE, PHOLADIDAE) EN LA COSTA PACÍFICA COLOMBIANA

Por

Jaime R. Cantera K¹.

Resumen

Cantera K., J. R.: Bivalvos perforadores de madera (mollusca: Teredinidae, pholadidae) en la Costa Pacífica Colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 277-288, 2010. ISSN 0370-3908.

Doce especies de bivalvos perforadores de madera, diez de la familia Teredinidae y dos de Pholadidae fueron recolectadas en manglares de 6 localidades de la costa Pacífica colombiana. En este trabajo se presenta una breve descripción, incluyendo las tallas encontradas, notas sobre el hábitat que ocupan y la distribución geográfica conocida de las doce especies encontradas.

Palabras clave: Teredinidae, Pholadidae, perforadores de madera, biodeterioro, biodestrucción.

Abstract

Twelve species of wood-boring bivalves, ten of the family Teredinidae and two of family Pholadidae were collected in mangroves at 6 locations of the Pacific coast of Colombia. This paper presents a brief description of these species, including size, ecological notes and geographical distribution.

Key words: Teredinidae, Pholadidae, wood-boring mollusks, Shipworms, biodeterioration, biodestruction.

Introducción

Los bivalvos perforadores de madera pertenecen a dos familias del orden Myoida (subclase Heterodonta): Pholadidae (géneros *Barnea*, *Martesia*, *Xilophaga*) y Teredinidae (géneros *Teredo*, *Bankia*, *Lvrodus*, *Psiloteredo* y *Nausitora*).

Los principales sustratos orgánicos habitados por los perforadores de maderas son partes muertas de árboles de mangle y en menor proporción, de otras especies vegetales. También se encuentran en madera procesada que cae accidentalmente al mar o en construcciones artificiales hechas en el borde del mar con madera, como pilotes de

¹ Profesor Universidad del Valle, Departamento de Biología, A.-A. 25360, correo electrónico: jaime.cantera@correounivalle.edu.co

viviendas palafíticas, muelles y embarcaciones. Al perforar la madera estas especies contribuyen a su degradación realizando una acción ecológica directa e importante en la transformación de la materia orgánica del ambiente marino. La degradación de la madera puede ser realizada por acción mecánica de estructuras morfológicas especializadas, como *Teredo* que posee un vértice dentado en la concha (Turner, 1984) o por acción química, como *Bankia* y *Lyrodus*, que secreta enzimas (glucanasas o glucosidasas) que degradan celulosa, facilitando la penetración de los bivalvos (Dean, 1978; Popham & Dickson, 1973). Los bivalvos perforadores empiezan la excavación justo después del asentamiento de la larva pediveliger y van agrandando y profundizando el orificio a medida que crecen, por lo que grandes segmentos de la madera terminan descompuestos. Todas las especies de Teredinidae utilizan la madera como alimento, Boynton & Miller (1927) registraron la presencia de microorganismos capaces de contribuir en la degradación de celulosa. Algunas de estos microorganismos han sido clasificados como proteobacterias endosimbióticas identificadas como del género *Teredinibacter* (Distel *et al.*, 2002a; Distel *et al.*, 2002b). Los Pholadidae perforan madera de manera similar a como perforan los sustratos duros como material rocoso o calcáreo, es decir por acción principalmente mecánica. Ambos grupos recubren sus cavidades con una capa de limo calcáreo compactado en forma de tubo que ayuda a proteger la consistencia de la cavidad (Board, 1970).

Los bivalvos perforadores de madera son relativamente bien conocidos, desde hace tiempo en algunas regiones del mundo, por su importancia como plagas de las estructuras de origen humano construidas con madera (muelles, pilotes, embarcaciones y otras estructuras civiles). Algunos datos históricos sobre la familia Teredinidae se encuentran en los trabajos taxonómicos de Clench & Turner (1946) y Turner (1959) sobre las costas Atlántica y Pacífica de Norteamérica, en Kofoed & Miller (1927) sobre la bahía de San Francisco y en los trabajos sobre biología y estados larvales de Turner & Johnson (1971), Turner & Boyle (1975), Hoagland & Turner (1981) y Turner (1984). El trabajo más notable sobre este grupo es el catálogo ilustrado de Turner (1966) que organizó las especies en los géneros conocidos hasta ese momento y se mantiene como la recopilación más utilizada para identificación taxonómica de las especies. Los Pholadidae han sido estudiados desde hace muchos años por su capacidad destructora de sustratos duros, pero los que perforan en madera han sido menos estudiados, conociéndose la revisión taxonómica de las especies del Atlántico y Pacífico americanos de Turner (1954) y algunos datos de Europa y Australia (Pinn *et al.*, 2005, Brearley *et al.*, 2003). Los géneros *Martesia* y

Xylophaga han sido estudiados en todo el mundo, incluyendo aguas costeras y profundas, en sus aspectos reproductivos y fisiológicos (Ansell & Nair, 1967, Nair *et al.*, 1971, Yennawar *et al.*, 1999).

En América del Sur existen algunos trabajos más recientes. En Brasil, Reis (1995), Lopes & Narchi (1993, 1997) y Leonel *et al.* (2002, 2006) han realizado inventarios de Teredinidae en áreas de manglar y han introducido sustratos artificiales para colectar especies de esta familia. En la costa Pacífica de América del Sur, los perforadores de madera han sido estudiados principalmente en Chile (Stuardo *et al.*, 1970) y en Ecuador (Cruz 1986, 1992, Cruz *et al.*, 1987, Cruz, 1992), que incluyeron ambas familias en su estudio.

En el Caribe y Atlántico americanos, Abbott (1974) cita 21 especies perforadoras de madera: 14 de Teredinidae y 7 de Pholadidae. En el Caribe colombiano, Diaz-Merlano & Puyana-Hegedus (1994) registran 11 especies que pueden ser encontradas en madera, 5 de Pholadidae y 6 de Teredinidae. En el litoral Pacífico colombiano se han realizado pocos trabajos sobre los perforadores de madera, habiéndose estudiado taxonómicamente la familia Teredinidae en la bahía de Buenaventura (Sandoval *et al.*, 1995). Los Pholadidae han sido estudiados en las bahías de Buenaventura y Málaga por su importancia en la bioerosión de costas rocosas constituidas por acantilados terciarios donde predominan las rocas de lodolitas y limolitas (Cantera *et al.*, 1998). Para otras localidades se han registrado algunas especies dentro de trabajos de revisión taxonómica, inventarios o estudios sobre comunidades asociadas a los manglares (Cantera 1982; Escallón & Cantera, 1989, Cantera 1991, Prah & Cantera, 1986).

El presente trabajo tiene por objeto contribuir a aumentar el conocimiento de los moluscos bivalvos perforadores de madera de las familias Teredinidae y Pholadidae en la costa Pacífica colombiana.

El área de estudio

La costa Pacífica colombiana es un área tropical con varios biotopos que incluyen playas arenosas, acantilados y playas rocosas, planos de lodo, arrecifes coralinos y áreas de manglares. La región Norte, comprendida desde la frontera de Colombia con Panamá hasta Cabo Corrientes en la parte central de la costa, está constituida por las estribaciones de la Cordillera del Baudó que presenta rocas básicas, volcánicas del secundario, apareciendo como una costa alta de acantilados con algunas áreas rocosas y extensas playas arenosas. Al norte hay una costa que forma colinas bajas sedimentarias de origen terciario con sustratos rocosos, are-

nosos y lodosos con cantos y gravas, expuestos constantemente a la erosión del mar. En esta región se presentan manglares en los márgenes de los ríos y bahías o golfos. La zona al sur de Cabo Corrientes está dominada por amplias áreas de manglar en que se desarrollan en planos lodosos aluviales de un número grandes ríos que desembocan en la costa formando estuarios con playas arenosas en sus bocanas y manglares de borde, de barra y ribereños (Prahl *et al.*, 1989, Cantera & Blanco 2001).

La costa Pacífica colombiana está localizada en una zona altamente lluviosa durante todo el año con unos promedios de pluviosidad que varían entre 300 y 850 mm mensuales, como consecuencia de su posición en la zona de convergencia intertropical. La temperatura superficial del agua varía entre 25,5 y 29,9 °C y la salinidad entre 9 y 30 unidades (Gidhagen, 1981; Cantera, 1991) y se presenta un rango mareal amplio (3 a 5 m).

En este trabajo se registran 10 especies de Teredinidae y 2 de Pholadidae perforadoras de madera de varias localidades del Pacífico colombiano: Golfo de Cupica (GC), Bahía de Málaga (BM), Bahía de Buenaventura (BB), Guapi (GU), Mulatos (MU), Tumaco (TU), y la Isla Gorgona (IG) (Figura 1). En todas las estaciones se examinaron manglares vivos y muertos, restos de pilotes de muelles abandonados y embarcaciones así como pedazos de madera varados en la playa.

Maeriales y métodos

Las muestras de los moluscos fueron recolectadas durante varios años, en forma manual, utilizando instrumentos como hachas y cuchillos para partir los troncos de madera que todavía no estaban completamente destruidos por el perforador. Posteriormente se procedió a retirar el animal con pinzas, fijándolos en formalina al 10% en agua de mar durante 3 días y luego se conservaron en una solución de alcohol etílico al 70%. Todas las especies fueron recolectadas en troncos muertos de mangle rojo (*Rhizophora*), pilotes de muelles o de viviendas y embarcaciones de madera en descomposición. Unos pocos ejemplares se colectaron en partes muertas del nato (*Mora oleifera*) o en restos de madera flotante varados en playas.

La identificación se realizó al microscopio estereoscópico y al microscopio compuesto, utilizando las claves y guías taxonómicas de Teredinidae y Pholadidae de Turner (1954, 1966); Cruz, *et al.* (1987); Muller & Lana (1986) y los libros de Olsson (1961), Keen (1971) y Brusca (1973). Las características morfológicas que sirvieron para la identificación de las especies fueron las paletas, la región terminal de los sifones, la caperuza cefálica y las partes que componen las



Figura 1. La costa pacífica colombiana y localidades de estudio: GC, Golfo de Cupica; BM, Bahía Málaga; BB, Bahía Buenaventura; GU, Guapi, TU, Tumaco, IG, Isla Gorgona.

paletas (Figura 2). La concha tiene relativamente poca utilidad para la identificación de especies de la familia Teredinidae, puesto que pueden ser muy similares entre especies muy diferentes y pueden variar intraespecíficamente dependiendo del sustrato y de las características ambientales (Cruz *et al.* 1987).

Resultados

Lista taxonómica y descripción de las especies de teredinidae y de pholadidae de zonas de manglares de la Costa Pacífica Colombiana

Clase: Bivalvia, Subclase: Heterodonta, Orden: Myoidea, Superfamilia: Pholadacea

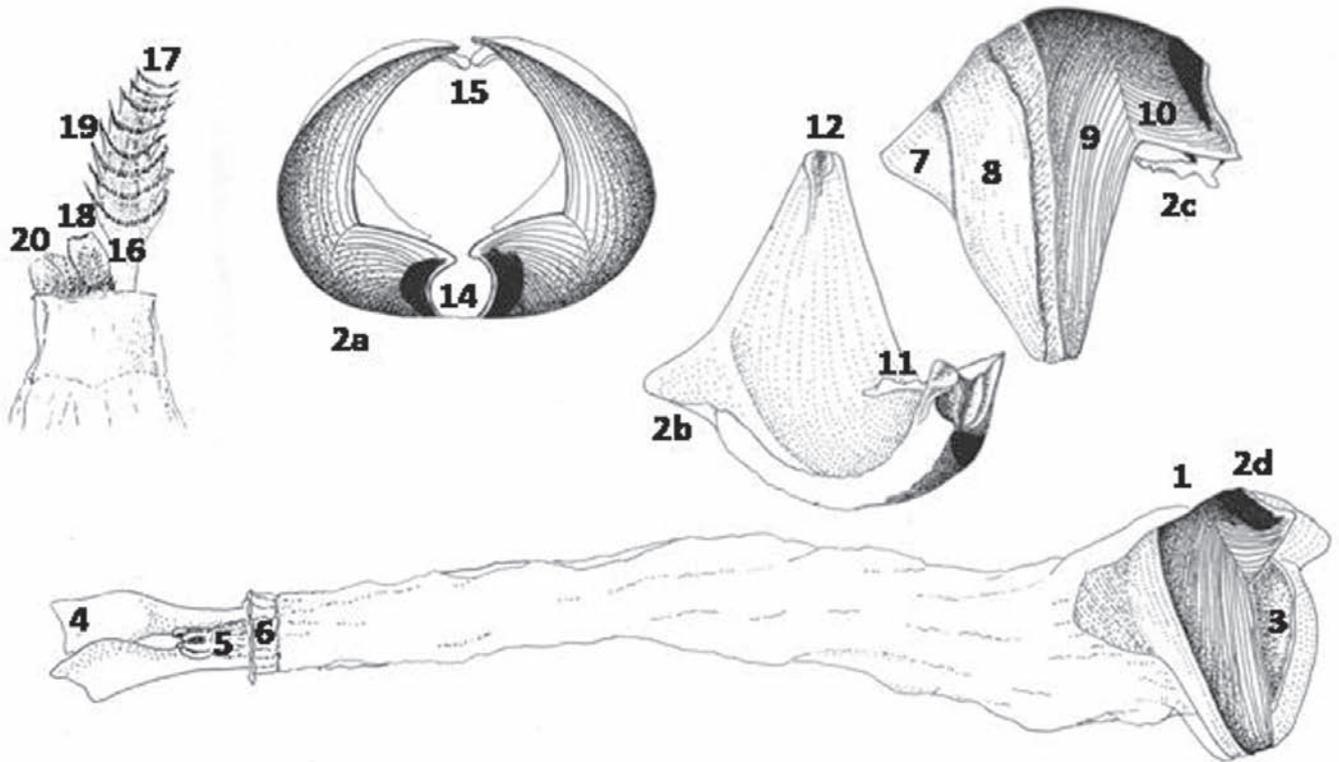


Figura 2. Principales características morfológicas de los Teredinidae utilizados para su identificación taxonómica: 1. Caperuza cefálica; 2. (a, b, c y d) Concha; 3. Pie; 4. Paleta; 5. Sifones con tentáculos; 6. Collar; 7. Inclinación posterior; 8. Disco; 9. Zona estriada; 10. Surco umbonal-ventral; 11. Apófisis; 12. Surco umbonal-ventral, vista del interior; 13. Cóndilo dorsal; 14. Umbo; 15. Cóndilo ventral; 16. Espina o tallo; 17. Aserraciones; 18. Sifón incurrente; 19. Conos; 20. Sifón excurrente.

Familia: Teredinidae

Género: *Bankia* Gray, 1840

Paletas alargadas, con segmentos separados formando conos individuales en los adultos. Márgenes lisos o con bordes aserrados. Sifones separados, branquias grandes. Las larvas no son retenidas por los organismos maduros.

Bankia (Neobankia) zeteki Bartsch, 1921 (Figura 3)

Material:

Bahía de Buenaventura, Guapi.

Descripción:

Paletas alargadas (23 mm), frágiles. Tallo delgado y segmentado en numerosos conos en forma de copa, cubiertos con periostraco en el margen. No presenta aristas ni prolongaciones aunque la cara interna presenta bordes fuertemente aserrados. Conos de color blanco, con su margen externo aserrado y más cóncavo que el interno,

incrementándose su tamaño hacia la espina. El tamaño del cono más grande encontrado fue 0.5 mm de largo y 0.6 mm de ancho. Espina blanca curva y de tamaño proporcional a un tercio del largo de la paleta.

Distribución geográfica:

Anteriormente registrada para Balboa, Panamá (Turner, 1966; Keen, 1971). Bahía de Buenaventura (Sandoval *et al.*, 1995).

Bankia destructa Clench & Turner, 1946 (Figura 4)

Material:

Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Guapi.

Descripción:

Paleta pequeña (9 mm de longitud), frágil. Tallo muy delgado, con segmentos poco separados en forma de conos. Estos conos son de color blanco y tamaño uniforme (1 mm). Presentan el margen distal superior de la parte

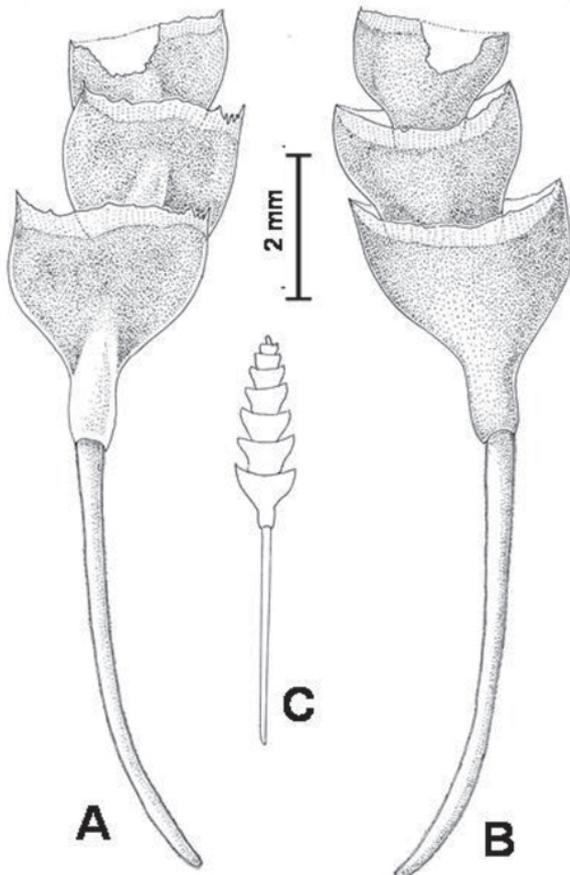


Figura 3. *Bankia zeteki* Bartsch, 1921. A. Cara interna; B. Cara externa; C. Bosquejo de la paleta; A, B y C: Escala 2 mm.

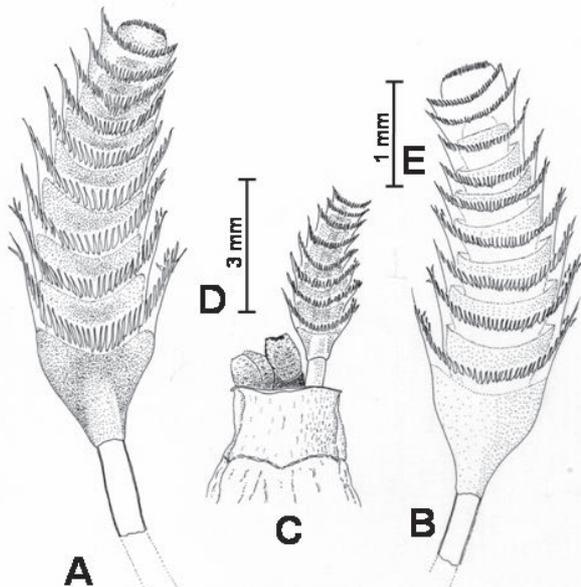


Figura 4. *Bankia destructa* Clench y Turner, 1946. A. Cara externa; B. Cara interna; C. Presencia de sifones sin tentáculos; A y B: Escala 3 mm, C: Escala 1 mm.

externa ligeramente cóncavo, aserrado, de color café, más pronunciadas que en la cara interna. Base completamente calcárea.

Distribución geográfica:

Playas de la Ceiba, Honduras (Turner, 1966), Panamá (Keen, 1971) hasta el golfo de Guayaquil, Ecuador. También en el Golfo de México y el sur del mar Caribe y Brasil (Díaz-Merlano & Puyana-Hegedus, 1994)

Género: *Teredo*, Linnaeus, 1758

Paletas pequeñas de una sola pieza y forma variable, aunque usualmente son ovaladas. El margen distal de la cara externa es más cóncavo que el de la cara interna. El periostraco se extiende fuera de la porción calcárea. En algunas especies, las larvas pueden ser retenidas hasta el estado de veliger en una especie de cámara incubadora localizada en la parte dorsal de la branquia (Turner, 1966).

Teredo furcifera von Martens in Semon, 1894, (Figura 5)

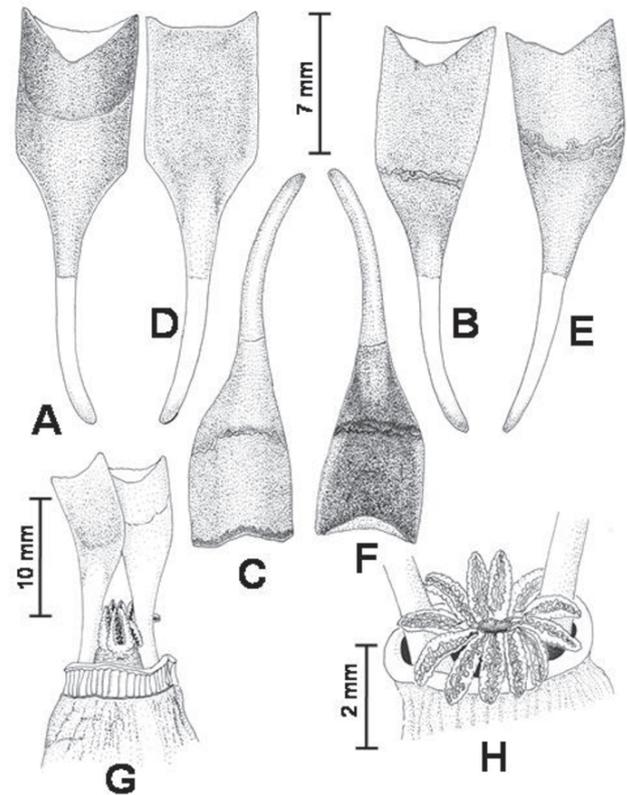


Figura 5. *Teredo furcifera* von Martens in Semon, 1894. A, B y C. Variabilidad de la cara interna de las paletas. D, E y F. Variabilidad de la cara externa de las paletas. G, H. Presencia de sifones tentaculados; A, B, C, D, E y F: Escala: 7 mm; G: Escala 10 mm. H: Escala 2 mm.

Sinónimos:

Teredo australasiatica Roch; *T. bensoni* Edmondson; *T. furcata* Van Moll; *T. furcillatus* Miller; *T. krappei* Van Moll; *T. laciniata* Roch; *T. parksi* Bartsch y *T. parksi madrasensis* Nair.

Material:

Golfo de Cupica, Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Guapi, Isla Gorgona, Tumaco.

Descripción:

Paleta no segmentada de consistencia fuerte y 20 mm de largo. Presenta una estría de forma irregular en la parte más ancha de su cara externa y varias en su cara interna. Espina de color blanco. Las paletas pueden ser muy variables, de acuerdo con el estado de desarrollo del individuo, tasa de crecimiento y deterioro lo cual ha determinado la larga lista de sinónimos. Periostraco muy delgado, de color café brillante y se extiende más allá de la estría transversal, terminando en forma de «V» invertida.

Distribución geográfica:

Esta especie es circumtropical. En la zona tropical ha sido registrada de la costa oriental de África, Madagascar, Mar Rojo, India, muchas islas del Indopacífico (Molucas, Guam, Marianas), Indonesia, Nueva Guinea (Turner, 1966), el Mar Caribe y Pacífico Oriental Americano (Keen, 1971, Sandoval *et al.*, 1995).

Teredo bartschi Clapp, 1923. (Figura 6)

Sinónimos:

Teredo aegyptia Roch; *T. balatro* Iredale; *T. batilliformis* Clapp;

T. fragilis Tate; *T. grobbai* Van Moll.; *T. hiloensis* Edmondson; *T. shawi* Iredale

Material:

Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Guapi, Tumaco.

Descripción:

Paletas pequeñas (menos de 8 mm de longitud), no segmentadas, de consistencia dura, con el margen distal superior de la cara interna y externa en forma de “U”. No posee estría transversal. La cara interna tiene una superficie muy estriada e irregular. Presenta una espina irregular, de color blanco y 0,5 mm de largo. Periostraco delgado, de color café brillante, se extiende a los bordes distales late-

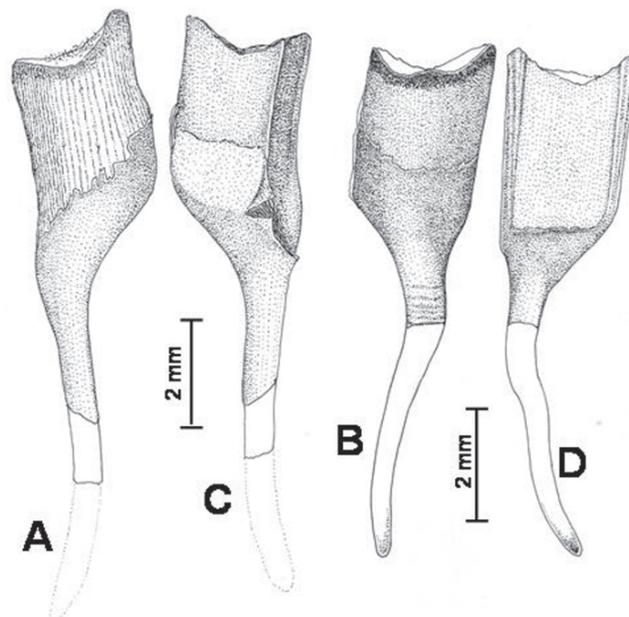


Figura 6. *Teredo bartschi* Clapp 1923. A y B. Variabilidad de la cara interna de las paletas. C y D. Variabilidad de la cara externa de las paletas. A, B, C y D: Escala 2 mm.

rales como protuberancias o como cuernos pequeños (aristas), cubriendo siempre la porción calcárea.

Distribución geográfica:

África Oriental, Madagascar, Mar Rojo, Australia, Nueva Zelanda, Hawaii, Maldivas, Golfo de México, Mar Caribe y Atlántico Sur hasta Uruguay (Abbott, 1974, Calvo, 1984). En el Pacífico Oriental Tropical, se ha registrado en la Bahía de Buenaventura (Sandoval *et al.*, 1995).

Teredo sp. 1 (Figura 7)

Material:

Bahía de Málaga y Bahía de Buenaventura.

Descripción:

Paleta no segmentada, alargada, presenta una estría irregular en la cara externa de la parte más ancha de la hoja y una hendidura en forma de “U” en la parte distal superior de su cara interna, la cual es plana. Periostraco presente en toda la extensión de la superficie de la hoja, la espina tiene forma curva y es de color blanco, sifones poco separados, con tentáculos cortos.

Notas taxonómicas:

Aunque por la presencia de la estría transversal este espécimen recuerda una de las múltiples variaciones de

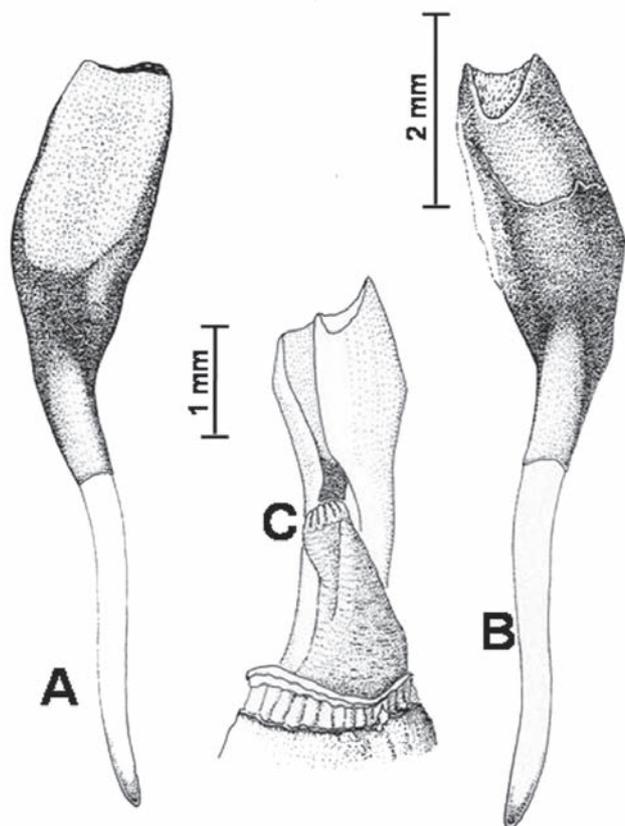


Figura 7. *Teredo* sp. 1. A. Cara interna de la paleta. B. Cara externa de la paleta.; C. Sifones tentaculados cortos. A y B: Escala 2 mm.; C. Escala 1 mm.

T. furcifera, la parte distal de la hoja es muy diferente y el periostraco no se proyecta más allá de la paleta, lo cual le da una apariencia diferente a la “V” invertida característica de *T. furcifera*.

Género: *Nausitora* Wright, 1887

Paletas alargadas, asimétricas y con segmentación, aunque los elementos no están verdaderamente separados para formar conos. Están fuertemente fusionadas en la región distal y pueden presentar una cobertura con incrustaciones calcáreas formando pústulas, que pueden aparecer gastadas en los especímenes viejos. Valvas de la concha alargadas. Sifones cortos unidos en la mitad de su longitud.

Nausitora excolpa Bartsch, 1922 (Figura 8)

Material:

Golfo de Cupica, Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Guapi, Tumaco.

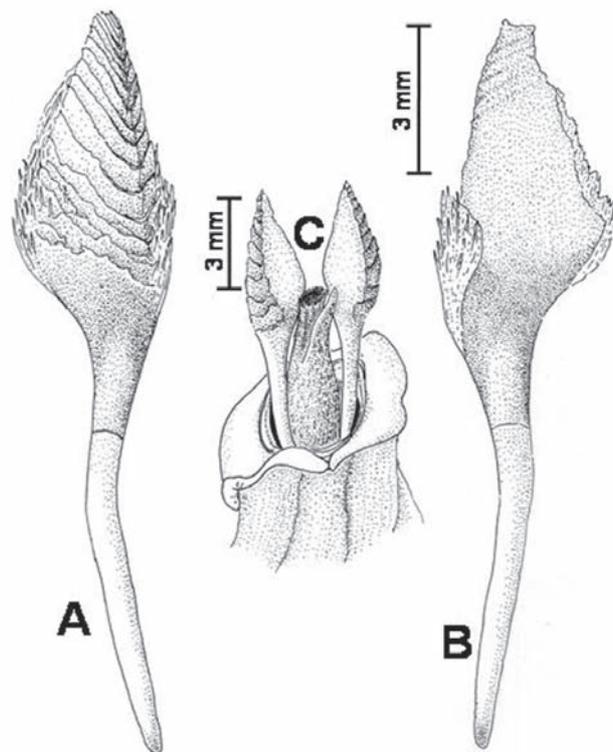


Figura 8. *Nausitora excolpa* Bartsch 1922. A. Cara externa B. Cara interna; C. Sifones no tentaculados; A y B. Escala 3 mm; C. Escala 3 mm.

Descripción:

Paletas de 7.5 mm, con segmentación muy apretada, poco marcada en la región cercana al tallo y con tendencia a estar fusionadas en su parte distal, cara interna plana y de coloración blanca. Periostraco muy delgado y de color amarillo en su cara externa, sifones no tentaculados.

Distribución geográfica:

Pacífico oriental desde Mazatlán, México a Ecuador (Keen, 1971).

Notas taxonómicas: Esta especie ha sido sugerida como sinónimo de *Teredo fusticulus* o *Nausitora fusticula* Jeffreys 1860 del Caribe (Turner, 1966; Keen, 1971).

Nausitora dryas (Dall, 1909). (Figura 9)

Sinónimo:

Bankia jamesi Bartsch, 1941.

Material:

Golfo de Cupica, Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Guapi, Tumaco.

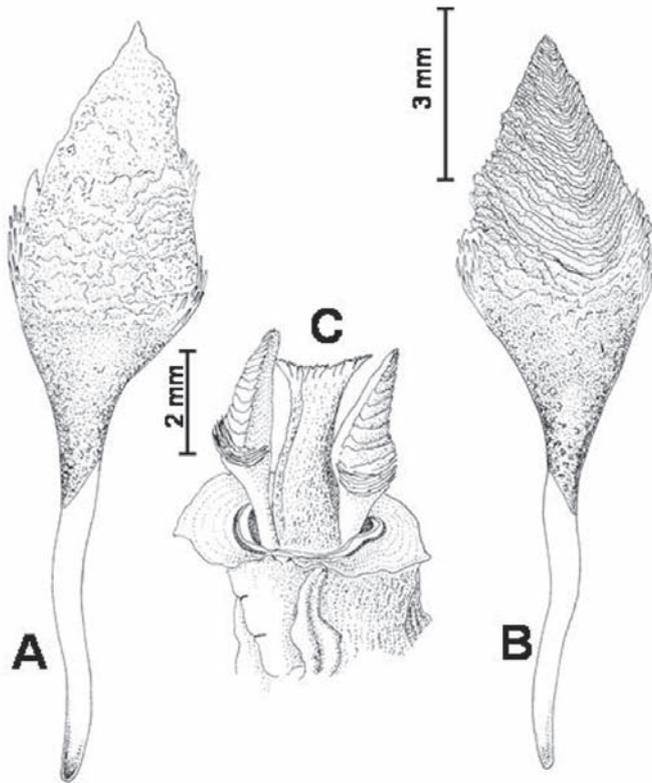


Figura 9. *Nausitora dryas* (Dall) 1909. A. Cara interna de la paleta; B. Cara externa de la paleta; C. Sifones largos sin tentáculos; A y B: Escala 3 mm. C: Escala 3 mm

Descripción:

Paleta plumosa y liviana de 12 mm de largo, con segmentación apretada y fusión en el extremo distal de la hoja, donde se presentan abundantes incrustaciones calcáreas en forma de pústulas o papilas. Periostraco café rojizo, fuertemente adherido. Al igual que la especie anterior, presenta sifones sin tentáculos.

Distribución geográfica:

Pacífico oriental desde Nayarit, México al norte del Perú (Keen, 1971).

Nausitora cf. *dunlopei* Wright, 1864 (Figura 10)

Sinónimos:

Calobates fluviatilis Hedley; *Bankia globosa* Sivicks; *N. lanceolata* Rajagopal; *N. madagassica* Roch; *N. madrasensis* Nair; *N. messeli* Iredale; *B. pennaanseris* Roch; *B. quadrangularis* Sivicks; *N. queenslandica* Iredale; *N. schneideri* Van Moll; *N. smithi* Bartsch; *B. triangularis* Sivicks.

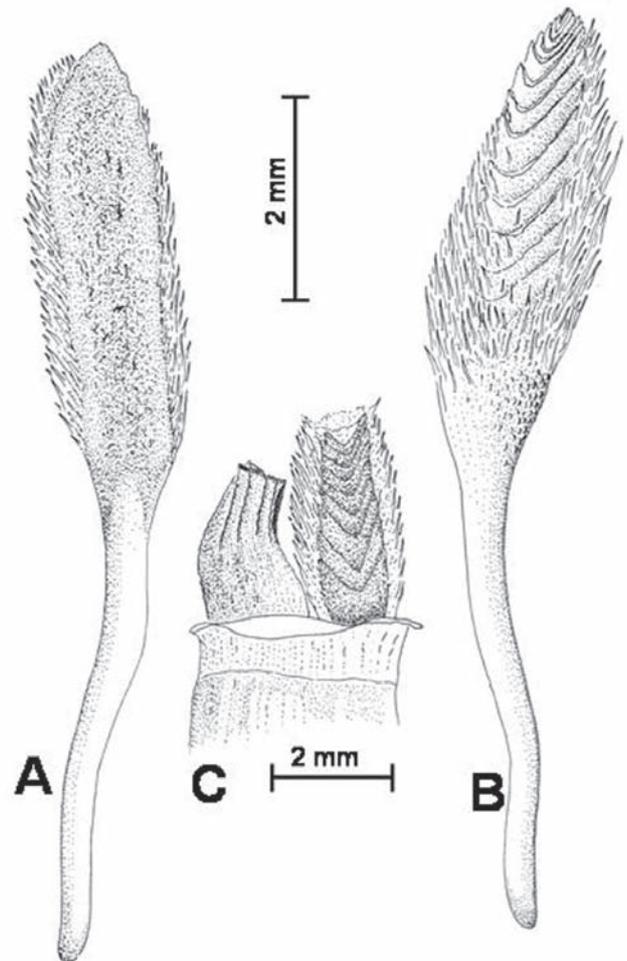


Figura 10. *Nausitora* cf. *dunlopei* Wright 1864. A. Cara interna; B. Cara externa; C. Sifones; A, B y C: Escala 2 mm.

Material:

Bahía de Buenaventura

Descripción:

Paleta de 9 mm, con segmentación fusionada, hoja alargada. Extremo distal de la hoja con fibrillas membranosas, cara interna plana. Periostraco presente en toda la superficie de la hoja. Espina curva, de color blanco con algunos puntos de pigmentación, sifones con tentáculos cortos.

Distribución geográfica:

Chelmer, Brisbane River en Queensland, Australia, India, Tailandia, Islas Fidji, Archipiélago Bismarck, Madagascar, Filipinas (Turner, 1966). Bahía de Buenaventura (Sandoval *et al.*, 1995).

Nausitora sp. 1. (Figura 11)

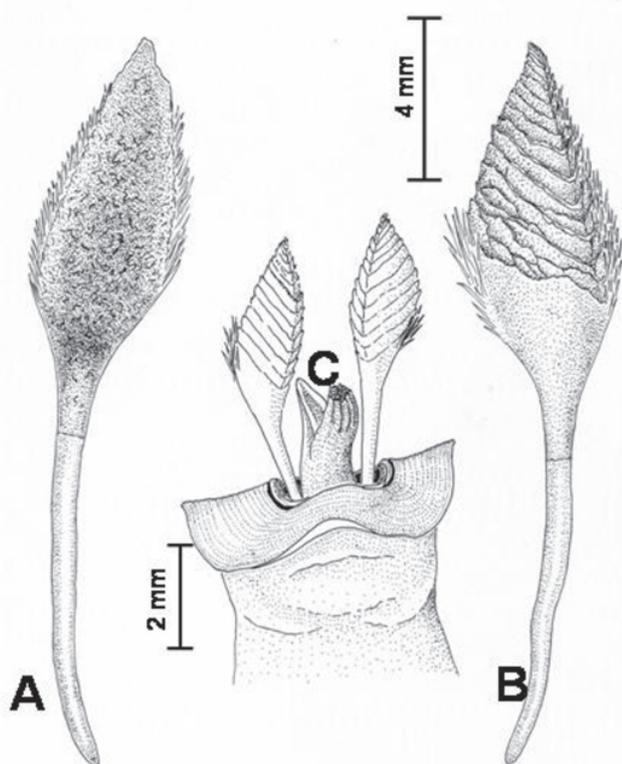


Figura 11. *Nausitora* sp. 1. A. Cara interna de la paleta. B. Cara externa de la paleta. C. Sifones tentaculados, A y B: Escala 4 mm, C: Escala 2 mm.

Material:

Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura, Tumaco.

Descripción:

Paleta de 11 mm de longitud, con segmentación muy estrecha, fusionada en su parte distal. Hoja ovalada con la cara interna plana y periostraco en toda su extensión. En la parte distal lateral presenta una serie de fibrillas membranosas. Espina de color blanco con una estría en la parte superior, ocasionalmente con alguna pigmentación. Presenta tentáculos bien definidos en el borde de los sifones.

Notas taxonómicas:

Las paletas de esta especie recuerdan en su forma a las de *N. dryas*, pero en esta última especie, la segmentación es mucho más apretada. Las fibrillas laterales de la hoja de *Nausitora* sp. 1, son más largas y notables y las incrustaciones calcáreas se reparten por toda la hoja. Los sifones de *N. dryas* no poseen tentáculos, sino simplemente divisiones poco marcadas en el borde exterior.

Género: *Lyrodus* [Gould in Binney, 1870]

Paletas de tamaño muy variable, compuestas de una sola hoja no segmentada. La mitad distal de la hoja está compuesta sólo de periostraco, mientras que la mitad basal presenta una porción calcárea de forma cónica u ovalada. Las partes blandas son muy similares a las de las especies del género *Teredo*.

Lyrodus pedicellatus (Quatrefages, 1849) (Figura 12)

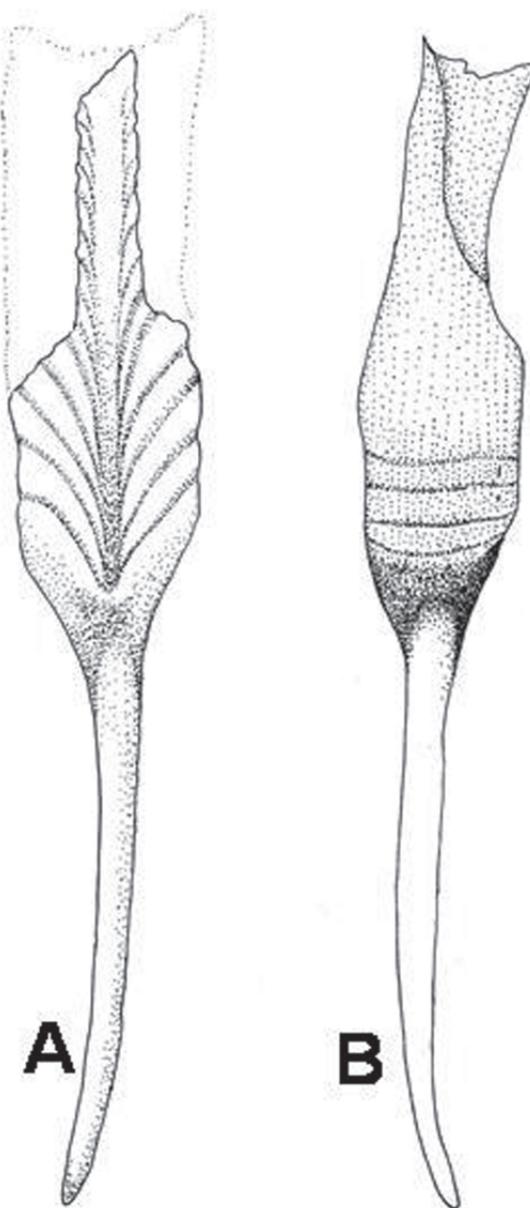


Figura 12. *Lyrodus pedicellatus* (Quatrefages) 1849. A. Cara interna de la paleta; B. Cara externa de la paleta. Longitud de la paleta 38 mm.

Sinónimos:

La lista de sinónimos de esta especie es muy larga (34 nombres), ver **Turner** (1966).

Material:

Bahía de Málaga, Bahía de Buenaventura.

Descripción:

Paleta dura, no segmentada, de gran tamaño (38 mm). La parte inferior interna presenta cuatro estrías horizontales y la parte externa tiene estrías radiales. La espina es gruesa y de color blanco. El tamaño de la hoja es 19 mm.

Distribución geográfica:

Es una especie conocida normalmente del Golfo de México y Brasil en el Atlántico. Además, se ha registrado en el Mar Mediterráneo (España, Egipto, Italia), Inglaterra, Portugal, Hawaii, Siam, Japón, Togo, África del Sur, Australia (**Turner**, 1966), pero también se ha encontrado en San Diego, California (**Keen**, 1971). Fue registrada por **Cruz et al.** (1987) en Salinas y Manta, Ecuador. Según **Abott** (1974) es una especie cosmopolita

Notas taxonómicas:

La larga lista de sinónimos muestra claramente la gran variabilidad que muestra la paleta y demás estructuras de identificación de esta especie, cuya distribución es prácticamente mundial. Los especímenes colectados durante el presente trabajo en la costa Pacífica colombiana, presentan paletas que se asemejan mucho las paletas de la forma conocida como *L. floridiana* de Florida, pero presentan un tamaño muy superior.

Familia: Pholadidae

Los bivalvos de la familia Pholadidae son organismos perforadores, principalmente de rocas, pero con algunos representantes que perforan maderas. Poseen conchas inequilaterales débiles pero bien adaptadas a perforar. El margen dorsal está reflejado por debajo del umbo formando un área para la fijación del músculo aductor, el cual es importante durante el proceso de perforación. No presentan dientes en la charnela sino un pequeño condróforo y un ligamento interno. El pie está modificado para servir para la fijación al sustrato durante la perforación.

Género: Barnea Risso 1826

Conchas frágiles, sin *callum* en el borde anterior, con apófisis debajo del umbo, el cual sirve como anclaje de los músculos que participan en la rotación de la concha

durante la perforación del sustrato. La principal característica del género es que poseen una sola placa dorsal en la concha (Protoplax), mientras que los otros géneros de la familia Pholadidae poseen más de una.

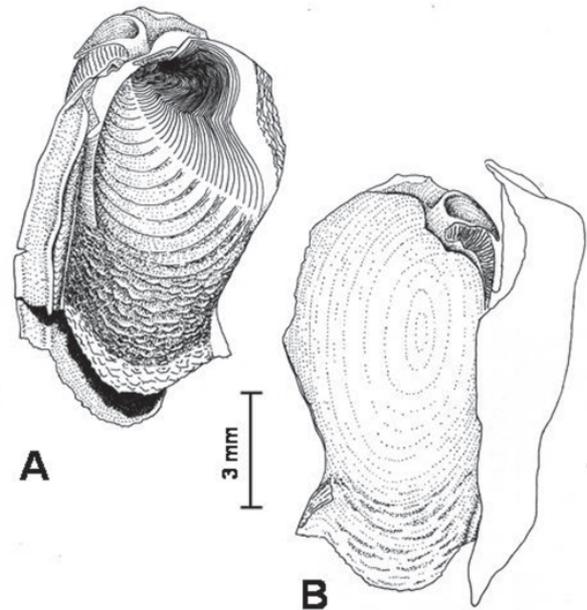
Barnea subtruncata Sowerby 1834 (Figura 13)

Figura 13. *Barnea subtruncata* Sowerby 1834
A. Cara externa, B. Cara interna, A y B: Escala 3 mm.

Sinónimo: Barnea pacifica Stearns 1871,**Material:**

Bahía Málaga, Bahía Buenaventura, Mulatos, Isla Gorgona.

Descripción:

Concha subcilíndrica, frágil, con escultura uniforme constituida por líneas onduladas concéntricas, que presentan ligeras crenulaciones. Borde anterior redondeado y posterior truncado. Presenta una placa brillante en su parte dorsal, doblada hacia la parte externa.

Distribución geográfica:

Pacífico Oriental desde el sur de Oregon (EEUU) hasta Chile, incluyendo Isla La Plata, Ecuador y Tumbes, Perú (**Abbott**, 1974, **Keen**, 1971).

Martesia striata (Linnaeus, 1758) (Figura 14)

Sinónimo: Hiata infelix Zetek y McLean, 1936, *Martesia intercalata* (de autores)

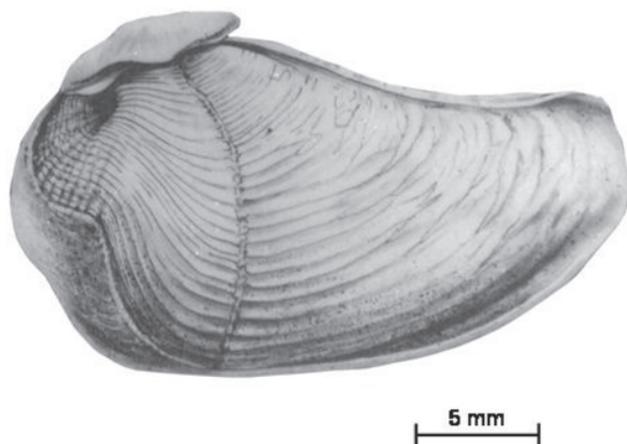


Figura 14. *Martesia striata* (Linnaeus, 1758)
Escala: 5 mm.

Material:

Golfo de Cupica, Bahía Málaga, Bahía Buenaventura, Guapi, Mulatos, Tumaco

Descripción:

Concha inequilátera, frágil, con el margen dorsal reflejado. La concha está dividida en dos grandes áreas por un surco dispuesto desde el umbo hacia el margen ventral, la región posterior presenta escultura compuesta por costillas concéntricas suaves y lisas, en la región anterior la escultura cambia, presentando una curvatura hacia la región superior y con pequeñas espinas sobre ellas. La placa de la charnela es casi lisa, presenta solo ligeros surcos dispuestos muy irregularmente

Distribución geográfica:

Baja California a Perú (Keen, 1971). Cosmopolita Diaz-Merlano & Puyana-Hegedus 1994, México a Perú (Abbott, 1974).

Agradecimientos

Las colecciones de organismos que se registran en el presente trabajo fueron realizadas durante los proyectos de investigación: “Indicadores biológicos macrobentónicos de condiciones oceanográficas, sedimentológicas y de contaminación marina en zonas de manglares” (Colciencias, Eafit, Univalle); “Transferencia de materia y energía en el río Dagua, Bahía de Buenaventura” (Colciencias, Univalle), “Bioerosión en corales y arrecifes coralinos” (Colciencias, Univalle); “Bases científicas y valoración de la biodiversidad marina y costera de Bahía Málaga (Valle

del Cauca), como uno de los instrumentos necesarios para que sea considerada un Área Protegida, Biomalaga” (Colciencias, Invemar, Inciva, Univalle). El autor desea manifestar su agradecimiento a F. Sandoval, G. Bolívar y R. Neira, por su colaboración durante la primera fase de la investigación. Finalmente quiero agradecer a la memoria de la doctora Ruth Turner (Harvard University) quien dio las principales bases para la identificación de los especímenes y aportó gran parte de la bibliografía utilizada.

Bibliografía

- Abbott, RT. 1974. American Seashells. Van Nostrand Reinhold Co., New York, 663 p.
- Ansell, AD. & Nair, NB. 1967. The Mechanisms of boring in *Martesia striata* Linne (Bivalvia: Pholadidae) and *Xylophaga dorsalis* Turton (Bivalvia: Xylophaginidae). Proceedings of the Royal Society of London, Biological Sciences, 174: 123-133.
- Board, PA. 1970. Some observations on the tunneling of shipworm Journal of Zoology 161(2): 193-201.
- Brearley, A., Chalermwat, K. & Kakhai, N. 2003. Pholadidae and Teredinidae (Mollusca: Bivalvia) collected from mangrove habitats on the Burrup Peninsula, Western Australia, En: F.E. Wells, D.I. Walker and D.S. Jones (Editores). *The Marine Flora and Fauna of Dampier, Western Australia*. Western Australian Museum, Perth, 345-362.
- Boynton, LC. y RC. Miller. 1927. The occurrence of a cellulase in the shipworm. Journal Biological Chemistry 75(2): 613-618.
- Brusca, RC. 1973. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California. University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 512 p.
- Calvo, G. 1984. Ataques de organismos perforantes a seis especies de maderas expuestas al medio marino. Contribuciones. Departamento Oceanografía (F.H.C.) Montevideo, 1(3): 1-7.
- Cantera, JR. 1982. Fauna asociada al ecosistema manglar-estuario en la bahía de Buenaventura (Pac. Col.). Informe de Investigación. Universidad del Valle. Centro de Publicaciones de Ciencias. 120 p.
- _____. 1991. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux de deux baies du pacifique colombien (Málaga et Buenaventura). Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques. Thèse d'Etat Sciences. Université d'Aix-Marseille II. Marseille France, 429 p.
- _____. & Blanco, JF. 2001. Buenaventura Bay: A complex Estuarine System. In: Seeliger, U., L. Drude de Lacerda y B. Kjerfve (eds.): Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Springer Verlag.
- _____. Neira, R. & Ricuarte, C. 1998. Bioerosión en la costa Pacífica de Colombia. Fondo José Celestino Mutis, FEN, Tercer mundo, 133 p.
- Clench, WJ. & Turner, RD. 1946. The genus *Bankia* in the Western Atlantic. Johnsonia 2(19): 1-28.
- Cruz, M. 1986. Efectos de los moluscos incrustantes en maderas no tratadas en los puertos de Esmeraldas, Manta Salinas, Posorja y Base Naval (Ecuador). Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR, 3(1): 157-183.

- _____. 1992. Moluscos incrustantes de maderas en el mar ecuatoriano. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, **7**(1): 69-80.
- _____, **Torres, G. & Villamizar, F.** 1987. Estudios de los moluscos bivalvos perforadores de la madera *Rhizophora harrisonii* (mangle) en la costa ecuatoriana. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, INOCAR, **4**(1): 121-160.
- Dean, RC.** 1978. Mechanisms of wood digestion in the shipworm *Bankia gouldi* Bartsch: Enzyme degradation of celluloses, hemicelluloses, and wood cell walls *Biological Bulletin*, **155**: 297-316.
- Díaz-Merlano, JM. & Puyana-Hegedus, M.** 1994. Moluscos del Caribe colombiano. Un catálogo ilustrado. Editorial Presencia. Colciencias-Fundación Natura-Invemar, 291 p.
- Distel DL., Beaudoin D., & Morrill W.** 2002. Coexistence of multiple proteobacterial endosymbionts in the gills of the wood-boring bivalve *Lyrodus pedicellatus* (Bivalvia: Teredinidae). *Applied Environmental Microbiology* **68**: 6292-6299.
- Distel, DL., Morrill, W., MacLaren-Toussaint, N., Franks, D., Waterbury, J.** 2002. *Teredinibacter turnerae* gen. nov., sp. nov., a dinitrogen-fixing, cellulolytic, endosymbiotic ϵ -proteobacterium isolated from the gills of wood-boring molluscs (Bivalvia: Teredinidae). *International Journal of Systematic Bacteriology* **52**: 2261-2269.
- Escallón, S. & Cantera, J.R.** 1989. Moluscos marinos de la bahía de Málaga, costa pacífica colombiana: I. Pelecypoda. *Boletín Científico de la Universidad de la Salle*, **3**(2): 159-178.
- Gidhagen, L.** 1981. Introducción a la oceanografía física y química. Universidad del Valle, Cali, 236 p.
- Hoagland, KE. & Turner, RD.** 1981. Evolution and adaptive radiation of wood-boring bivalves (Pholadacea). *Malacología*, **21**(1-2): 111-148.
- Keen, AM.** 1971. Seashells of Tropical West America. Marine mollusks from Baja California to Perú. Second Edition. Stanford University Press. Stanford, California, 1064 pp.
- Kofoed, CA. y Miller, RC.** 1927. Biological Section, En: C. L Hill, & Kofoed, C.A. (Editores), Marine borers and their relation to marine construction on the Pacific coast. San Francisco Bay Marine Piling Commission, San Francisco, 188-243.
- Leonel, RMV., Lopes, SGBC. & Aversari, M.** 2002. Distribution of wood-boring bivalves in the Mamanguape River estuary, Paraíba, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **82**(6): 1039-1040.
- _____, **Moraes, D. T. & Aversari, M.** 2006. The interference of methods in the collection of teredinids (Mollusca: Bivalvia) in mangrove habitats. *Iheringia, Série Zoologia*, **96**(1): 25-30.
- _____, **Narchi, W.** 1993. Levantamento e distribuição das espécies de Teredinidae (Mollusca-Bivalvia) no manguezal da Praia Dura, Ubatuba, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Oceanografia* **41**(1/2): 29-38.
- Lopes, SGBC. & Narchi, W.** 1997. Recrutamento larval e crescimento de Teredinidae (Mollusca-Bivalvia) em região entremarés de manguezais. *Revista Brasileira de Oceanografia*, **45**(1/2): 77-88.
- Muller, A. & Lana, P.** 1986. Teredininae (Mollusca, Bivalvia) do litoral do Paraná, Brasil. *Neritica*, **1**(3): 28-50.
- Nair, NB. & Saraswathy, M.** 1971. The biology of wood-boring teredinid molluscs. *Advances in Marine Biology*, **9**: 335-509.
- Olsson, AA.** 1961. Mollusks of the tropical eastern Pacific, particularly from the southern half of the Panamic-Pacific faunal province (Panama to Peru). Panamic-Pacific Pelecypoda. Paleontological Research Institution, Ithaca, N.Y., 574 p. *Marine Biology*, **147**: 943-953.
- Popham, JD. & Dickson, MR.** 1973. Bacterial associations in the teredo *Bankia australis* (Lamellibranchia: Mollusca). *Marine Biology*, **19**: 308-310.
- Prahl, H, von & Cantera, JR.** 1986. Bioerosión en formaciones terciarias del Pacífico colombiano. Resúmenes XXI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas ACCB, Cali: 25.
- Prahl H, von, JR. Cantera & Contreras, R.** 1990. Manglares y Hombres del Pacífico colombiano. FEN, Colombia y Editorial Presencia 193 p.
- Reis, REML.** 1995. Moluscos bivalves perfuradores de madeira do Estado do Pará, Brasil: caracterização taxonômica, distribuição e resistência de madeiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Zoologia*, **11**(2): 125-203.
- Sandoval, F., Cantera, JR. & Bolívar, G.** 1995. Bivalvos perforadores de madera en la Bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano, En: Cantera J. R. y Restrepo J.D. (Editores). Delta del Río San Juan - Bahías de Málaga y Buenaventura, Pacífico colombiano, Tomo I: 337 p.
- Stuardo, J., Sacler, H. & Rosende, R.** 1970. Sobre el ataque de *Bankia (Bankia) martensi* Stempel (Mollusca, Bivalvia) a maderas chilenas no tratadas. *Boletín de la Sociedad Biológica de Concepción*, **42**: 153-166.
- Turner, RD.** 1954. The family Pholadidae in the western Atlantic and the Eastern Pacific. Part 1-Pholadinae. *Johnsonia* **3**:1-64.
- _____. 1959. The status of systematic work in the Teredinidae, In: Ray D.L. (Editor) *Marine boring and fouling organisms*, University of Washington Press, Seattle, 124-136.
- _____. 1966. A survey and illustrated Catalogue of the Teredinidae (Mollusca, Bivalvia). The Museum of Comparative Zoology, Harvard University. Cambridge, Mass., 262 p.
- _____. 1984. An overview of research on marine borers: past progress and future direction. In: Costlow, J. y Tiper, R. (Editors) *Marine biodeterioration, an interdisciplinary study. Proceedings Symposium on Marine Biodeterioration*, Annapolis, Maryland, 3-16.
- _____, **Boyle, PJ.** 1975. Studies of bivalvia larvae using the scanning electron microscope and critical point drying. *Bulletin of the American Malacological Union for 1974*: 59-65.
- _____, **Johnson, AC.** 1971. Biology of Marine wood -boring mollusks. In: Jones, E.B. and Eltringham, S.K. (Editors): *Marine Borers, fungi and fouling organisms of wood. Organization for Economic Cooperation and Development*, Paris, 259-301.
- Yennawar, L., Thakur, NL., Anil, .C., Venkat, K. & Wagh, AB.** 1999. Ecology of the wood-boring bivalve *Martesia striata* (Pholadidae) in Indian waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **49**: 123-130.

Recibido: octubre 5 de 2009.

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010.

NON-GTPASE PROTEINS THAT SHARE COMMON MOTIFS WITH G DOMAINS: CONVERGENT OR DIVERGENT EVOLUTION OR DOMAIN RECOMBINATION?

Por

Jorge Hernández-Torres^{a*}, Alfonso Pineda-Barbosa^a and Jacques Chomilier^{b,c}

Abstract

Hernández-Torres J., A. Pineda-Barbosa & J. Chomilier: Non-gtpase proteins that share common motifs with g domains: Convergent or divergent evolution or domain recombination? Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 289-299, 2010. ISSN 0370-3908.

GTPases constitute a super class of proteins with a common fold. Five specific G motifs located in loops are signatures of this super class. Nevertheless, some proteins may share the fold of the small GTPases, although their functions are totally unrelated. To retrieve them, we specifically searched in the BLAST output listings for non GTPases with available 3D structure, starting from a canonical GTPase sequence as query. We then performed both a sequence analysis by means of HCA and a structural comparison with an established GTPase. It results that, although sequence identity is in the twilight zone, i.e. below 25%, one can evidence some conservations of the catalytic motifs. Nevertheless, mutations have occurred that produced a new function while the global fold is maintained. We discuss whether non-GTPases presumably originated from a common ancestor with an ancient G domain. The evolutive mechanisms relating non-GTPases to GTPases that we can advance are sequence divergence, convergence and DNA recombination. We conclude that the most probable evolutive pathway leading to such structural similarities is that all the studied proteins must have evolved by sequence divergence from a primordial GTP-binding domain.

Key words: HCA, GTP-binding domain, GTPase, protein evolution, protein folding, hydrophobic packing, sequence identity.

List of abbreviations: HCA, Hydrophobic Cluster Analysis; aa, amino acid(s); rmsd: root mean square deviation; ETK, *E. coli* protein tyrosine kinase.

a Laboratorio de Biología Molecular, Escuela de Biología, Universidad Industrial de Santander, Apartado Aéreo 678, Bucaramanga, Colombia.

b Protein Structure Prediction, IMPMC, CNRS UMR 7590, Université Paris 6, Paris, France.

c RPBS, Batiment Lamarck, 15 rue Hélène Brion, 750013 Paris, France.

* Corresponding author: Tel. (57)-7-6349088 Fax (57)-7-6346149. Correo electrónico: hernanj@uis.edu.co

Resumen

Las GTPasas constituyen una superclase de proteínas con un plegamiento común. Cinco motivos G específicos, situados en los bucles, son característicos de esta superclase. Sin embargo, algunas proteínas adoptan el plegamiento de las GTPasas, aunque sus funciones son totalmente diferentes. Para encontrarlas, hemos analizado los resultados de búsquedas BLAST con secuencias canónicas de GTPasas, con el propósito de identificar proteínas no GTPasas con estructura 3D disponible. Posteriormente, procedimos a analizar las secuencias seleccionadas, mediante HCA y la superposición con estructuras de GTPasas de referencia. Los resultados obtenidos indican que aunque la identidad de secuencia se encuentra en la zona crepuscular (*twilight zone*), i.e., por debajo de 25%, se pueden evidenciar algunas conservaciones de los motivos catalíticos. Sin embargo, las mutaciones que se han producido dieron lugar a nuevas funciones, mientras que el plegamiento global se mantiene. Finalmente, discutimos si aquellas proteínas no GTPasas se originaron presumiblemente de un ancestro común con un dominio G antiguo. En tal caso, proponemos como mecanismos evolutivos que vinculan a las GTPasas con las no GTPasas, la divergencia, la convergencia y la recombinación del DNA. Concluimos que el mecanismo evolutivo más probable que dio lugar a tales similitudes estructurales es la divergencia desde un dominio primordial de unión al GTP.

Palabras clave: HCA, dominio de unión al ADN, GTPasa, evolución proteica, plegamiento de proteínas, plegamiento hidrofóbico, identidad de secuencia

1. Introduction

Small G proteins (also called small GTPases, small GTP binding proteins and Ras protein superfamily) comprise a wide variety of proteins that share the same architecture of their GTP-binding domain. Although the basic fold of this globular domain is structurally the same for all members of the family, its primary structure is extremely variable in its amino acid (aa) composition (Caldon *et al.*, 2001). Typically, the GTP-binding domain (or G domain) is arranged in 5 α -helices ($\alpha 1$ - $\alpha 5$) and six β -strands ($\beta 1$ - $\beta 6$) (Bourne *et al.*, 1991). Five loops named G1-G5, connecting adjacent strands and helices, contain most of the residues of the active site. Because the small GTPases are involved in diverse cellular processes (cell proliferation, protein synthesis, signal transduction), consensus sequences for the loops G1-G5 are given for each one (Paduch *et al.*, 2001). These loops are essential for the interaction with the substrate in association with Mg^{2+} and GTP/GDP exchanging factors (Valencia *et al.*, 1991). GTP hydrolysis “enables different GTPases to sort and amplify transmembrane signals, direct the synthesis and translocation of proteins, guide vesicular traffic through the cytoplasm, and control proliferation and differentiation of animal cells” (Bourne *et al.*, 1991). However, various members of the GTPase superclass lack their GTPase activity (Leipe *et al.*, 2002).

GTPases and ATPases are closely related in structure and, in fact, some ATPases constitute a subfamily of the GTPase superclass. The specificity to GTP is conferred by the NKXD motif in the G4 loop. A mutation in these aa leads

to the loss of affinity for GTP, decreasing protein specificity for this substrate, but increasing for other ones. For instance, in the group of myosins and kinesins, the GTPase activity was replaced by an ATPase, because of an evolutive change in the G4 loop. However, myosin and kinesin 3D structures superpose well with that of ras proteins and are classified as a subgroup within the GTPase family (Leipe *et al.*, 2002). The conserved Asp residue in the NKXD motif, providing specificity for GTP, is absent in most of ATPases. Thus, none of ATPases has been shown to have GTP specificity.

The aim of this paper is to provide evidence that a diverse set of proteins roughly presents the same fold as the GTP-binding domain. Nevertheless, they do not have GTPase activity and on the contrary, they exhibit activities such ribonuclease, methyltransferase, guanine deaminase, lactate dehydrogenase and others.

By means of hydrophobic cluster analysis (HCA) and comparison of structures as evidence, we discuss whether non-GTPases presumably derive from a common ancestor with an initial GTP-binding domain. Besides, the evolutive mechanisms concerning sequence divergence, convergence and DNA recombination are also considered.

2. Materials and methods

2.1. Sequence alignment and protein superposition

In order to retrieve related sequences, BLAST is used in a first step, with four proteins known from the literature

to be G domains as input data, namely: c-Ha-*ras1*, G₁₀, RhoA and *ORFX* (predicted G domain-like). The output listing of BLAST provides in these four cases, a set of G domains in the top ranked sequences. We discard these first matches because they are all already known to be highly similar and we were interested in the extension of the family. Therefore, we looked at the bottom of the sorted sequences by BLAST and focused at the first sequences not annotated as G domains in the header annotations, i.e., presenting very low identity scores with the query. The retrieved sequences were aligned on short fragments (20-120 aa). In order to produce an automatic extension, alignment on the total length of the presumably unrelated sequences (typically 180 aa) was done with ClustalW online at the Pole BioInformatique Lyonnais (<http://npsa-pbil.ibcp.fr/>), using default parameters (Larkin *et al.* 2007). When comparing sequences in the twilight zone (Rost, 1999), it is known that automatic procedures do not provide accurate alignments, therefore they were manually cured by means of HCA.

2.2. Hydrophobic Cluster Analysis

HCA plots, sequence identity and HCA score calculations were performed following the indications of (Callebaut *et al.*, 1997). Briefly, HCA designs a sequence on the surface of a cylinder with the connectivity of an alpha helix. The 2D planar surface is then duplicated in order to keep local environment for each amino acid, and hydrophobic neighbor residues (VILFMWY) in this plot are then clustered. The shapes of the clusters are keen indication of the nature of the secondary structure. Besides, it has been statistically demonstrated that centers of the hydrophobic clusters correspond to the centers of regular secondary structures (Woodcock *et al.*, 1992). HCA identity is calculated by the number of identical aligned hydrophobic and non hydrophobic aa in both sequences to the number of aa of the longest sequence. For each sequence, the HCA score is the ratio between the number of topologically conserved residues between sequences 1 and 2, to the total number of hydrophobic residues in both segments (Gaboriaud *et al.*, 1987). A HCA score $\geq 60\%$ is an indicator of high sequence identity.

2.3. Structural comparisons

As evolution has more conserved structures than sequences (Grishin, 2001; Wang *et al.*, 2008), in a final step, structure superpositions were performed to validate our previous hypotheses. Tertiary structures were all obtained from the PDB (Berman *et al.*, 2008) and their superpositions were carried out with the on line programs MATRAS (Kawabata, 2003) and CE (Shindyalov & Bourne,

1998). Superpositions were performed without forcing the structural alignment to match the sequence alignment derived from HCA. Matras and CE produced similar results. Thus, Matras has been chosen, because we noticed in previous papers that its results are the closest from a consensus of three methods (Papandreou *et al.*, 2004).

Except step 2, which is a specialty of the Paris group, the work flow used here is rather classical: an identification of a hot spot in a short stretch of sequences, followed by a structural validation. This has been done for instance on the short chain oxidoreductase enzymes (Duax *et al.*, 2007), SH3 fold (Theobald & Wuttke, 2005) or on more general sequences (Liu *et al.*, 2008). The scheme is the following: first sequences are compared in order to derive evidence for a common ancestry. In case of absence of similarity, structure similarity is search for.

3. Results

3.1 Protein sequence database search

When performing BLAST searches with a GTP-binding domain, it is usual to find non-GTPase proteins that share 50-100 aa long fragments with G domains, with a level of identities located in the “twilight zone” of sequence alignment (Rost, 1999). Subsequent superpositions of their corresponding 3D structures yield rmsd lower than 6 Å (Reva *et al.*, 1998), that can be considered as a reasonable limit to admit that they share a common fold, and therefore are related through evolution. Thus, we were interested to elucidate the evolutive relationships among these proteins and the molecular mechanisms leading to the gain of a similar architecture.

A database screening was carried out with G domain sequences, in order to retrieve non-GTPase proteins with both low 1D identity and partial 3D similarity, and analyze them by HCA analysis and protein superposition. The purpose of such alignments was to elucidate the most conserved catalytic and structural amino acids with the G domain. HCA is a fine method of 2D structural analysis that allows alignments between very distantly related proteins, with as low as 10% sequence identity. HCA analysis does not pay any attention to the strict conservation of the residues inside the clusters but rather to the conserved shapes of the clusters, keeping in mind the underlying idea that shape is a testimony of the secondary structure. As shown as follows, HCA was an outstanding method to reveal structural similarities of proteins like GTPases and non-GTPases, which at first glance do not appear to be related.

BLAST screening of PDB (Berman *et al.*, 2008) and Blocks (Henikoff & Henikoff, 1994) databases was done with the following G domain primary structures as queries: (c-Ha-*ras1* (HRas precursor, P01112), Guanine nucleotide-binding protein $G_{i\alpha}$, alpha-1 subunit ($G_{i\alpha}$, P04898) and *ORFX* (AF261774)). *ORFX* is a protein of unknown function from *Lycopersicon esculentum* that is involved in determination of fruit size and seems to have a predicted fold similar to the one of *ras* (Frary *et al.*, 2000).

Most of the retrieved sequences were GTP-binding domains, with high identity with the query domains. However, a few sequences of non-GTPase proteins exhibited local identities in the range of 10 to 23% with G domains. Then, we selected the first non-GTPase sequences in the list for primary, secondary and tertiary sequence alignments by means of ClustalW, HCA and 3D structure superposition, respectively. We did not find sequences that meet our criteria in other than PDB and Blocks databases. In Table 1, we list the retrieved sequences. HCA identities were always slightly higher than ClustalW alignments, in the range 18 to 30%. This is actually frequent, because HCA produces a more sensitive alignment than a standard program. HCA scores were in the range 55-60%, a good indicator of a significant homology (Gaboriaud *et al.*, 1987). Low rmsd values are also listed in Table 1, following structure superposition.

To illustrate the use of HCA alignments in combination with protein superpositions and the qualitative and quantitative information we can derive from such alignments, we show an example in Fig. 1 and Table 1. Two pairs of distantly related proteins with low 1D identity, the human c-Ha-*ras1* (a GTPase) with RhoA (a GTPase) (Gómez del Pulgar *et al.*, 2005) and c-Ha-*ras1* (a GTPase) with the CMP kinase (an ATPase) (1Q3T), were aligned by HCA.

Previously, a 35% aa identity has been evidenced between *rho* genes from *Aplysia* and c-Ha-*ras1* (Madaule and Axel, 1985). As seen in Fig. 1a GTPases share most of the hydrophobic clusters (ID=29%) and 3D structures superpose along the entire domain (rmsd 1.62 Å). However, the GTPase and the ATPase (Fig. 1b), which aroused from a unique primordial fold (Leipe *et al.*, 2003), share an identity of 12% (increased to 23% by HCA) and partial superposing subdomains: the N-terminal 32 aa (i.e., G1 motif and some aa of G2) produces a rmsd of 5.4 Å and the C-terminal 45 aa (G4 and G5 motifs), a rmsd of 5.1 Å. Interestingly, the G3 loop (the so-called Walker B box (Walker *et al.*, 1982) or kinase 2 motif) conserves both hydrophobic clusters and identities in the GTPase and the ATPase proteins, although they are located at the end of a β -sheet in c-Ha-*ras1* and a α -helix in CMP kinase. The G3 loop provides residues for Mg^{2+} and γ -phosphate binding and is found in other nucleotide binding motifs, not homologous to small G proteins, present in sugar kinases, ABC transporters and ATP synthases (Paduch *et al.*, 2001). Thus, despite the degree of divergence between GTPases and related ATPases, structural relationships can be evidenced by a refined alignment method like HCA and supported by structure superposition. Our data confirm the tight structural relation of the GTPase and ATPase, notwithstanding evolutive divergences.

3.2. BLAST searches of non-GTPase proteins with a similar fold to the GTP-binding domain

Proteins with diverse functions non-responsible of neither GTPase nor ATP activities, mostly related to nucleic acid binding, share 50-100 aa long fragments with GTP-binding domains, with identities located in the “twilight zone” of sequence alignment. We show in the subsequent alignments, non-GTPase proteins with sequence identity

Table 1. Sequence identities among pairs of proteins, after domain alignments performed with ClustalW or HCA. The approximate length (in amino acids) along which the alignment is performed is indicated in the aa column. HCA scores were calculated as stated by Gaboriaud *et al.*, (1987). Rmsd over superposed length values (number of aa) are shown. In most of the cases the superposition is performed on a whole domain, but in two cases, corresponding to 1b and 3a, a hinge fragment is evidenced from the HCA analysis. Consequently, the superpositions have been calculated on the parts surrounding these hinge regions. Uniprot accession numbers are the following: P01112 for c-Ha-Ras; P61186 for RhoA; Q97PK6 for CMP kinase; P04898 for $G_{i\alpha}$; Q57599 for Rnase HII; Q9GT92 for LDH; P55135 for Rum A; O34598 for Guanine deaminase; af261774 for OrfX.

Figure	Aligned proteins	ClustalW	HCA	HCA Score	aa	RMSD (Å)/aa
1a	c-Ha- <i>Ras1</i> - RhoA	29	30	68	160	1.62/ 161
1b	c-Ha- <i>Ras1</i> - CMP kinase	12	23	59	170	5,4/32; 5,1/45
2a	$G_{i\alpha}$ - RNase HII	14	20	56	170	4,03/79
2b	RhoA - LDH	18	22	62	170	3,02 /78
2c	c-Ha- <i>Ras1</i> - RumA	10	18	49	160	3,46/64
3a	c-Ha- <i>Ras1</i> - Guanine deaminase	10	18	50	170	3,84/29; 4,27/47
3b	c-Ha- <i>Ras1</i> - OrfX	15	17	53	150	NA

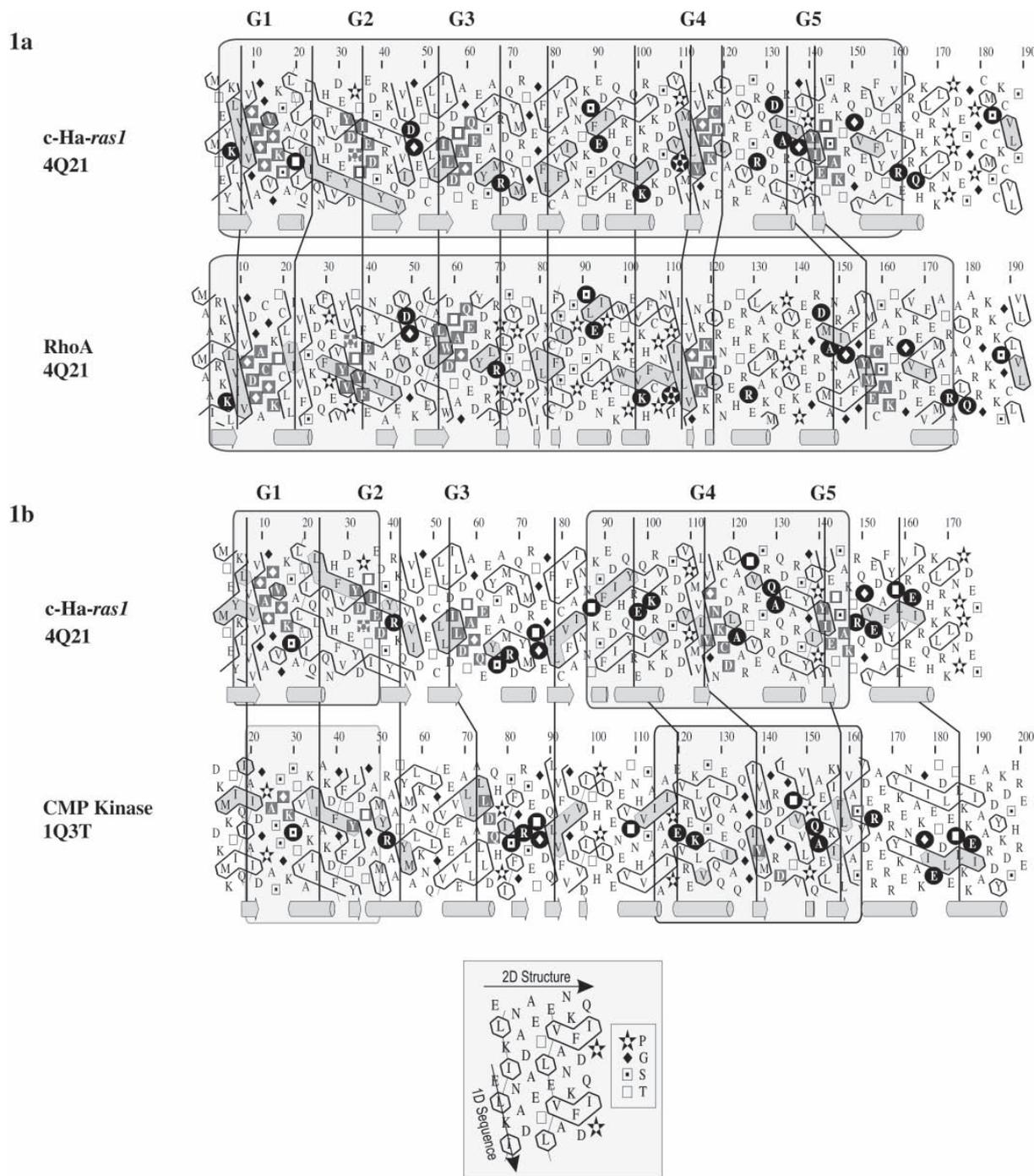


Figure 1. HCA plots of pairs of aligned sequences. a) Two low identity GTPases, *c-Ha-ras1* (PDB code 4Q21) and RhoA (PDB code 1X86_b); b) *c-Ha-ras1* aligned with the CMP kinase (PDB code 1Q3T, ATPase). **Symbols:** Conserved hydrophobic clusters are grey shaded. Non hydrophobic identities are indicated by white letters inside black circles. White letters on a grey square indicate catalytic aa in G motifs (G1-G5 on top) and residue conservation in non-GTPases. Black or white aa in a larger font size (some inside black circles) are residues that interact with a specific ligand as cofactors or substrates. Under each plot, the secondary structures are schemed, based on PDB files. The boxed regions indicate the fragments of the proteins for which the structures can be superimposed. The onset helps interpreting the HCA plots. Because of the duplication (see methods), sequence is read vertically, one line over two, and the secondary structure is read horizontally, a cluster corresponding statistically to a regular secondary structure. Vertical lines connect the occurrences of analogous clusters.

and rmsd of the same order as for G and ATPase domains previously analyzed, whereof their evolutive relation with G domains has not been so far proposed nor explained.

With the G domain of $G_{i\alpha}$ as a query sequence, known to belong to the G-alpha family, we retrieved by BLAST the Archaeal RNase HII of the hypothermophile *Methanococcus jannaschii* (Lai *et al.*, 2000), homologous to the human major RNase H. ClustalW and HCA identities were 14 and 20%, respectively. In Fig. 2a we can observe that the most relevant conserved hydrophobic clusters are mainly associated to α -helices, which are rather long for RNase HII. Structure superposition gave a rmsd of 4.03 Å over 79 aa at the C-terminal end. A striking observation in Fig. 2a is that the most conserved secondary structures and catalytic residues are in boundary of G4 and G5 loops, and G4 is the motif that determines the interaction with GTP or ATP (see introduction). Because RNase HII interacts with a polymer of nucleotides (*E. coli* RNase HII cleaves the RNA strand of a RNA-DNA hybrid, endonucleolytically at the P-O3' bond), one can speculate that the motifs responsible for nucleotide interaction and hydrolysis have been rearranged to perform RNA degradation.

When using RhoA as a query sequence, we obtained the lactate dehydrogenase (LDH) from *Cryptosporidium parvum*. Sequence identities were 18 and 22% for ClustalW and HCA alignments, respectively (Fig. 2b). After superposition of the two domains, we obtained a rmsd of 3.02 Å over 78 aa in the C-terminal region, including the G4 and G5 motifs. The LDH structure (PDB code 2FM3) is complexed with substrate (pyruvic acid) and cofactor (NADH). The aa involved in the interaction with the ligand are located around G1-G5 motifs. For example, residues QI (positions 14-15) are in the G1 motif of RhoA, D35 in G2, ItN (120-122) (conserved residues in capital letters) in G4 and MagV (145-148) in G5. Thus the similar distribution of hydrophobic clusters, the low rmsd and the coincident positions occupied by catalytic residues once more allow to conclude to the existence of a partial common fold for the two proteins. Hence, the aa pertinent for interaction with GTP have evolved to be able to bind the dinucleotide coenzyme NADH.

With *ORFX* (see below) as BLAST query, we retrieved in Blocks database the Block number IPB010280C (motifs G4-G5) of *Thermococcus kodakarensis* RumA protein (Q5JHF7). In *E. coli*, this enzyme that catalyzes the transfer of a methyl group from S-adenosylmethionine (SAM), specifically to uridine 1939 of 23S rRNA to yield 5-methyluridine (Lee *et al.*, 2004). We show in Fig. 2c a HCA alignment between *E. coli* RumA and *c-Ha-ras1*, not *ORFX*,

because of the absence of PDB structures; however *ORFX* is predicted to superpose well with *c-Ha-ras1* since their Z scores for global and local alignments are high (3.2 and 4, respectively) (Frery *et al.*, 2000). Identities are 10% and 18% with ClustalW and HCA, respectively. The major cluster and secondary structure conservations are located, like in RNase HII and LDH, at the C-terminal end (Fig. 2c). We were able to superpose these regions, obtaining a rmsd of 3.46 Å over 64 aa. Lee *et al.* locate the putative site of interaction of RumA with SAM to residues 268-282 (AGV...EWL, Fig. 2c) (Lee *et al.*, 2004). These positions perfectly match with G1 and G2 motifs in *c-Ha-ras1*.

With *c-Ha-ras1* as a query sequence, we retrieved the *Bacillus subtilis* Guanine Deaminase, an enzyme that catalyzes the hydrolytic deamination of guanine into xanthine (Liaw *et al.*, 2004) (Fig. 3a). Sequence identities are 10 and 18%. The high conservation of secondary structures and their direct relation with hydrophobic clusters in number and shape are obvious in Fig. 3a. A protein superposition was possible in two fragments (Fig. 3a, Table 1) yielding a rmsd of 3.87 Å over 28 aa (N-terminal) and 4.27 Å over 55 aa (middle of the protein). 1-2 aa in each G1-G4 motifs are shared between the two sequences.

The last sequence we analyzed is *ORFX* (AF261774), one of the most intriguing proteins with a probable G-domain fold. It is a protein of unknown function, but involved in determination of fruit size in tomato (Frery *et al.*, 2000) and classified in Pfam as a member of the PLAC8 family (Placenta-specific gene 8 protein). *ORFX* was predicted in the literature as sharing a similar fold (LOOPP program (Tobi & Elber, 2000) than the human oncogene *ras* protein (PDB code 6Q21). We show in Fig. 3b a HCA alignment of *c-Ha-ras1* and *ORFX*. A striking observation is the high correspondence of hydrophobic clusters and aa conservation of the G motifs, excepting G3, with a HCA identity of 17% (Table I). Unfortunately there is no available 3D structure for protein superposition. Because of its assumed regulatory activity, we tried to associate *ORFX* with transcription factors. HCA analysis shows that *ORFX* is enriched in cysteines, a common characteristic of zinc finger proteins; thus, we aligned *ORFX* with members of the zinc finger family and we show an example with Atzfp6 (Swiss-Prot entry Q39265) in Fig. 3c. Interestingly, the numerous cysteines of *ORFX* are in the same domain organization than zinc finger proteins (ZF1 and ZF2 in Fig. 3c). A prediction of zinc-binding cysteines with Predzinc (Shu *et al.*, 2008) revealed four candidate residues with probability scores exceptionally high to constitute a putative zinc-binding domain (ZF 2, Fig. 3c): Asp111 (0.576), Cys118 (0.742), Cys121 (0.742) and Cys124 (0.656). Besides,

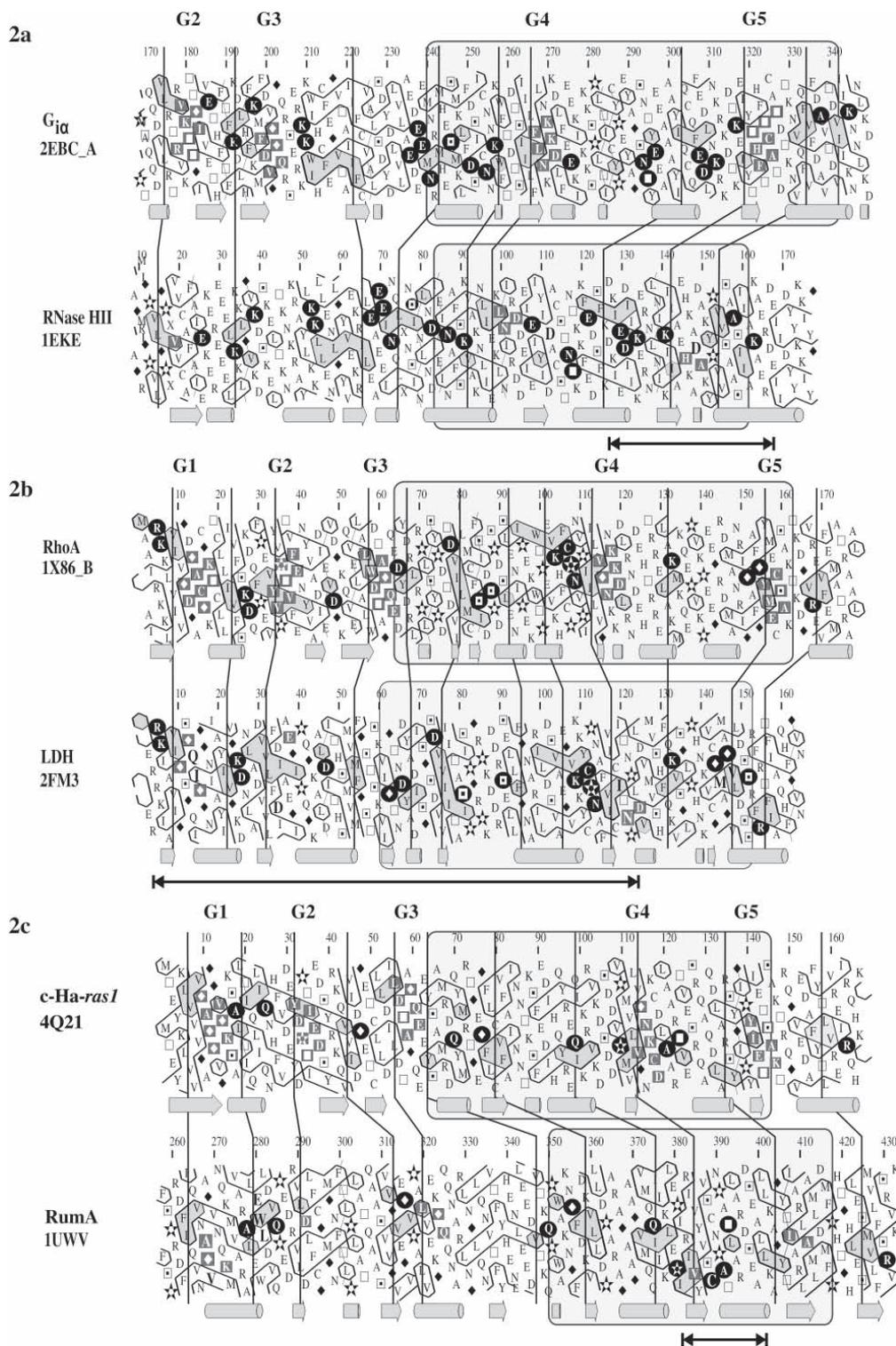


Figure 2. HCA plots of pairs of aligned sequences. a) *G1 α* (PDB code 2EBC, GTPase) aligned with RNase HIII (PDB code 1EKE, non GTPase); b) RhoA (PDB code 1X86_B, GTPase), aligned with LDH (PDB code 2FM3, non GTPase); c) c-Ha-ras1 (PDB code 4Q21, GTPase), RumA (PDB code 1UWV, non GTPase). The HSSP producing hits with BLAST are marked by a black line under the alignments.

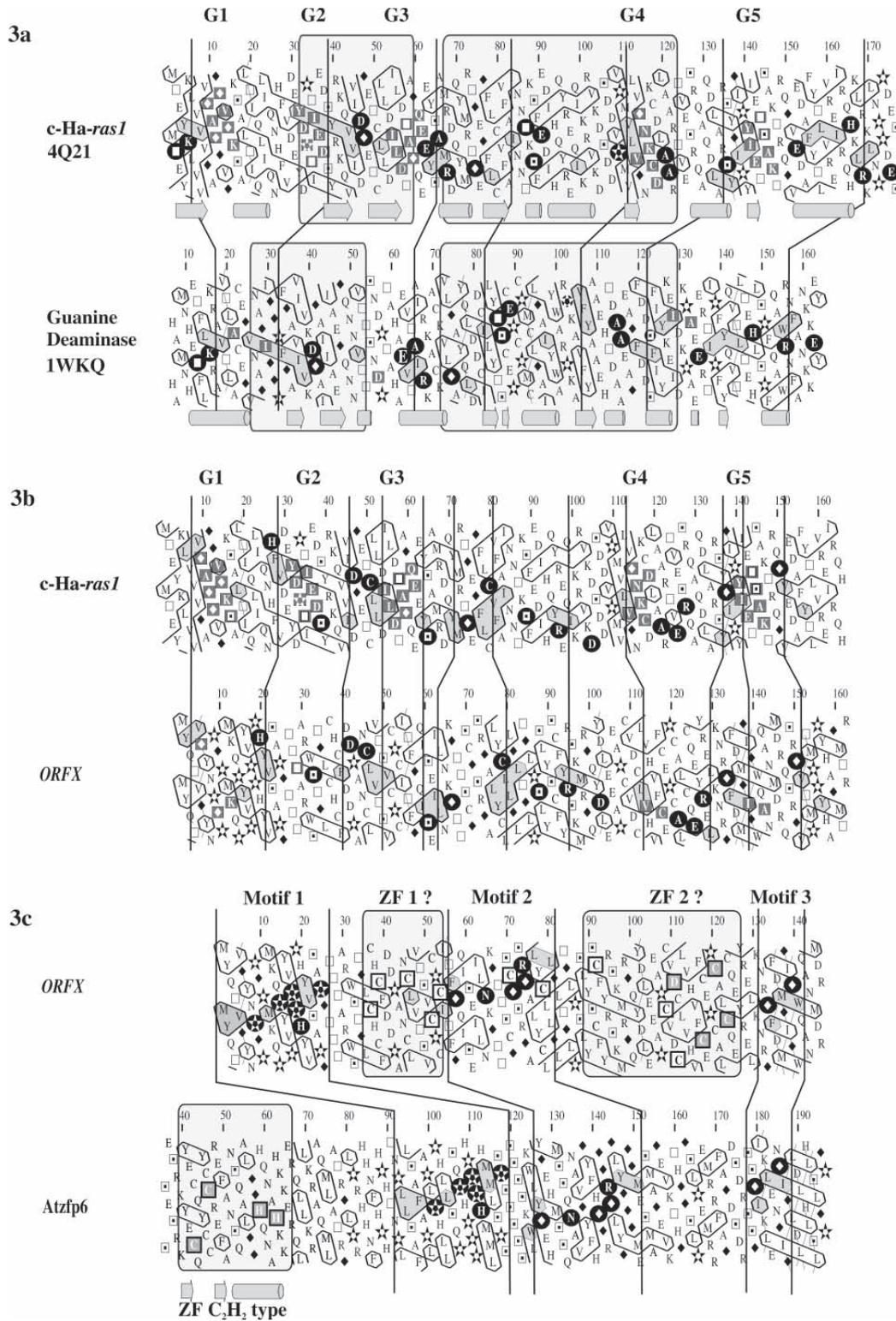


Figure 3. HCA plots of pairs of aligned sequences. a) *c-Ha-ras1* (PDB code 4Q21, GTPase) aligned with guanine deaminase (PDB code 1WKQ, non GTPase); b) *c-Ha-ras1* aligned with *ORFX* c) *ORFX* (accession number af261774) aligned with *Atzfp6* (Q39265).

we can observe in Fig. 3c the remarkable residue conservation of hydrophobic (clusters) and non-hydrophobic residues for motifs 1 (23% identity), 2 (20% identity) and 3. These results enable us to propose that *ORFX* may originate from a primordial G domain and belong to an unknown class of zinc finger proteins with transcription regulatory functions.

In order to supply a graphic view of our hypothesis of inclusion of new members in the G domain family, we show in Fig. 4 structural superpositions of RhoA with LDH on top, and c-Has-ras1 superposed on RumA at the bottom. Global rmsd in these two cases is 3,02 Å and 3,46 Å, respectively, therefore validating our assumption of two new members in the family.

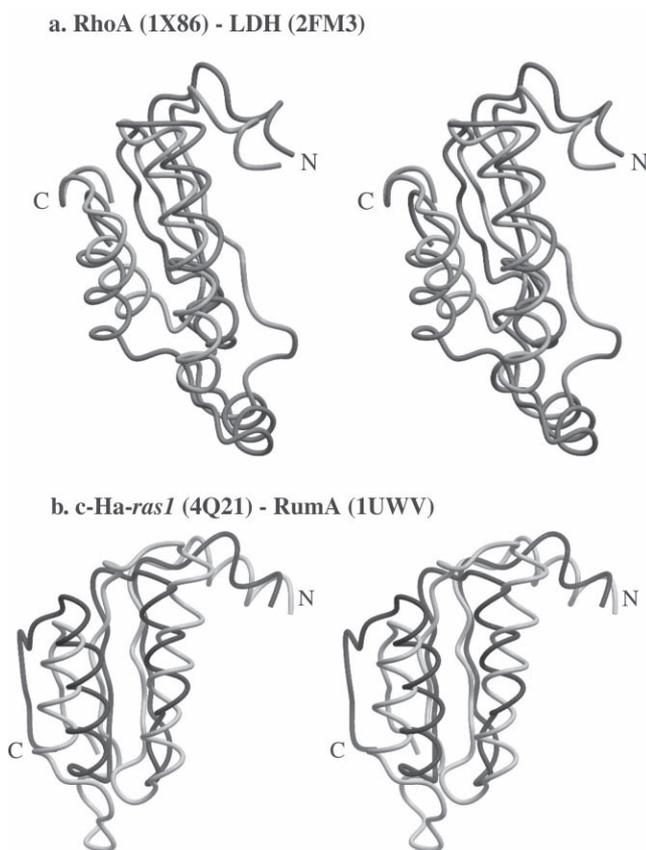


Figure 4. Superposed stereo structures of a protein known to belong to the G domain (RhoA (P⁷¹-G¹⁵⁵) on top and c-Has-ras1 (R⁶⁸-S¹⁴⁴) at the bottom) with a proposed new member of the family (LDH (D⁸⁴-C¹⁶¹) on top and RumA (Q³⁵⁰-L⁴¹⁴) at the bottom).

4. Discussion

The phylogenetic tree of GTPase and ATPase families is now well established and in numerous cases they

originate from a common nucleotide hydrolytic domain (Leipe *et al.*, 2002; Leipe *et al.*, 2003). However, some proteins share very low identity with the other members of the superclass and are difficult to classify in this family by means of sequence alignments. Structure superposition is of great help to produce a reliable alignment. A decisive criterion to incorporate a putative GTPase in the family is the conservation of the G1 to G5 motifs. Even though G domains may be highly divergent, they are still recognizable by the appropriate methods (Fig. 1).

In this work, we provide some arguments for the existence of unrelated proteins, as far as biological function is concerned, that share a series of secondary structures with the G domain of small GTPases. Following the functional annotation of proteins in databases, all compared polypeptides in Table 1 constitute a metabolically distinct supra family, i.e., “homologous enzymes that catalyze mechanistically distinct reactions in different metabolic pathways and have conserved active-site residues that perform different functions in different members of the supra family” (Gerlt & Babbitt, 2000). Three ways by which non-GTPase proteins may have acquired related structures with G domains are convergence, divergence and partial gene recombination. Convergent and divergent evolution may be difficult to distinguish. However, it could be feasible to consider that non-GTPase proteins of Table 1 are related to a common ancestor of the present GTP-binding domain. One can advance the following arguments: i) there are significant similarities in hydrophobic cluster positions and shapes, sequence identities and structural similarities between superimposed subdomains, leading to the conclusion that their analogous fold is not accidental; ii) functional amino acids of non GTPase proteins fit with the G1-G5 motifs. Blouin *et al.* (2004) found that “the sequence variability among these homolog proteins (28 GTP-binding domains) is directly linked to the structural variability of surface loops” and that “these regions are self-contained and thus mostly free of the evolutionary constraints imposed by the conserved core of the domain” (Blouin *et al.*, 2004). Therefore, it is possible that most of the adaptations of G domains to new functions are possible because of the structural flexibility of the G1-G5 loops; the best example of such adaptation is the lactate dehydrogenase (LDH) from *C. parvum* (Fig. 2b). iii) As seen in Fig. 1a, the G domains may be highly divergent within the family (HCA identity of 30%); a structural related ATPase (Fig. 1b) yielded a lower score (23% by HCA). Interestingly, non-GTPase proteins exhibited similar identities ranging from 18% to 23% and significant rmsd. All these data allow to conclude to the existence of a common ancestor for all these proteins; iv) interestingly, the substrates for most of

these proteins are nucleotides or polymers of nucleotides; thus, the structural affinity for nucleotides is maintained but with novel activities. v) Previously, we have demonstrated that a GTP-binding domain was recycled to have a receptor activity in the A domain of the chloroplast GTPase receptor Toc159 (**Hernández Torres et al.**, 2007). This is one example of adaptation of the G domain to a new function, independent of nucleotide binding. A second case of a GTPase domain adaptation is *ORFX*. As seen in Fig. 3b, the alignment between ras and *ORFX* proteins is well consistent in hydrophobic clusters, as well as in non-hydrophobic aa (17% identity). In this work we propose that *ORFX* has a function of a zinc-finger transcription factor and we present strong evidence in Fig. 3c. It is not clear how a nucleotide hydrolyzing domain becomes a transcription factor; however its primary nucleotide binding activity and the flexibility of loop regions must have been the key for this domain transformation (**Blouin et al.**, 2004).

A second way by which non-GTPase proteins may have appeared is convergent molecular evolution (CME). There are few reports demonstrating this evolutive event, somehow controversial. CME is defined as “the independent evolution of similar nucleotide or amino acid sequences in two unrelated molecules” (**Zakon**, 2002). Structural convergence is one of the four classes of CME and could be the most suitable for non-GTPase proteins. As stated by Zakon (2002), “in some cases, molecules with very different amino acid sequences can assume similar structural motifs, and these may carry out similar functions”. If it was the case for non-GTPase proteins, the convergence would be only in the 3D structure but not in the functional level. The best models of reported CME refer to different structures with the same function (see for example the hexokinase, ribokinase, and galactokinase families of sugar kinases (**Bork et al.**, 1993)). There are two points that refute a case of CME for non GTPases: i) convergence would occur only for structure but not for function and ii) all the aligned proteins display conserved functional residues with GTPase G1-G5 motifs (Figs. 2 and 3). It would be difficult to accept all those analogous residues as a product of chance, particularly if each protein exhibits a different metabolic function.

The third probable mechanism at the origin of non-GTPases could be the partial recombination between ancient genes and a primordial GTP-binding domain, in order to produce new genes which gained only some of G1-G5 motifs. However, this alternative would be less probable than convergence, because the high conservation of hydrophobic and identity clusters, as well as functional residues.

Taking together all results, we conclude that the most feasible mechanism by which non-GTPases hold reminiscences of a common ancestral GTP-binding domain is divergence. Then it was simpler for nature to assign new functions to an already existing nucleotide-interacting domain, with a particularly flexible architecture in their catalytic loops, than building new ones from scratch.

Acknowledgements

RPBS bioinformatics resources have been used for this project (<http://bioserv.rpbs.univparis-diderot.fr/>). The authors are grateful to Dr. Nanjiang Shu for the use of Predzinc program.

References

- Berman, HM., Z. Westbrook, FG. Gilliland, TN. Bhat, H. Weissig, IN. Shindyalov & PE. Bourne.** 2008. The Protein Data Bank. *Nucleic Acids Res.* 28: 235-242.
- Blouin, C., D. Butt & AJ. Roger.** 2004. Rapid evolution in conformational space: a study of loop regions in a ubiquitous GTP binding domain. *Protein Sci.* 13: 608-616.
- Bork, P., Sander, C. & A. Valencia.** 1993. Convergent evolution of similar enzymatic function on different protein folds: The hexokinase, ribokinase, and galactokinase families of sugar kinases. *Protein Sci.* 2: 31-40.
- Bourne, HR., DA. Sanders & F. McCornick.** 1991. The GTPase superfamily: a conserved structure and molecular mechanism. *Nature* 349: 117-127.
- Caldon, CE., P. Yoong & PE. March.** 2001. Evolution of a molecular switch: universal bacterial GTPases regulate ribosome function. *Mol. Microbiol.* 41: 289-297.
- Callebaut, I., G. Labesse, P. Durand, A. Poupon, L. Canard, J. Chomilier, B. Henrissat & JP. Mornon.** 1997. Deciphering protein sequence information through hydrophobic cluster analysis (HCA): current status and perspectives. *Cell. Mol. Life Sci.* 53: 621-645.
- Duax, WL., Huether, R., Pletnev, V., Umland, TC., Weeks, CM.** 2007. Divergent evolution of a specific protein fold and identification of its oldest surviving ancestor. *Biotechnology and Bioinformatics Symposium*, Paper ID:50.
- Frary, A., TC. Nesbitt, A. Frary, S. Grandillo, E. Van der Knaap, B. Cong, J. Liu, J. Meller, R. Elber, KB. Alpert & SD. Tanksley.** 2000. *fw2.2*: a quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. *Science* 289: 85-88.
- Gaboriaud, C., V. Bissery, T. Benchetrit & JP. Mornon.** 1987. Hydrophobic cluster analysis: an efficient new way to compare and analyze amino acid sequences. *FEBS Lett.* 224: 149-155.
- Gerlt, JA. & PC. Babbitt.** 2000. Can sequence determine function? *Genome Biol.* 1: 1-10.
- Gómez del pulgar, T., SA. Benitah, PF. Valerón, C. Espina & JC. Lacal.** 2005. Rho GTPase expression in tumorigenesis: evidence for a significant link. *Bioessays* 27: 602-613.

- Grishin, N.** 2001. Fold change in evolution of protein structures. *J Struct Biol* 134:167-185.
- Henikoff, S. & JG. Henikoff.** 1994. Protein family classification based on searching a database of blocks. *Genomics* 19: 97-107.
- Hernández Torres, J., MA. Maldonado Arias & J. Chomilier.** 2007. Tandem duplications of a degenerated GTP-binding domain at the origin of GTPase receptor Toc159 and thylakoidal SRP. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 364: 325-331.
- Kawabata, T.** 2003. MATRAS: a program for protein 3D structure comparison. *Nucleic Acids Res.* 31: 3367-3369.
- Lai, L., H. Yokota, LW. Hung, R. Kim & SH. Kim.** 2000. Crystal structure of archaeal RNase HII: a homologue of human major RNase H. *Structure* 8: 897-904.
- Lee, TT., S. Agarwalla & RM. Stroud.** 2004. Crystal structure of RumA, an iron-sulfur cluster containing *E. coli* ribosomal RNA 5-methyluridine methyltransferase. *Structure* 12: 397-407.
- Larkin MA., Blackshields G., Brown NP., Chenna R., McGottigan PA., McWilliam H., Valentin F., Wallace IM., Wilm A., Lopez R., Thompson JD., Gibson TJ. & Higgins DG.** 2007. ClustalW and ClustalX version 2. *Bioinformatics* 23: 2947-2948.
- Leipe, DD., EV. Koonin & L. Aravind.** 2003. Evolution and classification of P-loop kinases and related proteins. *J. Mol. Biol.* 333: 781-815.
- , **Y. I. Wolf, EV. Koonin & L. Aravind.** 2002. Classification and evolution of P-loop GTPases and related ATPases. *J. Mol. Biol.* 317: 41-72.
- Liaw, SH., YJ. Chang, CT. Lai, HC. Chang & GG. Chang.** 2004. Crystal structure of *Bacillus subtilis* guanine deaminase. *J. Biol. Chem.* 279: 35479-35485.
- Liu, Z-P., Wu, LY., Wang, Y., Zhang, XS., Chen, L.** 2008. Bridging protein local structures and protein functions. *Amino acids.* 35: 627-650.
- Madaule, P. & R. Axel.** 1985. A novel ras-related gene family. *Cell* 41: 31-40.
- Paduch, M., F. Jelen, & J. Otlewski.** 2001. Structure of small G proteins and their regulators. *Acta Biochim. Pol.* 48: 829-850.
- Papandreou, N., Eliopoulos, E., Berezovsky, I., Lopes, A., Chomilier, J.** 2004. Universal positions in globular proteins : observation to simulation. *Eur. J. Biochem.* 271: 4762-4768.
- Reva, BA., AV. Finkelstein & J. Skolnick.** 1998. What is the probability of a chance prediction of a protein structure with an rmsd of 6 Å? *Fold. Des.* 3: 141-147.
- Rost, B.** 1999. Twilight zone of protein sequence alignments. *Protein Eng.* 12: 85-94.
- Shindyalov, IN. & PE. Bourne.** 1998. Protein structure alignment by incremental combinatorial extension (CE) of the optimal path. *Protein Eng.* 11: 739-747.
- Shu, M., Zhou, T. & S. Hovmöller.** 2008. Prediction of zinc-binding sites in proteins from sequence. *Bioinformatics* 24: 775-782.
- Theobald, D., Wuttke, D.** 2005. Divergent evolution within protein superfolds inferred from profile based phylogenetics. *J. Mol. Biol.* 354: 722-737.
- Tobi, D. & R. Elber.** 2000. Distance dependent, pair potential for protein folding: results from linear optimization. *Proteins* 41: 40-46.
- Valencia, A., M. Kjeldgaard, EF. Pai & C. Sander.** 1991. GTPase domains of Ras p21 oncogene protein and elongation factor Tu: analysis of three-dimensional structures, sequence families, and functional sites. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 88: 5443-5447.
- Walker, JE., M. Saraste, MJ. Runswick & NJ. Gay.** 1982. Distantly related sequences in the a and b-subunits of ATP synthase, myosin, kinases and other ATP-requiring enzymes and a common nucleotide binding fold. *EMBO J.* 1: 945-951.
- Wang, L., Qiu, Y., Wang, J., Zhang, X.** 2008. Recongnition of structure similarities in proteins. *Jrl Syst Sci & Complexity.* 28:665-675.
- Woodcock, S., JP. Mornon & Henrissat B.** 1992. Detection of secondary structure elements in proteins by Hydrophobic Cluster Analysis. *Protein Eng.* 5: 629-635.
- Zakon, HH.** (2002) Convergent evolution on the molecular level. *Brain Behav. Evol.* 59: 261.

Recibido: octubre 20 de 2009

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

NOVEDADES TAXONÓMICAS EN EL GÉNERO *COLUMNEA* (GESNERIACEAE)

Por

Marisol Amaya-Márquez*

Resumen

Amaya-Márquez, M.: Novedades taxonómicas en el género *Columnnea* (Gesneriaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 301-307, 2010. ISSN 0370-3908.

Se describen e ilustran una nueva especie de *Columnnea* y una variedad de *Columnnea lanata* (Seem.) Kuntze, pertenecientes a la sección *Collandra* (Gesneriaceae). La nueva especie se encontró en las estribaciones de la vertiente del Pacífico de la Cordillera Occidental de Colombia en el departamento de Chocó; la nueva variedad proviene de la región de Murri localizada en la vertiente del Pacífico de la Cordillera Occidental en el departamento de Antioquia. Se presenta una clave para distinguir la nueva especie de los taxones morfológicamente más similares.

Palabras clave: *Collandra*, *Columnnea*, Gesneriaceae, Chocó biogeográfico, taxonomía, flora de Colombia.

Abstract

A new species of *Columnnea* and a new variety of *Columnnea lanata* (Seem.) Kuntze belonging to section *Collandra* (Gesneriaceae) are described and illustrated. The new species was found in the Pacific slopes of the "Cordillera Occidental" in the Department of Chocó in Colombia; the new variety comes from the Pacific slopes of the "Cordillera Occidental", in the region of Murri located at the North West of the Department of Antioquia. A taxonomic key to distinguish the new species from the morphologically closer species is presented.

Key words: *Collandra*, *Columnnea*, Gesneriaceae, Biogeographic Chocó, taxonomy, flora of Colombia.

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D. C., Colombia. Correo electrónico: mamayam@unal.edu.co.

Introducción

Columnea L. es el género más grande en la subfamilia Gesnerioideae de la familia Gesneriaceae, con más de 200 especies distribuidas en hábitats neotropicales (Kvist & Skog, 1993, Burt & Wiehler, 1995, Weber, 2004, Skog & Boggan, 2006). Aunque el género se ha registrado desde México hasta Bolivia, la mayor diversificación de especies se presenta en Colombia (Kvist & Skog, 1993, Kvist *et al.*, 1998). Las especies de la sección *Collandra* se reconocen por ser lianas con vástagos vegetativos, los cuales exhiben una orientación dorsiventral y una marcada anisofilia entre las hojas de un mismo nudo; la hoja más grande de cada par usualmente tiene forma oblanceolada y muestra diversos patrones de manchas rojas por su cara abaxial de acuerdo con la especie, en contraste, la hoja pequeña es tan reducida que aparenta ser una estípula; los sépalos subiguales tienen formas variadas; la corola tubular frecuentemente es subventricosa, con limbo subactinomorfo o marcadamente bilabiado (Wiehler, 1973, 1995). Las cerca de 60 especies de la sección *Collandra* pueden organizarse en dos grupos: (1) Aquel en el cual se encuentran las especies que tienen brácteas pequeñas, de menor tamaño que las flores, y (2) el grupo de especies que tienen sus flores parcial o totalmente protegidas por grandes brácteas. Este último tipo de brácteas son muy llamativas por su tamaño y colorido, cumpliendo la doble función de: (1) proteger los botones florales y la base de las flores donde se acumula el néctar, y (2) incrementar la señal de atracción para los polinizadores. La especie y la variedad aquí descritas pertenecen a este último grupo y son morfológicamente, linajes muy cercanos a *Columnea lanata*, esta última una especie endémica del Chocó biogeográfico.

***Columnea (Collandra) foreroi* M. Amaya, sp. nov.**
Figura 1.

TIPO: COLOMBIA. **Chocó:** municipio de San José del Palmar, hoya del río Torito (afluente del río Hábita), 730-900 m alt., 19 mar 1980, E. Forero *et al.* 7492 (holotipo: COL, isotipo: MO).

A *Columnea lanata* (Seem.) Kuntze *folio grandi indumento adaxiali aureo sericeo, macula apicali vinacea, 15-16 venis calycis lobis paene liberis. Corollae limbus leviter bilabiatus, apertus.*

Liana sufrutescente; tallo subterete, 0.4-1.2 cm diám., indumento apical seríceo dorado (tricomas 6 células), lenticelas moradas en los nudos, entrenudos 1-6 cm de longitud. **Hojas** opuestas, fuertemente anisofilas en un par, textura papirácea; la hoja grande casi sésil, peciolo 0.1-0.5 cm de longitud; lámina marcadamente asimétrica, estrecha-

mente obovada 24-35 x 10-15 cm, base oblicua redondeada en el lado más largo y aguda en el lado más corto, ápice acuminado, margen aserrado, en la cara adaxial verde con una mancha roja apical en 1/30 del área foliar, indumento seríceo, tricomas de 7 a 10 células; en la cara abaxial verde oliváceo con una mancha roja apical en 1/30 del área foliar, indumento esparcidamente seríceo, más denso sobre las venas, (tricomas 5 células), 12 (8-13) venas en el lado más largo de la lámina; la hoja más pequeña sésil, lámina asimétrica, estrechamente ovada 3.8-5 x 1.5-1.8 cm, base oblicua el lado más largo sagitado y el otro cuneado, ápice caudado, en la cara adaxial verde, seríceo (tricomas 2-5 células), venas tenues; en la cara abaxial seríceo, más denso sobre las venas (tricomas 2-5 células). **Inflorescencia** en fascículos de 6 flores localizados en la axila de la hoja más grande; 6 brácteas, la bráctea externa estrechamente ovada, 5 x 2 cm, las otras lanceoladas, 1-3.8 x 0.2-1.2 cm, en la cara adaxial seríceas y en la cara abaxial pilosas, persistentes. **Flor** pedicelada, pedicelos 0.8-1.2 cm de longitud, indumento dorado seríceo (tricomas 11 células). **Cáliz** verde; oblicuo al pedicelo, 5 lóbulos casi libres, connatos por 1 mm de longitud; lanceolados, 2-2.5 x 0.3-0.5 cm, margen dentado, cinco dientes subulados por cada lado, en la cara abaxial dorado seríceo (tricomas 7 células), en la cara adaxial piloso (tricomas 3-5 células). **Corola** levemente oblicua en el cáliz; verde; cilíndrica subventricosa, 3.8-4.2 cm de longitud, constreñida en la base 0.4 cm, 0.6 cm en su parte más ancha cerca de la mitad de su longitud, se estrecha de nuevo en el limbo 0.4 cm; dorsalmente gibosa en la base, giba 0.3 x 0.4 cm; limbo de simetría bilateral, levemente abierto, lóbulos subiguales 3 x 1.5 mm, agudos de borde convexo, indumento externo de la corola lanado (tricomas 6-9 células), internamente pilosa (tricomas 3 células). **Androceo** de 4 estambres, filamentos 3.2-3.5 cm de longitud, piloso (tricomas 3 células), basalmente unidos por 0.4 cm de su longitud formando una lámina estaminal abierta. **Nectario**, una glándula dorsal tetradentada. **Gineceo** con el ovario cónico 4.5 x 0.2 cm, seríceo; estilo 4 cm de longitud, glandular en toda su longitud; estigma bilobulado, densamente glandular. **Fruto** no visto.

Etimología. El epíteto hace honor al botánico Enrique Forero en reconocimiento de su liderazgo en el desarrollo de la botánica en Colombia. El Dr. Forero contribuyó extensivamente con la recolección y en el conocimiento de la Flora del Chocó; esta especie ha sido recolectada únicamente por él, razón que aumenta los méritos para dedicársela.

Fenología. La presencia de flores se ha registrado en los especímenes recolectados en el mes de marzo. No se conocen colecciones con frutos.

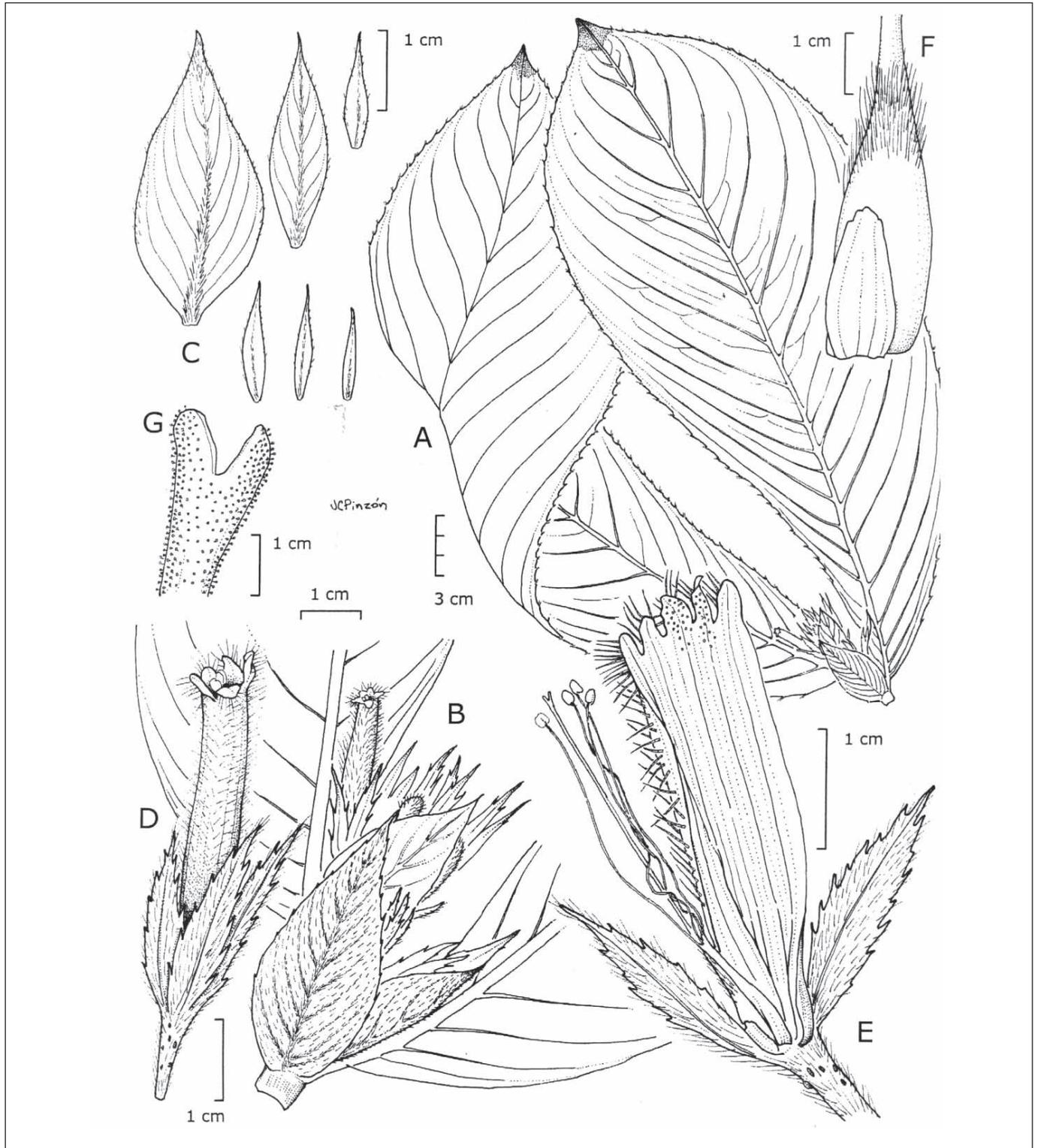


Figura 1. *Columnnea foreroi* M. Amaya. A. Hábito. B. Detalle de la inflorescencia. C. Serie de brácteas por la cara abaxial, indumento piloso localizado sobre las venas. D. Detalle de la flor: glándulas en el pedicelo, margen del cáliz con dientes cortamente subulados, indumento lanado de la corola, limbo de la corola levemente zigomorfo. E. Detalle de la corolla abierta, tricomas glandulares en los lóbulos dorsales. F. Gineceo y nectario. G. Detalle del estigma.

Distribución. *Columnnea foreroi* es una especie conocida para la región del Pacífico de Colombia, restringida a las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental a elevaciones comprendidas entre 700 y 1000 m, en el departamento del Chocó.

Paratipo. COLOMBIA. **Chocó:** municipio de San José del Palmar, hoya del río Torito (afluente del río Hábita), declive oriental, 850-1000 m alt., 12 marzo 1980, *E. Forero et al.* 7205 (COL).

Características distintivas. La especie es distinguida de *C. lanata* (Seem.) Kuntze por tener hojas con un indumento dorado seríceo, el cual se hace más notable en las hojas jóvenes; el margen de la hoja es aserrado, los dientes del margen se encuentran rodeados por numerosas tricomas que forman en su conjunto un penacho de pelos; esta característica incrementa el aspecto aserrado de la margen de la hoja; mancha roja apical en 1/30 del área foliar; 15-16 venas en el lado más largo de la hoja más grande; lóbulos del cáliz casi libres; y limbo de la corola levemente bilabiado y abierto.

Columnnea lanata (Seem.) Kuntze, Revis. Gen. Pl. 2: 472. 1891, var. *lanata*. *Alloplectus lanatus* Seem., Bot. Voy. Herald 5: 186. 1854. *Dalbergaria lanata* (Seem.) Wiehler, Phytologia 27: 318. 1973. TIPO: COLOMBIA: **Chocó:** Cabo Corrientes, *Seeman 1056* (holotipo: K!, isotipo: BM!)

Liana sufrutescente de 2 m; tallo subterete, 0.4-1.5 cm diam., indumento viloso en las partes más jóvenes del tallo (tricomas 7-10 células), glabrescente en el resto, lenticelas moradas en los nudos, entrenudos 3-7 cm de longitud. **Hojas** opuestas, fuertemente anisofilas en un par, textura papirácea; la hoja grande peciolada, pecíolos 1.5 cm longitud; lámina asimétrica, estrechamente obovada u oblanceolada 23-32 x 10-12.5 cm, base oblicua aguda en el lado más corto y redondeada en el lado más largo, ápice acuminado, margen entero, en la cara adaxial uniformemente verde, glabra; en la cara abaxial verde oliváceo con manchas rojas localizadas en posición admedial entre los arcos subtendidos por la segunda y tercera venas secundarias apicales, indumento esparcidamente seríceo, más denso sobre las venas (tricomas 7 células), 12 (8-14) venas en el lado más largo de la lámina; la hoja más pequeña sésil, lámina asimétrica, lanceolada 2.9-3.5 x 0.9-1.2 cm, base oblicua el lado más largo cordado y el otro obtuso, ápice cuspidado, la cara adaxial verde, glabra venas tenues; la cara abaxial verde oliváceo, seríceo sobre las venas (tricomas 7-8 células). **Inflorescencia** en fascículos de 4-8 flores en la axila de la hoja más grande; 5-10 brácteas, verde o verde amarillento, en la cara adaxial indumento viloso,

(tricomas 7-10 células), en la cara abaxial glabrescente, la bráctea externa estrechamente obtusa, 3.5 x 2 cm, las otras elípticas o lanceoladas, 1.6-3 x 0.4-2 cm, persistentes. **Flor** pedicelada, pedicelos 0.8-1.3 cm de longitud, dorado seríceo (tricomas 5-7 células), con excrecencias moradas. **Cáliz** verde o amarillo; oblicuo al pedicelo, 5 lóbulos, connatos por 0.4-1 cm de longitud; elípticos, 2.2-2.5 x 0.7-0.9 cm, margen serrulado, en la cara abaxial seríceo (tricomas 7 células), la cara adaxial glabra. **Corola** levemente oblicua en el cáliz; verde; cilíndrica subventricosa, 3.7-4.2 cm de longitud, constreñida en la base 0.5 cm, 0.8 cm en su parte más ancha en el tercio apical de la corola, se estrecha de nuevo en el limbo 0.5 cm; dorsalmente gibosa en la base, giba 0.4 x 0.5 cm; limbo subactinomorfo, erecto, lóbulos subiguales 3 x 1.5 mm, oblongos; indumento externo de la corola lanado con tricomas uniseriados (9-15 células), internamente glabra. **Androceo** de 4 estambres, filamentos 3.2-3.5 cm de longitud, glabros, basalmente unidos por 0.7 cm de su longitud formando una lámina estaminal abierta. **Nectario** una glándula dorsal tridentada o dos glándulas dorsales bidentadas. **Gineceo** con el ovario cónico 0.5 x 0.3 cm, con tricomas únicamente en el ápice; estilo 3.5-4.2 cm de longitud, glandular en toda su longitud; estigma bilobulado densamente glandular. **Fruto** no visto.

Etimología. El nombre de esta especie alude al indumento externo de la corola.

Fenología. Registrada con flores en los meses de enero, febrero, marzo, y abril. Ninguna de las colecciones revisadas tenía frutos.

Distribución. *Columnnea lanata* es una especie endémica de la región Pacífica en el departamento de Chocó en Colombia, se ha recolectado en elevaciones que van desde el nivel del mar hasta los 700 m de altitud.

Colecciones representativas. COLOMBIA. **Chocó:** municipio de Bahía Solano, 0-100 m alt., 23 abril 1990, *J. Espina et al.* 3829 (FMB); corregimiento El Valle, sobre la trocha que conduce a la ensenada de Utría, 0-100 m, 18 abril 1989, *J. Espina et al.* 2684 (MO); Parque Nacional Natural Ensenada de Utría, 0-100 m, 17 febrero 1999, *J. Betancur & A. Gil* 7909 (COL); 6 km al oriente del río Pato sobre la autopista Panamericana, 250 m, 11 enero 1979, *A. Gentry, & E. Rentería* 24019 (MO); *E. Forero et al.* 5459 (MO); Baudó, margen del río Baudó, al frente de la quebrada Caimanerita, 11 febrero 1967, *H. P. Fuchs et al.* 22116 (MO).

Columnnea lanata (Seem.) Kuntze var. *coccinea* M. Amaya, var. nov. Figura 2.

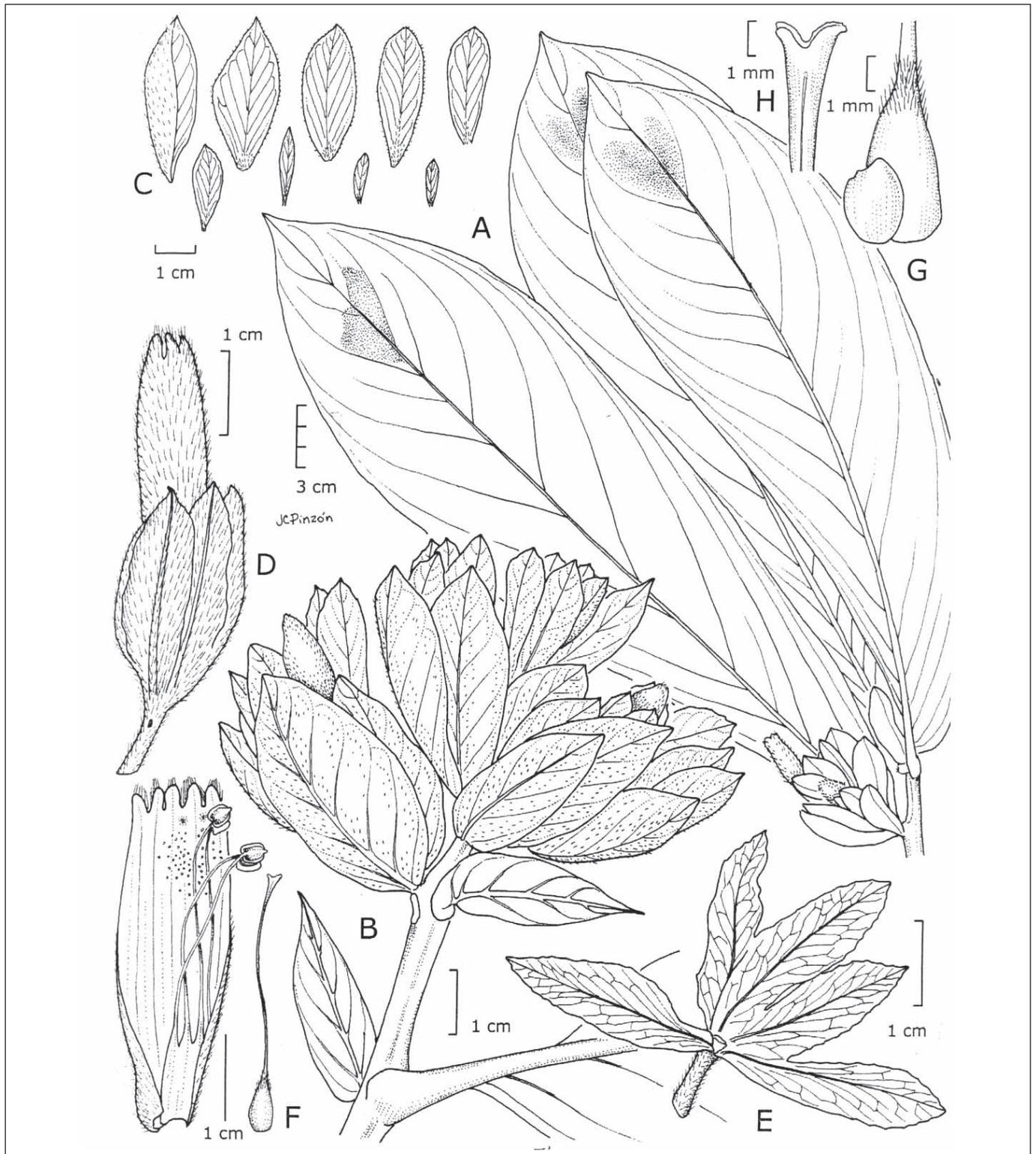


Figura 2. *Columnea lanata* (Seem.) Kuntze var. *coccinea* M. Amaya. A. Hábito. B. Detalle de la inflorescencia. C. Serie de brácteas de una inflorescencia. D. Flor. E. Cáliz: lóbulos del cáliz connatos, reticulados y glabros en la cara adaxial (interna). F. Detalle de: corola, androceo, y gineceo. G. Ovario con indumento apical y nectario. H. Detalle de estigma.

TIPO: COLOMBIA. **Antioquia:** Murri, La Blanquita, río Murri, (6° 35' N, 76° 50' W), 940 m alt., feb 28, 1992, *A Gentry. et. al. 75819* (holotipo: MO, isotipo: MO).

Differt a Columnea lanata (Seem.) Kuntze *corolla rubra, bracteis membranous.*

Se distingue de la variedad típica por tener brácteas membranosas rojas y corola roja. La variedad *coccinea* presenta frutos amarillo-anaranjados, aún no se sabe si este carácter permite distinguir entre las variedades debido a que se carece de información acerca del fruto de la variedad típica.

Etimología. El nombre de esta variedad hace referencia a las flores rojas que contrastan con las flores verdes de la variedad típica.

Fenología. Registrada con flores en los meses de febrero y marzo, y con frutos en el mes de marzo.

Distribución. *Columnea lanata* var. *coccinea* es una variedad conocida hasta ahora únicamente para la región de Murri, localizada en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental a una elevación de 940 m, en el departamento de Antioquia en Colombia. Esta variedad sólo se conoce por el material tipo.

Clave taxonómica para reconocer las nuevas entidades de sus taxones más similares

1. Plantas sarmentosas con marcada anisofilia en las hojas del par presente en cada nudo; con manchas rojas o moradas localizadas en la cara abaxial de la hoja más grande, entre los arcos subtendidos por la segunda y tercera venas secundarias apicales, de cerca de 2 o más cm² de área, la mancha nunca toca el margen de la hoja; margen de la hoja entera (usualmente revoluto en el material seco) 2
- 1'. Plantas sarmentosas con marcada anisofilia en el par de hojas presentes en cada nudo; con una mancha apical roja por ambas caras de la lámina foliar, de cerca de 1 cm² ó menos de área, la mancha toca el margen de la hoja por el ápice; margen de la hoja aserrada 3
2. Cáliz de lóbulos casi libres, connatos únicamente en 1 mm de su longitud; corola tubular verde
..... *C. lanata* var. *lanata*
- 2'. Cáliz de lóbulos connatos en 10 mm de su longitud; corola tubular roja
..... *C. lanata* var. *coccinea*
3. La hoja más grande de cada par con 11-12 venas secundarias en su lado más largo; cáliz

purpura o rojizo; corola amarilla
..... *C. rubriacuta*

- 3'. La hoja más grande de cada par con 15-16 venas secundarias en su lado más largo; cáliz verde, corola verde *C. foreroi*

Discusión

La mayor parte de las especies de la sección *Collandra* en el género *Columnea* son lianas que requieren para su crecimiento de un soporte estructural al cual adherirse. En condiciones naturales este soporte lo dan los troncos de diversas especies de árboles tropicales, explicando en parte el por qué la mayoría de las especies de la sección *Collandra* se han encontrado en bosques húmedos y bosques de niebla, generalmente en buen estado de conservación. En particular numerosos endemismos de especies pertenecientes a la sección *Collandra* han sido documentados para la región del Chocó biogeográfico (**Amaya-Márquez et al.**, en prep.). Una de estas especies, *Columnea lanata* (Seem.) Kuntze ha sido encontrada hasta ahora únicamente en el bosque pluvial bajo, en el departamento del Chocó en Colombia en elevaciones que van desde el nivel del mar hasta un poco más de los 700 m. Esta especie se caracteriza por presentar inflorescencias axilares con brácteas grandes muy conspicuas, las cuales encierran numerosos botones florales de maduración secuencial, de los cuales sólo uno o dos entran en anthesis floral a la vez. Esta estrategia de ofrecimiento continuo de recursos para sus polinizadores, los colibríes, promueve el comportamiento de visitación frecuente de estas aves a las inflorescencias para revisar la presencia de néctar en alguna de sus flores. En las angiospermas epífitas, dos individuos de la misma especie se encuentran usualmente separados por una distancia considerable, creando un reto para su reproducción sexual, debido a que los polinizadores prefieren visitar y explotar recursos espacialmente agrupados, que les ahorran costos de vuelo entre las flores. La estrategia de la planta de producir numerosas flores y ofrecer un poco de néctar cada día, genera en los colibríes la costumbre de visitar recurrentemente este tipo de plantas, incluyéndolas en el mapa espacial que traza su ruta de forrajeo diaria. *Columnea foreroi* es muy probablemente, la especie hermana de *C. lanata*; estas entidades taxonómicas comparten la misma región de distribución geográfica, excepto que *C. foreroi* se encuentra por encima del límite altitudinal de *C. lanata*, hallándose entre los 700 y los 1000 m de elevación. Las dos especies también son similares en la estructura organizacional de los vástagos reproductivos, y probablemente su ecología reproductiva también es similar.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia por la oportunidad de hacer investigación. A Larry Skog por su apoyo permanente y discusión en el estudio de las Gesneriáceas. Al padre Pedro Ortiz por su ayuda en las diagnósis latinas. A Juan Carlos Pinzón por la elaboración de los magníficos dibujos. A Diego Giraldo-Cañas y un evaluador anónimo por la lectura del manuscrito y sus valiosas observaciones y correcciones. A los directores de los herbarios del Jardín Botánico de Missouri (MO) y del Departamento de Botánica del Museo Británico de Historia Natural (BM). Igualmente le agradezco al personal del Jardín Botánico de Kew por la magnífica fotografía del tipo de *Columnea lanata* (Seem.) Kuntze enviada como obsequio al Herbario Nacional Colombiano (COL).

Bibliografía

Burt, BL. & Wiehler H. 1995. Classification of the family Gesneriaceae. *Gesneriana* **1**(1): 1-4.

Kvist, LP. & LE. Skog. 1993. The genus *Columnea* (Gesneriaceae) in Ecuador. *Allertonia* **6**(5): 327-400.

——— **LE. Skog & M. Amaya-Márquez.** 1998. Los géneros de Gesneriáceas de Colombia. *Caldasia* **20**(1): 12-28.

Skog, LE. & JK. Boggan. 2006. A new classification of the Western Hemisphere Gesneriaceae. *Gesneriads* **56**: 12-17.

Weber, A. 2004. Gesneriaceae, pp. 63-158. In: Kubitzki, K. & J.W. Kadereit (eds.), *The Families and Genera of Vascular Plants*. Vol. 7. Flowering plants, dicotyledons: Lamiales (except Acanthaceae including Avicenniaceae). Berlin & Heidelberg: Springer-Verlag.

Wiehler, H. 1973. One hundred transfers from *Alloplectus* and *Columnea* (Gesneriaceae). *Phytologia* **27**(5): 309-329.

———. 1983. A synopsis of the neotropical Gesneriaceae. *Selbyana* **6**: 1-219.

———. 1995. Medicinal gesneriads. *Gesneriana* **1**(1): 98-120.

Recibido: agosto 3 de 2010

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

USO Y MANEJO TRADICIONAL DE PLANTAS MEDICINALES Y MÁGICAS EN EL VALLE DE SIBUNDOY, ALTO PUTUMAYO, Y SU RELACIÓN CON PROCESOS LOCALES DE CONSTRUCCIÓN AMBIENTAL

Por

John James Rodríguez-Echeverry¹

Resumen

Rodríguez-Echeverry, J. J.: Uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas en el Valle de Sibundoy, Alto Putumayo, y su relación con procesos locales de construcción ambiental. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 309-326, 2010. ISSN 0370-3908.

Este estudio generó conocimiento etnobotánico y experiencia comunitaria que aporta a procesos locales de construcción ambiental desde el reconocimiento, valoración y fortalecimiento de las formas tradicionales de uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas entre las etnias Inga, kamentzá y quillacinga que habitan el Valle de Sibundoy, alto Putumayo, Colombia. Se referenció el Modelo de Construcción Ambiental, empleado por las tres etnias, a partir del uso y manejo tradicional de las plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema Chagra, modelo sustentado en el sistema médico tradicional y las prácticas cotidianas que involucran valoración ambiental, praxis que favorece la permanencia y dinámica de la flora y del saber tradicional indígena. Finalmente, esta importante información ambiental aporta en la calidad de las acciones de planificación regional.

Palabras clave: etnobotánica, chagra, construcción ambiental, Putumayo.

Abstract

This study generated ethno-botanical knowledge and community experience that contribute to local processes of environmental construction processes from the recognition, evaluation and

¹ Candidato a PhD en Ciencias Forestales. Universidad de Concepción, Chile. Investigador del Laboratorio de Ecología de Paisaje (LEP) Universidad de Concepción, Chile. Biólogo coordinador e investigador de la Fundación Takiyaco – Colombia. Correo electrónico: wairajames@yahoo.com

strengthening of traditional forms of use and handling of medicinal and magical plants among Inga, kamentzá and quillacinga ethnics that live in the Valle de Sibundoy, high Putumayo, Colombia. It was referenced the Environmental Building Model used by the three ethnic groups, from traditional use and management of medicinal and magical plants in the Chagra agro-ecosystem, model based on the traditional medical system and everyday practices involving environmental assessment, practices that facilitate the preservation and dynamics of flora and indigenous traditional knowledge. Finally, this important environmental information contributes to the quality of the actions of regional planning.

Key words: ethno-botanic, chagra, environmental construction, Putumayo.

Introducción

La etnobotánica. Mediante la práctica de la etnobotánica se relaciona de forma directa el ambiente y su aprovechamiento por grupos humanos, en busca de estrategias que conlleven al manejo sostenible de los recursos naturales (Ocampo, 1994). Por lo tanto, la etnobotánica aporta en el conocimiento de la relación ecosistema-cultura, contribuyendo en el entendimiento y búsqueda de soluciones de la problemática ambiental. Según Muriel (2000), el ambiente es un sistema dinámico definido por las interacciones biológicas, sociales y culturales. De acuerdo con Ángel-Maya (1996), la problemática ambiental es el precio que el hombre tiene que pagar por su desarrollo tecnológico, es decir, es el complejo de relaciones entre el ecosistema y la cultura, la cual depende básicamente de las formas tecnológicas y culturales de adaptación del hombre.

Agroecosistema. De acuerdo con Hernández-X (1989), la agricultura es la actividad en la cual el hombre maneja un ambiente dado para satisfacer necesidades de los diferentes grupos sociales. Y mediante ésta él es capaz de transformar el medio ambiente en procesos productivos llamados agroecosistemas, los cuales se definen como aquellos ecosistemas alterados en mayor o menor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en los procesos de producción agrícola, pecuaria, forestal o de fauna silvestre.

Antecedentes. El Valle de Sibundoy (Alto Putumayo), hace parte de la región Andina, una de las más biodiversas de Colombia (Sánchez *et al.*, 2000), coexistiendo con tal diversidad biológica las etnias Inga, kamentzá y quillacingas, caracterizadas por su profundo conocimiento y amplio uso de las plantas de su entorno (Friedemann & Arocha, 1982). El Valle ha sido catalogado como uno de los lugares en el mundo que posee una alta concentración de plantas mágicas cultivadas y como una importante reserva de saber ancestral sobre medicina y botánica (Friedemann & Arocha, 1982). En este contexto varios investigadores han realizado estudios etnobotánicos en el

Valle de Sibundoy desde mediados del siglo XX, haciendo valiosos aportes al respecto, ellos son: Yepes (1953); Bristol (1965); Seijas (1969); Juajibioy (1991); Guevara (1995); Daza (1996); Mora (1996); Giraldo (2000); y Hoyos y Prieto (2000).

La necesidad. Según el análisis de la situación ambiental del Valle de Sibundoy, realizado por la Fundación Ecoamazonía, en lo cultural existe una subvaloración de la dimensión educativa y de los programas de investigación (Guerrero, 1997). Tal situación favorece la pérdida de valores y del sentido de comunidad, la erosión del saber tradicional y la fragmentación, olvido y poca generación de información ambiental básica. Así, la formulación de planes inviables y la falta de iniciativa creativa y contextualizada de integración natural, social y cultural reflejan un profundo desconocimiento del entorno, sus elementos, procesos y ciclos (Guerrero, 1997).

El objetivo de esta investigación fue generar conocimiento etnobotánico y experiencia comunitaria aportando a procesos locales de construcción ambiental desde el reconocimiento, valoración y fortalecimiento de las formas tradicionales de uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas entre las etnias inga, kamentzá y quillacinga que habitan el Valle de Sibundoy. De este modo, esta investigación generó importante información ambiental, la cual aporta en la calidad de las acciones de planificación regional.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante los meses de febrero de 2002 y junio de 2003. Se trabajó con dos chamanes o "taitas" de los grupos étnicos inga y kamentzá, y con tres conocedoras de las tres etnias. La metodología se desarrolló de acuerdo con los métodos etnobotánicos propuestos por (Martin, 1994) y (Alexiades, 1996). Se reconocieron y caracterizaron etnobotánicamente los cinco agroecosistemas chagra en que se trabajó, de acuerdo con "Agroecosistemas-Pautas de Observación General" (Sanabria, datos no publicados). Con los taitas y cono-

ras se seleccionaron las plantas medicinales y mágicas más utilizadas, criadas en la chagra. Las plantas más empleadas se reconocieron etnobotánicamente y especímenes fértiles de éstas se determinaron taxonómicamente mediante la revisión y comparación con especímenes del Herbario de la Universidad del Valle (CUVC), y con la ayuda de los respectivos taxónomos. La recopilación de la información etnobotánica se realizó a través de entrevistas, en donde el entrevistador mantuvo en su mente unos tópicos fundamentales por los cuales guió al entrevistado. La información fue registrada en fichas botánicas y etnobotánicas, las cuales se elaboraron con base en las propuestas por (Sanabria & Hernández, 2002), y “Agroecosistemas-Pautas de Observación General (Sanabria, datos no publicados). Las enfermedades tratadas con las plantas medicinales se categorizaron según Cook (1995). De acuerdo con Sanabria & Hernández (2002), las categorías de manejo de las plantas empleadas en el estudio eran: “Nivel de Manejo Cultivado” y “Silvestre Tolerado”, y “Tipo de Manejo Individual Asociado” y “Población Asociada”, para aquellas plantas criadas de manera individual o en población pero en asociación con las demás plantas criadas en la chagra.

La construcción de las gráficas presentadas en el estudio se realizó integrando la información de campo para las tres etnias, información que es similar.

La Investigación Acción Participativa (IAP) hizo parte de la metodología, articulando ésta mediante el método descriptivo observacional a las ciencias biológicas con las sociales. De acuerdo con Murcia (1988), la IAP se considera como parte de la experiencia total que sirve para establecer las necesidades de la comunidad y para aumentar la conciencia y el compromiso dentro de ésta, generando un intercambio activo de conocimientos y experiencias entre el saber empírico tradicional y el saber científico moderno dentro de un diálogo abierto de saberes.

Mediante reuniones con taitas y conocedoras y visitas a las chagras se realizó el enriquecimiento de éstas, a través del intercambio de plantas medicinales, y el análisis de datos del estudio. Además se realizó comparaciones con otros estudios etnobotánicos que aportaron al enriquecimiento del análisis.

Área de estudio. El Valle de Sibundoy se encuentra ubicado en el departamento del Putumayo, Colombia. Administrativamente está conformado por los municipios de Sibundoy, Colón, Santiago y San Francisco, y zonas veredales. La investigación se desarrolló en las veredas Tamabioy, Michoacán y San Andrés, donde habitan los grupos étnicos kamentzá, quillacinga e inga, respectivamente. Según Arango & Sánchez (1997), la etnia kamentzá

tiene un total de 4.022 habitantes aproximadamente; la etnia inga unos 6.262 habitantes y el grupo étnico quillacinga presenta una relativa “pobreza” en cuanto a información demográfica se refiere (López, 1996).

Clima. En la parte baja a 1.595 m.s.n.m. se presenta un clima templado húmedo con una temperatura que oscila entre 16 y 23 grados centígrados en verano. Entre los 1.800 m.s.n.m. hasta los 2.100 m.s.n.m. se encuentra un clima frío húmedo, con una temperatura promedio de 16 grados centígrados (Samel, 1968). El invierno se presenta durante los meses de mayo a julio, y el verano de diciembre a marzo (Bello, 1987).

Zonas de vida. Se encuentran las zonas de vida de Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y el de Bosque húmedo Montano (bh-M), según Holdridge (citado por Espinal, 1967).

Resultados

Uso de plantas medicinales. Se investigaron para los tres grupos étnicos las sesenta y siete especies de plantas medicinales más utilizadas por los taitas y conocedoras. Todas estas especies provenían del agroecosistema chagra. Se registraron los siguientes usos para estas plantas: treinta y cinco especies utilizadas para tratar afecciones del sistema digestivo; veintidós para afecciones del sistema genitourinario; dieciséis para afecciones del sistema nervioso; trece para afecciones del sistema respiratorio; trece para afecciones del sistema esquelético-muscular; nueve para afecciones de la piel; nueve para inflamaciones; ocho para afecciones del sistema metabólico; siete especies en lo nutricional; cinco contra envenenamientos, cuatro para afecciones del sistema sensorial, tres para afecciones del sistema circulatorio, dos para afecciones post-embarazo, una para afecciones del sistema sanguíneo, una para limpieza corporal y una de uso social (Tabla 1). Entre las partes más usadas se registraron: hojas en cincuenta y tres especies, flores en trece especies, fruto en doce especies, tallo en siete especies, raíz en cuatro especies, semilla en tres especies, bulbo y toda la planta en una especie cada una (Tabla 2). Las formas de uso registradas fueron: vía oral con cincuenta y siete especies, baños diecinueve especies, comidas ocho especies, emplastos seis especies y untadas dos especies (Tabla 2). Entre los mecanismos más frecuentes de preparación de las plantas se registraron: infusión treinta y cuatro especies, cocción treinta y dos especies, maceradas nueve especies y consumidas crudas siete especies (Tabla 2).

Uso de plantas mágicas. Se registraron las veintidós especies de plantas mágicas más utilizadas por los taitas

Tabla 1. Enfermedades tratadas con el uso de plantas medicinales en el Valle de Sibundoy.

Objetivo de Uso*	Finalidad de Uso	Nombre Común	Nombre Científico	Familia	
Sistema digestivo	Dolor estomacal	Pacunga	<i>Bidens</i> sp	Asteraceae	
		Toronjil	<i>Melissa officinalis</i>	Lamiaceae	
		Hierba Buena	<i>Mentha</i> sp	Lamiaceae	
		Albahaca	<i>Ocinum basilicum</i>	Lamiaceae	
		Mejorana	<i>Origanum majorana</i>	Lamiaceae	
		Orégano	<i>Borago officinalis</i>	Boraginaceae	
		Poleo	<i>Satureia brownei</i>	Lamiaceae	
		Salvia	<i>Salvia officinalis</i>	Lamiaceae	
		Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Lamiaceae	
		Gallinaza	<i>Zanthoxylum</i> sp	Rutaceae	
		Té	<i>Capraria biflora</i>	Scrophulariaceae	
		Uvilla	<i>Physalis peruviana</i>	Solanaceae	
		Apio	<i>Apium graveolens</i>	Umbeliferaceae	
		Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	
		Ortiga	<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	
		Cedrón	<i>Lippia citriodora</i>	Verbenaceae	
		Ulceras	Botoncillo	<i>Sphylantes</i> sp	Asteraceae
			Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Lamiaceae
			Sábila	<i>Aloe vera</i>	Liliaceae
			Linaza	<i>Linum</i> sp	Linaceae
	Llantén		<i>Plantago</i> sp	Plantaginaceae	
	Té		<i>Capraria biflora</i>	Scrophulariaceae	
	Hierba mora		<i>Solanum nigrum</i>	Solanaceae	
	Apio		<i>Apium graveolens</i>	Umbeliferaceae	
	Afecciones Hígado-Bilis		Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae
			Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i>	Boraginaceae
		Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	
		Malva alta	<i>Pelargonium</i> sp	Geraniaceae	
		Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	Quenopodiaceae	
		Diarrea	Pacunga	<i>Bidens</i> sp	Asteraceae
	Botoncillo		<i>Sphylantes</i> sp	Asteraceae	
	Guayaba		<i>Psidium guajaba</i>	Mirtaceae	
	Té		<i>Capraria biflora</i>	Scrophulariaceae	
	Afección del Páncreas	Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	Asteraceae	
		Apio	<i>Apium graveolens</i>	Umbeliferaceae	
		Ortiga	<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	
	Cálculos de la Vesícula	Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i>	Asteraceae	
		Sábila	<i>Aloe vera</i>	Liliaceae	
	Rebote de lombrices	Botoncillo	<i>Sphylantes</i> sp	Asteraceae	
		Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	
		Paico	<i>Chenopodium ambrosiodes</i>	Quenopodiaceae	
	Amebiasis	Frambuesa	<i>Rubus</i> sp. 2	Rosaceae	
	Hemorroides	Amapola	<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae	
	Purgante	Yagé	<i>Banisteriopsis</i> sp	Malpighiaceae	

Continuación Tabla 1

Objetivo de Uso*	Finalidad de Uso	Nombre Común	Nombre Científico	Familia	
Sist. genito-urinario	Afección de los riñones	Escancel	<i>Alternanthera mexicana</i>	Amaranthaceae	
		Pacunga	<i>Bidens</i> sp	Asteraceae	
		Confrei	<i>Symphytum</i> sp	Boraginaceae	
		Malva alta	<i>Pelargonium</i> sp	Geraniaceae	
		Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	Lamiaceae	
		Salvia	<i>Salvia officinalis</i>	Lamiaceae	
		Sabila	<i>Aloe vera</i>	Liliaceae	
		Llantén	<i>Plantago</i> sp	Plantaginaceae	
		Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	
		Pelo choclo	<i>Zea mays</i>	Poaceae	
		Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	
		Cólicos Menstruales	Caléndula	<i>Calendula officinalis</i>	Asteraceae
	Manzanilla		<i>Matricaria chamomilla</i>	Asteraceae	
	Mejorana		<i>Origanum majorana</i>	Lamiaceae	
	Paico		<i>Chenopodium ambrosiodes</i>	Quenopodiaceae	
	Ruda		<i>Ruta graveolens</i>	Rutaceae	
	Afección próstata	Ciprés	<i>Cupressus</i> sp	Pinaceae	
		Confrei	<i>Symphytum</i> sp	Boraginaceae	
		Verbenilla	<i>Sida</i> sp	Malvaceae	
		Pera	<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae	
	Abortivas	Altamisa	<i>Ambrosia</i> sp	Asteraceae	
		Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	
	Afecciones de la matriz Provocar menstrua-ción Problemas menstruales	Ciprés	<i>Cupressus</i> sp	Pinaceae	
		Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	Lamiaceae	
		Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	
	Sistema nervioso	Afecciones de la matriz Calmante de nervios	Cipres	<i>Cupressus</i> sp	Pinaceae
			Caléndula	<i>Calendula officinalis</i>	Asteraceae
			Malva olorosa	<i>Pelargonium odoratissimu</i>	Geraniaceae
			Toronjil	<i>Melissa officinalis</i>	Lamiaceae
			Hierba buena	<i>Mentha</i> sp	Lamiaceae
			Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	Lamiaceae
			Mejorana	<i>Origanum majorana</i>	Lamiaceae
			Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Lamiaceae
Poleo			<i>Satureia brownei</i>	Lamiaceae	
Amapola			<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae	
Limoncillo			<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	
Ruda			<i>Ruta graveolens</i>	Rutaceae	
Ortiga			<i>Urtica dioica</i>	Urticaceae	
Valeriana			<i>Valeriana</i> sp	Valerianiaceae	
Cedrón			<i>Lippia citriodora</i>	Verbenaceae	
Verbena			<i>Verbena</i> sp	Verbenaceae	
Epilepsia			Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae
			Ruda	<i>Ruta graveolens</i>	Rutaceae

Continuación Tabla 1

Objetivo de Uso*	Finalidad de Uso	Nombre Común	Nombre Científico	Familia	
Sistema respiratorio	Tos	Borraja	<i>Borago officinalis</i>	Boraginaceae	
		Orégano	<i>Borago officinalis</i>	Boraginaceae	
		Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Lamiaceae	
		Eucalipto	<i>Eucaliptus</i> sp	Mirtaceae	
		Manzano	<i>Malus domestica</i>	Rosaceae	
		Durazno	<i>Prunus persica</i>	Rosaceae	
		Mora de castilla	<i>Rubus</i> sp. 1	Rosaceae	
		Violeta	<i>Viola</i> sp	Violaceae	
	Afección pulmones	Escancel	<i>Alternanthera mexicana</i>	Amaranthaceae	
		Malva alta	<i>Pelargonium</i> sp	Geraniaceae	
		Sábila	<i>Aloe vera</i>	Liliaceae	
		Manzano	<i>Malus domestica</i>	Rosaceae	
		Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	Solanaceae	
		Gripa	Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae
Sistema esquelético-muscular	Reumatismo	Manzanilla	<i>Matricaria chamomilla</i>	Asteraceae	
		Romero	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Lamiaceae	
		Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	
		Paico	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Quenopodiaceae	
		Gallinaza	<i>Zanthoxylum</i> sp	Rutaceae	
		Borrachero blanco	<i>Brugmansia aurea</i> L.	Solanaceae	
		Dolor de cabeza	Salvia	<i>Salvia officinalis</i>	Lamiaceae
	Piel	Dolor muscular	Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae
			Amapola	<i>Papaver rhoeas</i>	Papaveraceae
		Desinfectantes	Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	Solanaceae
			Verbena	<i>Verbena</i> sp	Verbenaceae
			Altamisa	<i>Ambrosia</i> sp	Asteraceae
		Alergias y sarpuillos	Ciprés	<i>Cupressus</i> sp	Pinaceae
			Malva alta	<i>Pelargonium</i> sp	Geraniaceae
Malva tendida	<i>Pelargonium</i> sp		Geraniaceae		
Linaza	<i>Linum</i> sp		Linaceae		
Saúco	<i>Sambucus nigra</i>		Caprifoliaceae		
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>		Cucurbitaceae		
Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>		Solanaceae		
Cicatrizantes	Confrei	<i>Symphytum</i> sp	Boraginaceae		
	Lengua de vaca	<i>Rumex crispus</i>	Poligonaceae		
	Inflamación	Inflamación en general	Escancel	<i>Alternanthera mexicana</i>	Amaranthaceae
Manzanilla			<i>Matricaria chamomilla</i>	Asteraceae	
Orégano			<i>Origanum vulgare</i>	Lamiaceae	
Llantén			<i>Plantago</i> sp	Plantaginaceae	
Apio			<i>Apium graveolens</i>	Umbeliferaceae	
Golpes, heridas, varice		Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae	
		Caléndula	<i>Calendula officinalis</i>	Asteraceae	
		Sitanga	<i>Pilea</i> sp	Urticaceae	
Amígdalas		Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	Solanaceae	

Continuación Tabla 1

Objetivo de Uso*	Finalidad de Uso	Nombre Común	Nombre Científico	Familia
Sistema metabólico	Fiebre	Escancel	<i>Alternanthera mexicana</i>	Amaranthaceae
		Malva tendida	<i>Pelargonium</i> sp	Geraniaceae
		Lengua de vaca	<i>Rumex crispus</i>	Poligonaceae
		Manzano	<i>Malus domestica</i>	Rosaceae
		Mora de castilla	<i>Rubus</i> sp. 1	Rosaceae
		Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	Solanaceae
		Verbena	<i>Verbena</i> sp	Verbenaceae
		Violeta	<i>Viola</i> sp	Violaceae
		Nutricional	Para adelgazar	Calabaza
Cidra	<i>Sechium</i> sp			Cucurbitaceae
Marrubio blanco	<i>Marrubium</i> sp			Lamiaceae
Apio	<i>Apium graveolens</i>			Umbeliferaceae
Anemia	Aguacate		<i>Persea americana</i>	Lauraceae
	Pera		<i>Pyrus communis</i>	Rosaceae
Sistema sensorial	Sazón	Tomillo	<i>Thymus vulgaris</i>	Lamiaceae
	Vista: irritación-neuralgia	Sáuco	<i>Sambucus nigra</i>	Caprifoliaceae
		Toronjil	<i>Melissa officinalis</i>	Lamiaceae
		Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae
Envenena-mientos	Dolor de oído	Siempre viva	<i>Verbascum</i> sp	Scrophulariaceae
	Desintoxi-cantes	Ajenjo	<i>Artemisia absinthium</i>	Asteraceae
		Sáuco	<i>Sambucus nigra</i>	Caprifoliaceae
		Yagé	<i>Banisteriopsis</i> sp	Malpighiaceae
		Verbena	<i>Verbena</i> sp	Verbenaceae
Sistema circulatorio	Reguladores de la presión	Alcachofa	<i>Cynara scolymus</i>	Asteraceae
		Chilacuan	<i>Carica candamarcensis</i>	Caricaceae
		Maracuyá	<i>Passiflora</i> sp	Passifloraceae
Post-embarazo	Aumento de leche materna	Albahaca	<i>Ocinum basilicum</i>	Lamiaceae
		Lechera	<i>Euphorbia</i> sp	Euphorbiaceae
Sistema sanguíneo	Hemorragias	Chundur de sangre	<i>Eleutheria</i> sp	Iridaceae
Limpieza corporal	Limpiar dientes y cabello	Salvia	<i>Salvia officinalis</i>	Lamiaceae
Uso social	Contra plagas	Ruda	<i>Ruta graveolens</i>	Rutaceae

inganos y kamentzá quienes participaron en el estudio. Todas estas especies provenían del agroecosistema chagra. Los taitas entrevistados las llamaban plantas mágicas por encontrarse éstas ligadas a lo ritual - religioso, a la salud espiritual, aspecto de exclusivo manejo por parte de los taitas.

Dos de las veintidós especies de plantas mágicas son también utilizadas como medicinales, se trata del yagé (*Banisteriopsis* sp) y borrachero blanco (*Brugmansia aurea* Lagerham). Se registraron los siguientes usos de las plantas mágicas: catorce especies eran utilizadas para

la suerte, cuatro contra males - enfermedades sobrenaturales; cuatro especies para curar el mal aire; cuatro como plantas de conocimiento, tres como preventivos de males; tres para limpieza tanto física como mental y espiritual, y una para hacer el mal (Tabla 3). Entre las partes de las plantas más usadas se registraron: hojas en diecisiete especies, tallo en siete especies, raíz en cuatro especies y flores en una especie (Tabla 3). Las formas de uso más frecuentes registradas fueron: amuletos con catorce especies, vía oral siete especies, perfume tres especies, mediante los soplidos y succiones por parte del taita tres especies, y riegos con tres especies (Tabla 3). Se registra-

Tabla 2. Lista de partes usadas, formas de uso y preparación de las plantas medicinales en el Valle de Sibundoy.

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Parte Usada	Forma de Uso	Prepara-ción
Amaranthaceae	<i>Alternanthera mexicana</i>	Escancel	Hojas, tallo	Tomado	Cocción macerado
Asteraceae	<i>Ambrosia</i> sp	Altamisa	Hojas	Tomado baños	Cocción, infusión
Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i>	Ajenjo	Hojas	Tomado baños	Cocción, infusión
Asteraceae	<i>Bidens</i> sp	Pacunga	Hojas, raíz, flor	Tomado	Infusión, macerado
Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i>	Caléndula	Hojas, flores	Tomado	Infusión
Asteraceae	<i>Cynara scolymus</i>	Alcachofa	Hojas	Tomado	Infusión
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i>	Manzanilla	Hojas, flores	Tomado baños	Cocción
Asteraceae	<i>Sphylantes</i> sp	Botoncillo	Raíz	Tomado	Cocción, infusión
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Hojas	Tomado	Infusión
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i>	Borraja	Hojas, flores	Tomado	Cocción
Boraginaceae	<i>Symphytum</i> sp	Confrei	Hojas	Tomado	Cocción
Caprifoliaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	Hojas, flores	Baños	Cocción, macerado
Caricaceae	<i>Carica candamarcensis</i>	Chilacuan	Fruto	Comido	Cocción
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Fruto, semilla	Comido, baños	Cocción
Cucurbitaceae	<i>Sechium</i> sp	Cidra	Fruto	Tomado	Cocción
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp	Lechera	Hojas, tallo	Tomado	Cocción
Geraniaceae	<i>Pelargonium odoratissimum</i>	Malva olorosa	Hojas	Tomado	Infusión
Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> sp	Malva alta	Hojas, flores	Tomado	Cocción
Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> sp	Malva tendida	Hojas	Tomado baño	Cocción
Iridaceae	<i>Eleutheria</i> sp	Chundur de sangre	Bulbo	Untado, emplasto	Macerado
Lamiaceae	<i>Marrubium</i> sp	Marrubio blanco	Hojas	Tomado	Infusión
Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i>	Toronjil	Hojas	Tomado, emplasto	Infusión
Lamiaceae	<i>Mentha</i> sp	Hierba buena	Hojas, tallo	Tomado	Cocción, infusión
Lamiaceae	<i>Ocimum basilicum</i>	Albahaca	Hojas, flor	Tomado	Infusión
Lamiaceae	<i>Origanum majorana</i>	Mejorana	Hojas	Tomado	Infusión
Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	Hojas	Tomado, baños	Cocción, infusión
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	Hojas	Tomado, baños	Cocción, infusión
Lamiaceae	<i>Satureia brownei</i>	Poleo	Hoja raíz tallo	Tomado	Cocción, infusión
Lamiaceae	<i>Salvia officinalis</i>	Salvia	Hojas, tallo	Tomado, baños	Cocción infusión macerado
Lamiaceae	<i>Thymus vulgaris</i>	Tomillo	Hojas	Tomado	Cocción, infusión
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Fruto	Tomado	Crudo, cocción
Liliaceae	<i>Aloe vera</i>	Sábila	Hoja	Tomado	Crudo, cocción
Linaceae	<i>Linum</i> sp	Linaza	semilla	Tomado	Cocción
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis</i> sp	Yagé	Tallo	Tomado	Cocción
Malvaceae	<i>Sida</i> sp	Verbenilla	Hojas, flores	Tomado, baños	Infusión
Mirtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp	Eucalipto	Hojas	Tomado	Infusión
Mirtaceae	<i>Psidium guajaba</i>	Guayaba	Hojas, fruto	Tomado, comido	Crudo, cocción
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i>	Amapola	Hojas, flores	Tomado, untado	Infusión
Passifloraceae	<i>Pasiflora</i> sp	Maracuyá	Fruto	Tomado, comido	Crudo
Pinaceae	<i>Cupressus</i> sp	Ciprés	Hojas	Baños	Cocción
Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp	Llantén	Toda la planta	Tomado	Cocción, infusión
Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i>	Limoncillo	Hojas	Tomado, baños	Cocción, infusión
Poaceae	<i>Zea mays</i>	Maíz	Estig-mas	Tomado	Infusión
Poligonaceae	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca	Hojas, raíz	Tomado, emplasto	Infusión, macerado
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	Hojas	Tomado	Cocción
Quenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i>	Acelga	Hojas	Comido	Cocción
Quenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosiodes</i>	Paico	Hojas	Tomado, baño	Crudo, cocción
Rosaceae	<i>Malus domestica</i>	Manzano	Hojas	Tomado	Infusión
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	Durazno	Hojas, fruto	Tomado	Infusión
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	Pera	Fruto	Comido	Crudo
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp. 1	Mora de castilla	Fruto	Comido	Cocción
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp.2	Frambuesa	Fruto	Comido	Crudo
Rutaceae	<i>Ruta graveolens</i>	Ruda	Hojas, flores	Tomado	Infusión
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> sp	Gallinaza	Hojas	Tomado, baños	Cocción
Scrophulariaceae	<i>Capraria biflora</i>	Té	Hojas	Tomado	Infusión
Scrophulariaceae	<i>Verbascum</i> sp	Siempre viva	Hojas	Tomado, emplasto	Infusión, macerado
Solanaceae	<i>Bugmansia aurea</i> Lagerham	Borrachero blanco	Hojas, flores	Baños	Cocción
Solanaceae	<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de árbol	Fruto	Tomado	Cocción
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uvilla	Hojas, fruto	Tomado	Cocción
Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>	Hierba mora	Hojas, tallo	Tomado, baños	Infusión
Umbeliferaceae	<i>Apium graveolens</i>	Apio	Hojas	Tomado	Cocción
Urticaceae	<i>Pilea</i> sp	Sitanga	Hojas	Emplasto	Infusión
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	Ortiga	Hojas	Tomado, baños, pringado	Infusión
Valerianaceae	<i>Valeriana</i> sp	Valeriana	Hojas	Tomado	Infusión
Verbenaceae	<i>Lippia citriodora</i>	Cedrón	Hojas	Tomado	Infusión
Verbenaceae	<i>Verbena</i> sp	Verbena	Hojas, flores	Tomado, baño, emplasto	Infusión, macerado
Violaceae	<i>Viola</i> sp	Violeta	Hojas, flores	Tomado	Infusión

Tabla 3. Lista de usos, parte usada, forma de uso y preparación de las plantas mágicas en el Valle de Sibundoy.

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Usos	Parte Usada	Forma de Uso	Preparación
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i>	Huarne cuyanguilla	Suerte	Hojas	Amuleto perfume	Macerado
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i> variedad	Cuyanguillo rojo	Suerte	Hojas, Tallo	Amuleto riego	Macerado
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i> variedad	Cuyanguillo blanco	Suerte	Hojas	Amuleto perfume riego	Macerado
Acanthaceae	<i>Justicia chlorostachya</i>	Hierba de trabajar	Suerte	Hojas, Tallo	Amuleto	Ninguna
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron	Quereme natural	Suerte	Hojas, Tallo	Amuleto	Ninguna
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron variedad 1	Quereme de gente	Suerte	Hojas	Amuleto	Macerado
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron variedad 2	Cuyanguillo carpintero	Suerte	Hojas	Amuleto	Ninguna
Acanthaceae	<i>Lepidagathis</i> sp	Quereme de blanco	Suerte	Hojas, Tallo	Amuleto	Ninguna
Amaranthaceae	<i>Iresine diffusa</i>	Borrachero morado	Previene mal	Hojas	Riego	Macerado
Cyperaceae	<i>Cyperus ferax</i>	Cucu chundur	Mal aire suerte	Raíz	Soplos, chupado	Masticada
Cyperaceae	<i>Cyperus niger</i>	Chundur de gente	Suerte limpieza	Raíz	Soplo chupado	Masticada
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp. 1	Tigre chundur	Mal aire previene	Raíz	Tomado amuleto	Macerado
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp. 2	Huaira chundur	Mal aire previene	Raíz	Amuleto	Ninguna
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis</i> sp	Yagé	Conocimiento contra mal	Tallo	Tomado	Cocción
Malpighiaceae	<i>Diplopteryx cabrerana</i> Cuatrecasas	Chagro panga	Conocimiento	Hojas	Tomado	Cocción
Piperaceae	<i>Peperomia fraseri</i>	Vinan grande	Suerte	Hojas	Amuleto perfume	Ninguna
Piperaceae	<i>Peperomia macrotricha</i>	Quereme contra	Contra y hace mal	Hojas	Tomado	Macerado
Piperaceae	<i>Peperomia rotundifolia</i>	Vinan de plata	Suerte	Hojas, Tallo	Amuleto	Ninguna
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp. 1	Tigrecillo	Suerte	Hojas	Amuleto	Masticada
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp. 2	Condor vinan	Suerte	Hojas, Tallo	Tomado	Masticada
Solanaceae	<i>Brugmansia aurea</i> Lagerham	Borrachero blanco	Conocimiento contra mal	Hojas, Flores	Tomado amuleto	Masticada
Solanaceae	<i>Brugmansia aurea</i> variedad	Munchiro borrachero	Contra mal	Hojas	Tomado	Masticada

ron las siguientes formas de preparación: maceración en nueve especies; ningún proceso de preparación en ocho especies; masticado por parte del taita, en el momento de la realización de la limpieza durante el ritual del yagé, tres especies; y cocción en dos especies. Todas las formas de preparación eran complementadas con rezos y conjuros por parte del taita, efectuados durante el ritual del yagé, al cual se encuentran relacionadas el uso de éstas plantas mágicas (Tabla 3).

Sistema de manejo de las plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema chagra. La chagra es un espacio en el cual se ha desarrollado un tipo de agricultura original y tradicional a través del manejo de gran cantidad de especies de plantas y mediante la crianza integral, interactuante y sostenida de los diferentes elementos del paisaje natural, satisfaciendo así necesidades alimenticias y de materias primas.

La fuente de agua utilizada en las chagras es de la respectiva quebrada más cercana. Las aguas residuales son recogidas en alcantarillados, que a su vez son vertidas en los canales construidos por el Incora en 1969. Por otro lado, la fuente de energía es, básicamente, la leña. Las semillas utilizadas por los taitas y sabedoras, son en su mayoría semillas criollas conservadas en la chagra, tales como: papa, frijol, habas, cunas, verduras y hortalizas en general, las medicinales y mágicas.

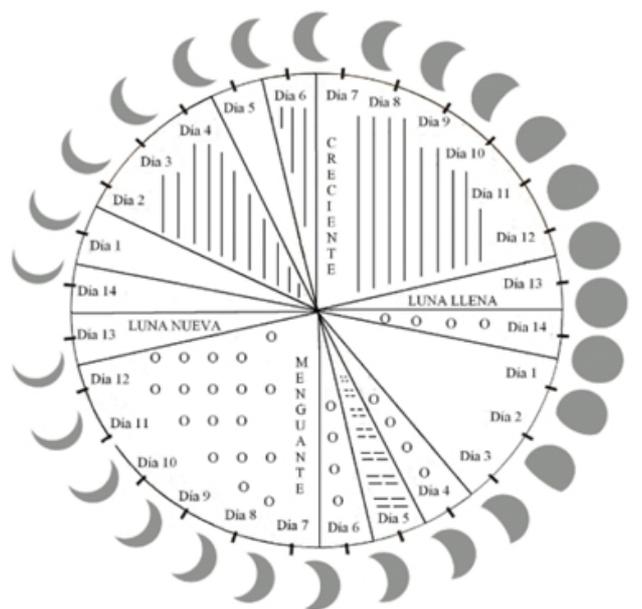
En cuanto a la cría de animales, en la chagra se crían pollos de corral, gallinas de campo, cuyes, conejos y cerdos, los cuales a su vez son alimentados con hierbas de la misma chagra. La siembra en la chagra es realizada en eras, aprovechando así los diferentes espacios. La tenencia de la tierra es familiar.

Manejo del agroecosistema chagra tradicional. Las etnias ingas, kamentzá y quillacinga realizan el manejo del tiempo de siembra y cosecha basado en el conocimiento de las diferentes fases de la luna (Figura 1), y de las épocas climáticas (Tabla 4). El manejo del suelo de la chagra se encuentra estrechamente relacionado con la tecnología de manejo empleada, la cual es manual; los insumos empleados son de tipo orgánico, provenientes de los excrementos de los animales criados en la chagra, también de la hojarasca combinada con ceniza y utilizada como abono; no utilizan ningún tipo de insecticida, ya que los mismos animales de la chagra llevan a cabo esta función sirviendo como controladores orgánicos. La chagra es un sistema basado en el reciclaje, todos los residuos orgánicos son incorporados al suelo, restituyendo los nutrientes absorbidos por las plantas.

El manejo del espacio en la chagra se realiza a manera de cultivos asociados o policultivos rotativos. Es característico de las tres etnias, que las labores sean realizadas en familia. “Así esta forma de producir mantiene unida la

Tabla 4. Calendario Agrícola del Valle de Sibundoy.

Mes	Actividad Agrícola	Actividad Cultural
Mayo	Siembra de maíz; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Junio	Siembra de hortalizas. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Julio	Siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Agosto	Siembra de frijol; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Septiembre	Siembra de frijol; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Octubre	Siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Noviembre	Siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	Ofrenda de muertos
Diciembre	Siembra de papa, tomate de carne; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Enero	Cosecha de manzano; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Febrero	Cosecha de maíz; siembra y cosecha de frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	Carnaval indígena
Marzo	Cosecha maíz, papa; deshoje manzano; siembra-cosecha frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	
Abril	Cosecha frijol, papa; deshoje manzano; siembra-cosecha frutales. Siembra y recolección de plantas medicinales y mágicas.	



O Plantas frutales. — Maíz y Rosas. || Plantas medicinales, Hortalizas y Ornamentales.

Figura 1. Calendario agrícola lunar del Valle de Sibundoy.

Fuente: Rodríguez-Echeverry

familia, da identidad, autonomía y autoabastecimiento” (Agreda, com. pers.).

Manejo de las plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema chagra tradicional. De las ochenta y siete especies de plantas registradas, setenta tenían nivel de manejo cultivado y diecisiete manejo silvestre tolerado (Tabla 5). Cincuenta especies registraron tipo de manejo individual asociado y treinta y siete tipo de manejo poblacional asociado (Tabla 5). De las setenta especies con nivel de manejo cultivado, treinta y cinco especies tenían tipo de manejo individual asociado, y treinta y cinco especies tipo de manejo población asociada (Tabla 5). De las diecisiete especies con nivel de manejo silvestre tolerado, quince especies tenían tipo de manejo individual asociado, siendo plantas no cultivadas que las dejan crecer de manera individual y dispersa en la chagra, y dos especies, un número muy pequeño, son toleradas en población, esto debido a su constante uso (Tabla 5). Es de resaltar que de las veintidós especies de plantas mágicas, dieciséis tenían nivel y tipo de manejo cultivada-individual asociada, cuatro cultivada-población asociada, y solo dos especies silvestre tolerada-individual asociada (Tabla 5).

Tabla 5. Lista de Nivel y Tipo de Manejo de las plantas medicinales y mágicas en el agrosistema Chagra en el Valle de Sibundoy.

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Nivel de Manejo	Tipo de Manejo
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i>	Huarme cuyanguilla	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i> variedad	Cuyanguillo rojo	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Higrophylla titta</i> variedad	Cuyanguillo blanco	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Justicia chlorostachya</i>	Hierba de trabajar	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron	Quereme natural	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron variedad 1	Quereme de gente	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Justicia stuebelli</i> Hieron variedad 2	Cuyanguillo carpintero	Cultivado	Individual asociado
Acanthaceae	<i>Lepidagathis</i> sp	Quereme de blanco	Cultivado	Individual asociado
Amaranthaceae	<i>Iresine diffusa</i>	Borrachero morado	Cultivado	Individual asociado
Amaranthaceae	<i>Alternanthera mexicana</i>	Escancel	Cultivado	Individual asociado
Asteraceae	<i>Ambrosia</i> sp	Altamisa	Cultivado	Población asociada
Asteraceae	<i>Artemisia absinthium</i>	Ajenjo	Cultivado	Individual asociado
Asteraceae	<i>Bidens</i> sp	Pacunga	Silvestre tolerado	Población asociada
Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i>	Caléndula	Cultivado	Población asociada
Asteraceae	<i>Cynara scolymus</i>	Alcachofa	Cultivado	Población asociada
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i>	Manzanilla	Cultivado	Población asociada
Asteraceae	<i>Sphylantes</i> sp	Botoncillo	Silvestre tolerado	Individual asociado
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Silvestre tolerado	Individual asociado
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i>	Borraja	Cultivado	Población asociada
Boraginaceae	<i>Symphytum</i> sp	Confrei	Cultivado	Población asociada
Caprifoliaceae	<i>Sambucus nigra</i>	Saúco	Cultivado	Individual asociado
Caricaceae	<i>Carica candamarcensis</i>	Chilacuan	Cultivado	Individual asociado
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza	Cultivado	Ind. asociado
Cucurbitaceae	<i>Sechium</i> sp	Cidra	Cultivado	Ind. asociado
Cyperaceae	<i>Cyperus ferax</i>	Cucu chundur	Cultivado	Población asociada
Cyperaceae	<i>Cyperus niger</i>	Chundur de gente	Cultivado	Población asociada
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp. 1	Tigre chundur	Cultivado	Población asociada
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp. 2	Huaira chundur	Cultivado	Población asociada
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i> sp	Lechera	Silvestre tolerado	Población asociada
Geraniaceae	<i>Pelargonium odoratissimum</i>	Malva olorosa	Cultivado	Individual asociado
Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> sp	Malva alta	Cultivado	Ind. asociado
Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> sp	Malva tendida	Cultivado	Individual asociado
Iridaceae	<i>Eleutheria</i> sp	Chundur de sangre	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Marrubium</i> sp	Marrubio blanco	Silvestre tolerado	Individual asociado
Lamiaceae	<i>Melissa officinalis</i>	Toronjil	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Mentha</i> sp	Hierba buena	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Ocinum basilicum</i>	Albahaca	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Origanum majorana</i>	Mejorana	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Origanum vulgare</i>	Orégano	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	Cultivado	Individual asociado
Lamiaceae	<i>Satureia brownei</i>	Poleo	Cultivado	Población asociada
Lamiaceae	<i>Salvia officinalis</i>	Salvia	Cultivado	Ind. asociado
Lamiaceae	<i>Thymus vulgaris</i>	Tomillo	Cultivado	Población asociada
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate	Cultivado	Individual asociado
Liliaceae	<i>Aloe vera</i>	Sábila	Cultivado	Población asociada
Linaceae	<i>Linum</i> sp	Linaza	Cultivado	Población asociada
Malpighiaceae	<i>Banisteriopsis</i> sp	Yagé	Cultivado	Individual asociado
Malpighiaceae	<i>Diplopterys cabrerana</i> Cuatrecasas	Chagro panga	Cultivado	Individual asociado

Continuación Tabla 5

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Nivel de Manejo	Tipo de Manejo
Malvaceae	<i>Sida</i> sp	Verbenilla	Silvestre tolerado	Individual asociado
Mirtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp	Eucalipto	Silvestre tolerado	Individual asociado
Mirtaceae	<i>Psidium guajaba</i>	Guayaba	Cultivado	Individual asociado
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i>	Amapola	Cultivado	Población asociada
Passifloraceae	<i>Passiflora</i> sp	Maracuyá	Cultivado	Ind. asociado
Pinaceae	<i>Cupressus</i> sp	Ciprés	Silvestre tolerado	Individual asociado
Piperaceae	<i>Peperomia fraseri</i>	Vinan grande	Cultivado	Individual asociado
Piperaceae	<i>Peperomia macrotricha</i>	Quereme contra	Cultivado	Individual asociado
Piperaceae	<i>Peperomia rotundifolia</i>	Vinan de plata	Cultivado	Individual asociado
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp. 1	Tigrecillo	Cultivado	Ind. asociado
Piperaceae	<i>Peperomia</i> sp. 2	Condor vinan	Cultivado	Ind. asociado
Plantaginaceae	<i>Plantago</i> sp	Llantén	Silvestre tolerado	Individual asociado
Poaceae	<i>Cymbopogon citratus</i>	Limoncillo	Cultivado	Población asociada
Poaceae	<i>Zea mays</i>	Maíz	Cultivado	Población asociada
Poligonaceae	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca	Silvestre tolerado	Individual asociado
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga	Cultivado	Población asociada
Quenopodiaceae	<i>Beta vulgaris</i>	Acelga	Cultivado	Población asociada
Quenopodiaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Paico	Silvestre tolerado	Individual asociado
Rosaceae	<i>Malus domestica</i>	Manzano	Cultivado	Población asociada
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	Durazno	Cultivado	Ind. asociado
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i>	Pera	Cultivado	Individual asociado
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp. 1	Mora de castilla	Cultivado	Individual asociado
Rosaceae	<i>Rubus</i> sp. 2	Frambuesa	Cultivado	Población asociada
Rutaceae	<i>Ruta graveolens</i>	Ruda	Cultivado	Población asociada
Rutaceae	<i>Zanthoxylum</i> sp	Gallinaza	Cultivado	Población asociada
Scrophulariaceae	<i>Capraria biflora</i>	Té	Cultivado	Población asociada
Scrophulariaceae	<i>Verbascum</i> sp	Siempre viva	Cultivado	Población asociada
Solanaceae	<i>Brugmansia aurea</i> Lagerham	Borrachero blanco	Silvestre tolerado	Individual asociado
Solanaceae	<i>Brugmansia aurea</i> variedad	Munchiro borrachero	Silvestre tolerado	Individual asociado
Solanaceae	<i>Cyphomandra betacea</i>	Tomate de árbol	Cultivado	Individual asociado
Solanaceae	<i>Physalis peruviana</i>	Uvilla	Cultivado	Población asociada
Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>	Hierba mora	Silvestre tolerado	Individual asociado
Umbeliferaceae	<i>Apium graveolens</i>	Apio	Cultivado	Población asociada
Urticaceae	<i>Pilea</i> sp	Sitanga	Silvestre tolerado	Ind. asociado
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	Ortiga	Silvestre tolerado	Ind. asociado
Valerianiaceae	<i>Valeriana</i> sp	Valeriana	Cultivado	Población asociada
Verbenaceae	<i>Lippia citriodora</i>	Cedrón	Cultivado	Población asociada
Verbenaceae	<i>Verbena</i> sp	Verbena	Silvestre tolerado	Ind. asociado
Violaceae	<i>Viola</i> sp	Violeta	Cultivado	Ind. asociado

Cosmovisión: contexto de uso y manejo. A continuación se describe la forma de ver y considerar el universo, la naturaleza, contexto dentro del cual se llevan a cabo el uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas, y su relación con la construcción ambiental.

Cosmograma: La visión del universo por parte de las tres etnias que habitan el Valle de Sibundoy, se condensa

y se particulariza en una visión en la que se habla de un ser supremo (espíritu), quien entrega energía a la creación entera; a través del “Padre Sol” la energía suprema llega a la “Madre Tierra”, ésta la canaliza para parir el mundo vegetal, plantas alimenticias, medicinales y de conocimiento, estas últimas consideradas madre de todas las plantas. La “Madre Tierra” fecundada por el “Padre Sol” da al mundo animal, alimento, vestido y medicina. Del mundo animal

proviene el hombre y en un plano diferente al que éste se encuentra esta la región de los espíritus (Figura 2). El yagé es la planta madre, es la puerta de acceso a la visión del cosmos, la cual es vegetal, y tiene como finalidad la salud

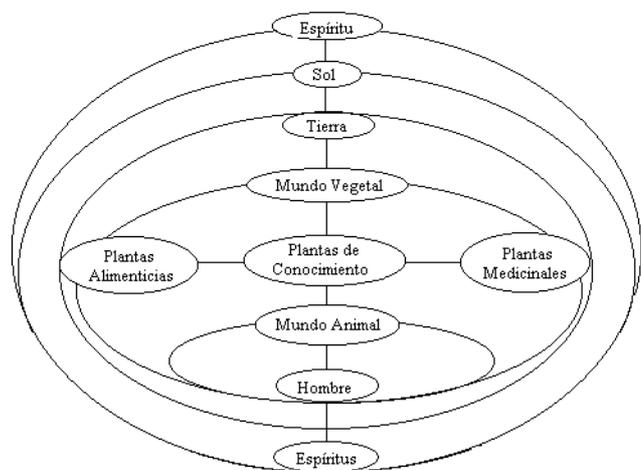


Figura 2. Visión del universo por parte de Ingas, Kamentzá y Quillacingas. Fuente: Rodríguez-Echeverry

y el saber vivir en armonía con el cosmos. Los tres grupos étnicos se caracterizan por tener una visión del universo a partir del yagé, de la cual se desprende su forma de concebir y vivir el mundo.

Construcción ambiental. El ambiente es concebido como la integración de lo natural, social y cultural, como la integración del territorio habitado por la memoria, por las experiencias de las comunidades, por los seres que existieron y que existen, integración que abarca desde lo mental, espiritual y lo físico del hombre y la mujer indígena. La construcción de ambiente es concebida por los taitas y conecedoras como el trabajar por las diferentes partes (lo natural, social, cultural) desde alguna de ellas, re-creando la memoria y las experiencias de las comunidades, beneficiándose directa e implícitamente las partes restantes, en especial el hombre y la mujer indígena que son el producto y promotores de los cambios a realizar. La Figura 3, es una representación gráfica idealizada de una propuesta de “Modelo de Construcción Ambiental” a partir de las observaciones de uso y manejo tradicional de las plantas medicinales y mágicas entre las etnias kamentzá, inga y quillacinga. En esta representación el yagé (*Banisteriopsis*

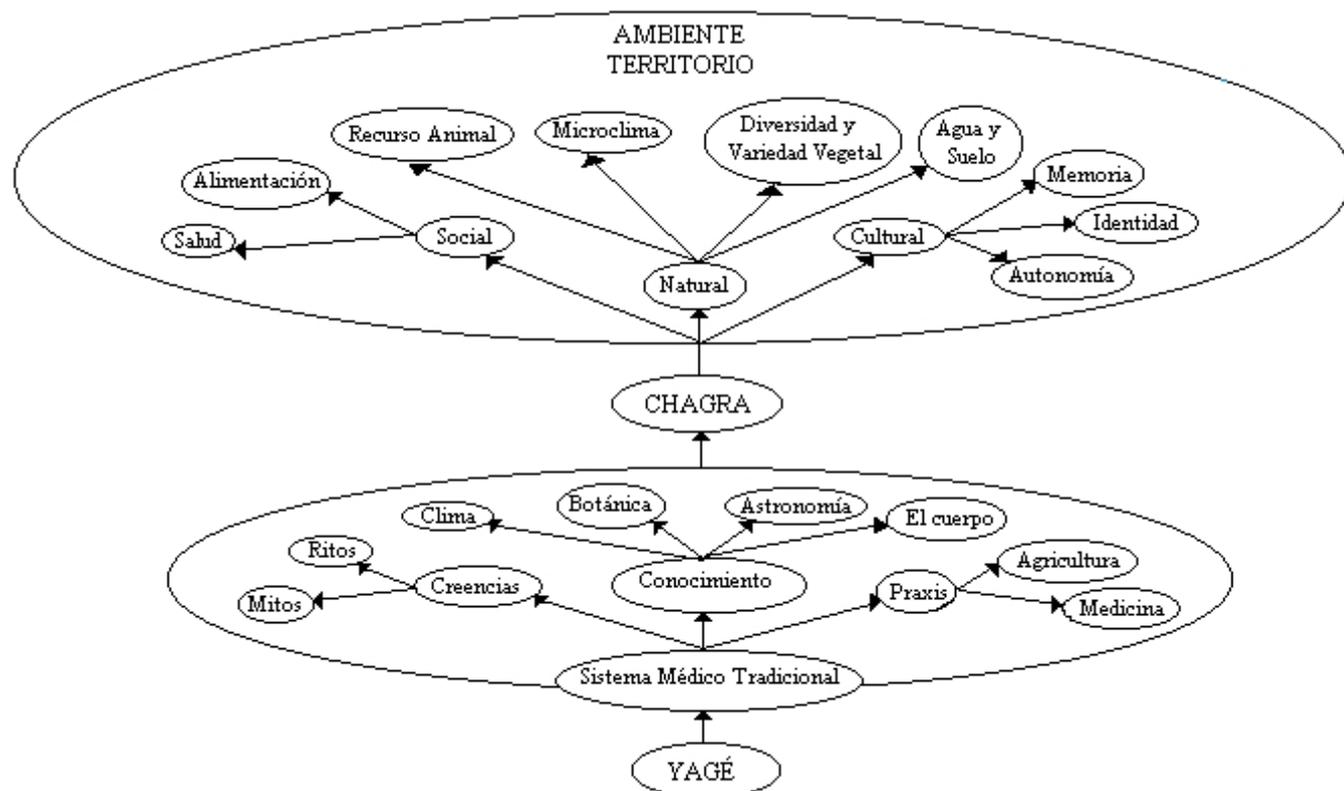


Figura 1. Modelo de construcción ambiental a partir del uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema chagra en el Valle de Sibundoy. Fuente: Rodríguez-Echeverry

sp), es la planta de conocimiento a través de la cual se genera y re-crea: el sistema médico tradicional constituido por un conjunto de creencias (mitos, ritos), conocimientos (clima, botánica, astronomía, el cuerpo humano), praxis (agricultura, medicina), y bajo el cual se realizan las prácticas cotidianas de uso y manejo tradicional de las plantas medicinales y mágicas dentro del agroecosistema chagra; y la cosmovisión, desde la cual las comunidades conciben y trabajan (a través de la chagra) el ambiente, en el que se integra lo social (salud, alimentación), natural (diversidad y variedad vegetal, recurso animal, microclima, agua y suelo), y cultural (memoria, identidad y autonomía). De esta manera la chagra es el espacio desde el cual las comunidades trabajan cotidianamente en pro de mejores condiciones ambientales, constituyéndose en parte fundamental del modelo planteado.

Discusión

Uso de plantas medicinales. Existe en el Valle de Sibundoy un valioso conocimiento tradicional y uso de las plantas medicinales con las cuales eran tratadas gran variedad de afecciones de los sistemas digestivo, genitourinario, nervioso, respiratorio, esquelético-muscular, metabólico, sensorial, circulatorio, sanguíneo, piel, inflamaciones, envenenamientos, post-embarazo, limpieza corporal, aspectos nutricionales y uso social. Por lo tanto, el uso de las plantas medicinales presta un servicio constante y preventivo de salud. De esta manera, la conservación y uso de las plantas medicinales contribuyen a mejorar la calidad de vida de las comunidades indígenas en el Valle de Sibundoy.

Las hojas eran la parte de las plantas más utilizadas para contrarrestar diferentes enfermedades. En ese sentido, el médico tradicional indígena conocía que parte específica de la planta servía para tratar una determinada afección y asegurar un buen resultado en el tratamiento. Entre las formas de uso las más frecuentes fue la vía oral, la cual, de acuerdo con el taita F. Agreda (com. pers.), facilita una asimilación más rápida de la parte de la planta suministrada.

Las formas de preparación de las plantas medicinales eran realizadas de manera específica de acuerdo con una particular afección a tratar. La especificidad de las formas de preparación proveía un óptimo resultado en los tratamientos.

Las especies de plantas medicinales en orden de mayor uso e importancia terapéutica eran las de las familias: Lamiaceae, Asteraceae, Rosaceae, Solanaceae y Geraniaceae. Las especies registradas para las familias

Lamiaceae, Asteraceae (a excepción de *Ambrosia* sp), Rosaceae y Geraniaceae, eran todas de origen no americano. Se desconoce quién las introdujo al Valle de Sibundoy y si el uso fue atribuido por los españoles colonizadores o por los indígenas una vez conocieron las plantas. Sin embargo, lo anterior evidencia la asimilación, difusión y práctica de un conocimiento de uso que enriquece y dinamiza la praxis del sistema médico tradicional indígena.

Las plantas medicinales con hábito de crecimiento de hierba eran las más empleadas y sobre ellas existía un mayor conocimiento de sus propiedades, en cuanto al poder curativo se refiere.

La efectividad de los tratamientos tendía a aumentar cuando los taitas y conecedoras realizaban la mezcla de diferentes tipos de plantas medicinales, lo cual le daba una mayor potencia al remedio combatiendo a su vez otras posibles dolencias.

Se compararon las plantas medicinales registradas en la investigación con las estudiadas por **Hoyos & Prieto** (2000) y **Giraldo** (2000), investigaciones realizadas también en el Valle de Sibundoy. Se encontraron cincuenta y dos géneros utilizados igual o de forma diferente y veintitrés especies registradas en la literatura con usos similares.

Uso de plantas mágicas. Se registró un número significativo de especies de plantas mágicas, al ser estas casi la cuarta parte del total de especies de plantas más usadas y manejadas por taitas. De acuerdo con **Hoyos & Prieto** (2000), todas las especies registradas eran nativas de la región, lo cual ayuda a reafirmar que el Valle de Sibundoy es uno de los lugares en el mundo que tiene una considerable concentración de plantas mágicas cultivadas y un valioso saber tradicional relacionado con éstas.

Se observó un amplio conocimiento y uso de plantas mágicas, las cuales, de acuerdo con **Hoyos & Prieto** (2000) y **Giraldo** (2000), ayudan a prevenir o contrarrestar diferentes enfermedades de tipo cultural como el mal aire, que son producidos por los difuntos y pueden ser adquiridos durante las jornadas de caminata a través de los bosques y páramos.

Las hojas eran la parte de las plantas más utilizadas, al poseer éstas, según el taita H. Jojoa (com. pers.), una fuerza específica de la planta para tratar un fin deseado.

Las formas de uso más frecuentes fueron los amuletos, los cuales en su mayoría eran hojas que habían sido conjuradas, en el nombre de la persona quien lo portaría, por parte del taita. Un número significativo de especies de plantas mágicas tenían como forma de uso los amuletos, ya

que la “suerte” sobresalía y se asociaba con todas las actividades de la vida cotidiana indígena.

Las plantas suministradas por vía oral debían de ser tomadas en dosis específicas, bajo la orientación y cuidado del taita debido a la alta toxicidad y a los diferentes estados de trance en los que se podía entrar, como era el caso del andaquí (*Brugmansia aurea* Lagerham).

Todas las formas de preparación de las plantas mágicas eran complementadas con rezos y conjuros por parte del taita, efectuados durante el ritual del yagé, al cual se encuentran relacionadas con el uso de las plantas mágicas.

Las familias de plantas mágicas en orden al mayor número de especies usadas eran, Acanthaceae, Piperaceae, Cyperaceae, Malpighiaceae, Solanaceae y Amaranthaceae. Las especies de plantas mágicas más usadas eran las de la familia Acanthaceae y Malpighiaceae, lo cual, de acuerdo con los usos, evidencia la importancia cultural de la “suerte” en la vida cotidiana para las comunidades indígenas, y la obtención de conocimiento para la re-creación del sistema médico tradicional e interacción armónica con el medio ambiente.

Se compararon las plantas mágicas registradas en la investigación con las estudiadas por **Hoyos & Prieto** (2000) y **Giraldo** (2000), investigaciones realizadas en la misma zona. Se encontraron cinco géneros utilizados de igual forma, seis de forma diferente, y trece especies registradas en la literatura con usos similares. Esto evidencia la vigencia y difusión de conocimientos, algunas veces transformados, en busca de respuestas ante la presencia de diferentes enfermedades.

La exclusividad del uso y manejo cultural de las plantas mágicas por parte de los taitas se debe a que son ellos quienes conocen y manejan misterios en relación al contacto con “espíritus”, también mencionados por **Ruiz et al.**, (1990). Estos misterios son aprendidos mediante un taita guía y el consumo del yagé (*Banisteriopsis* sp), planta de mayor importancia cultural, a través de la cual se crea y re-crea el sistema médico tradicional, la visión del universo, y aprenden la manera de interactuar armónicamente con el medio ambiente. En síntesis, tanto las plantas medicinales como las mágicas son elementos culturales en las que “reposa” un conjunto de creencias y conocimientos, y mediante las cuales se lleva a cabo las prácticas que mantienen procesos sociales, culturales y naturales en estas comunidades.

Manejo del agroecosistema chagra tradicional. Las tres etnias presentan un manejo del tiempo, en lo que respecta al manejo de la chagra, natural y muy tradicional al basarse en el conocimiento de las interrelaciones de las épocas de

lluvia, verano y períodos intermedios; y un entendimiento profundo de la luna en sus diferentes fases. Existe en los calendarios de las comunidades estudiadas una sincronización del individuo con los ciclos y patrones de la tierra, luna y las estrellas como el Sol. Observándose así el grado de integralidad del individuo con las diferentes energías provenientes del cosmos, existiendo una unidad de medida mental y natural completamente igual, lo cual genera armonía. Es el calendario agrícola lunar de las comunidades el que mantiene un orden del tiempo en secuencia, lo cual influye para que se mantenga conservada la memoria, formas mentales y hábitos de siembra y cosecha, llevando a cabo una total sincronización.

Se realizaron comparaciones del calendario agrícola del Valle de Sibundoy con el de otras comunidades indígenas colombianas. Se encontró similitud con el calendario agrícola de la comunidad Páez (Nasa) de Tierradentro-Nororiente Caucaño (**Sanabria**, 2001). La similitud encontrada consistió en el manejo del tiempo de las actividades de siembra y cosecha de gran variedad de cultivos determinados por cuatro épocas: sin lluvias, con lluvias, veranillo y entre lluvias, que son tiempos intermedios entre las dos primeras respectivamente, y la complementariedad de los cultivos a partir del ciclo del maíz. Al estar el calendario agrícola del Valle de Sibundoy determinado por el ciclo del maíz, diversas plantas juegan un papel complementario fundamental en la diversidad de cultivos y en la variedad de plantas medicinales, mágicas y alimenticias criadas en el agroecosistema chagra. Además el calendario agrícola es una interpretación, no solamente de las actividades agrícolas a partir de los cultivos principales, sino un manejo de los factores climáticos y cosmogónicos interrelacionados, a lo cual le corresponden el carnaval indígena y fiestas religiosas.

De acuerdo con la **Unión Europea y Universidad del Valle** (1994), quienes trabajaron en “Recuperación de saberes y Derechos Humanos” en el Valle de Sibundoy, la forma de manejo de la chagra, y en contraste con las realizadas por la agricultura moderna, es una forma de manejo tradicional que re-crea la memoria, y permite una crianza integral, interactuante y sostenida del suelo, el agua, el microclima y del paisaje en general.

El manejo dado a las plantas medicinales y mágicas más empleadas, se encuentra estrechamente ligado con el manejo integral dado a la chagra, la cual se convierte en ese espacio que permite la relación hombre-entorno y la satisfacción de necesidades alimenticias y medicinales.

Manejo de las plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema chagra tradicional. La mayoría de las plan-

tas mágicas son cultivadas de manera individual, indicando esto el gran número de plantas mágicas cultivadas en la región, y la existencia de un saber ancestral aún latente que brinda la permanencia tanto de las plantas como del mismo saber. Es de destacar que las cuatro especies cultivadas en población asociada, son todas de la familia Cyperaceae y son de constante y exclusivo uso de los taitas en sus diferentes tratamientos y rituales, por ende la importancia de su cultivo en población. Las dos únicas especies mágicas silvestres tolerada-individual asociada, son de la familia Solanaceae, especies las cuales son plantas de conocimiento usadas y manejadas exclusivamente por los taitas de la región.

Se registró un número “equilibrado” en la forma del tipo de manejo en lo que respecta a las especies cultivadas, indicando esto cierta compensación dentro de la dinámica de la chagra.

Se comparó con la investigación realizada a nivel de chagra en la comunidad Yukuna (**Van der Hammen**, 1992). Se encontró que de igual manera se reporta la importancia y significado de la relación comunidad-plantas cultivadas, enmarcando patrones socio-culturales, normas tradicionales, formas de producción, origen y herencia del pensamiento de las plantas cultivadas, y ante todo evidenciando toda una red de asociaciones que reflejan, de cierta manera la cosmovisión de los grupos étnicos, punto de origen y partida para el manejo del entorno, en referencia a los espacios habitados ancestralmente.

Cosmovisión - contexto de uso y manejo

Cosmograma: Al comparar la visión del universo con la que tienen comunidades indígenas también de los Andes Colombianos, como la comunidad Páez de Tierradentro, en la cual, según **Hernández y López** (1993), también ven y consideran en su cosmos, en su mundo, al “Sol”, a la “Tierra” (Kwes’Kiwe), en donde se desarrolla toda la cotidianidad del hombre y la mujer indígena, los animales y las plantas sobresaliendo las de uso medicinal y comestibles, la región de los espíritus desde donde brotan energías positivas y negativas hacia este mundo, y la presencia de Ksá’w, máximo Dios, del cual uno de sus hijos mayores es el “Sol”. Esta visión está ordenada en tres grandes capas verticales, “lo que está arriba”, “Nuestra Tierra”, y “lo que está abajo”, orden similar a la tenida por los taitas kamentzá e inga. La principal diferencia encontrada, de gran importancia y particularidad en esta comparación, es que las comunidades indígenas que habitan el Valle de Sibundoy tienen un “foco” vegetal para ver e interactuar con el Universo, siendo este el yagé (*Banisteriopsis* sp).

De acuerdo con **Zulúaga** (1994), el saber botánico de los indígenas del Valle de Sibundoy, ocupa un importante lugar dentro de la visión del cosmos, al ser éste la puerta de acceso a la interpretación e interacción con el universo, y dentro del desarrollo histórico y cultural de sus comunidades, estando así, de ésta forma la cultura condicionada por el mundo vegetal.

Construcción Ambiental. Las prácticas cotidianas de uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas bajo el sistema médico tradicional, realizadas en el agroecosistema chagra, son el medio por el cual el hombre indígena trabaja para tener mejores condiciones sociales (salud y la alimentación), naturales (permanencia y aumento de la diversidad y variedad vegetal, del recurso animal, del agua, el suelo, el microclima, entre otras), y culturales (mantener y re-crea la memoria, se fomenta y mantiene la identidad y autonomía). Así, el agroecosistema chagra es el medio a través del cual las comunidades construyen ambiente. Medio que evidencia la forma tecnológica y cultural de adaptación al medio por parte de las tres etnias. En el cual, de acuerdo con **Angel-Maya** (1996), depende la búsqueda de salidas viables a la problemática ambiental.

En estas prácticas tradicionales, relacionadas con la construcción ambiental, hacen parte, como también lo ha definido **Toledo** (2001), de la generación de autogestión y autodeterminación de un pueblo, desarrollando procesos de carácter endógeno, por medio de los cuales una comunidad toma (o recupera) el control de los procesos que la determinan y la afectan, es decir, crea y dirige sus propios procesos de desarrollo comunitario sustentable. Procesos dentro de los cuales se aprecia las complejas relaciones entre ecosistema y cultura, la forma tecnológica y cultural de adaptación al medio, como en el caso de las comunidades estudiadas es el agroecosistema chagra. La relación agroecosistema chagra-saber tradicional indígena hace parte de ese complejo de relaciones ecosistema-cultura, que en el caso estas, poseen gran valoración ambiental y son a su vez fuentes valiosas que evidencian las relaciones que han existido y continúan existiendo entre los lasos culturales y la naturaleza, en donde la conservación de los elementos culturales dependen directamente de la conservación de los elementos naturales, como las plantas medicinales y mágicas, y viceversa. Al comparar estas relaciones, con las efectuadas por **Toledo** (2001) en sus investigaciones realizadas entre las comunidades indígenas de México y Centro América, concordamos en lo que él ha llamado “conservación simbiótica”, concepto convergente de diversidad biocultural, en donde la diversidad biológica y cultural son mutuamente dependientes y geográficamente coterráneas. Esta relación implica que en

la medida que se proteja la diversidad cultural se protegerá la diversidad biológica y viceversa.

En síntesis, a través del uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas las etnias ven y crean su cosmovisión, estructuran el conjunto de conocimientos y prácticas cotidianas. Para estas etnias el uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas es eje estructural a partir del cual generan y mantienen el ambiente, al trabajar desde el aspecto cultural se re-crea y mantiene el natural, a su vez contribuyen al social, o de manera reciproca al trabajar desde alguno de ellos. Así, el modelo de construcción ambiental a partir del uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas en el agroecosistema chagra, investigado desde el sistema médico tradicional y las prácticas cotidianas que involucran valoración ambiental, aporta información contextualizada de integración natural, social y cultural, que refleja conocimientos del entorno, elementos, procesos y ciclos. Importante información ambiental que aporta en la calidad de las acciones de planificación regional.

Conclusiones

Las etnias kamentzá, inga y quillacinga se caracterizan por tener una visión del universo, en la cual, el yagé (*Banisteriopsis* sp), es la planta madre, sagrada y reveladora, mediante la cual generan y re-crean su cosmovisión, rituales y la cultura médica que brinda de manera integral la prevención y tratamientos a un importante número de enfermedades de índole orgánico y espiritual.

Las plantas son elementos culturales, desde los cuales se generan y tejen las diversas relaciones de estas comunidades indígenas que habitan el Valle de Sibundoy.

En cuanto al uso y manejo de las plantas medicinales y mágicas más empleadas por parte de las tres etnias, no existen diferencias entre éstas al respecto, al poseer las tres un conocimiento similar tanto de uso, esto quizás por convivir en la misma región con el mismo recurso vegetal y conocerlo de forma similar; como también de manejo, al conocer cuales plantas son cultivables y cuáles de las silvestres se pueden tolerar por tener éstas algún uso medicinal.

El Valle de Sibundoy es un sitio con una considerable concentración de plantas mágicas cultivadas y es una gran reserva de conocimiento botánico, esto gracias no solo a la ubicación geográfica y condiciones climáticas, entre otras, sino también a la memoria indígena, ya que a través de la cotidianidad las comunidades han vivido conociendo y entendiendo su entorno, creando su cosmos,

llevándose a cabo de esta manera la estrecha relación planta-saber, la cual provee la permanencia tanto de una como de la otra.

Las prácticas tradicionales de manejo de las plantas medicinales y mágicas realizadas por las tres etnias indígenas que habitan el Valle de Sibundoy, se basan en pautas similares, en cuanto concierne al agroecosistema chagra, lográndose apreciar un manejo tradicional común en las tres comunidades, el cual evidencia una forma tecnológica y cultural de adaptación al medio.

La chagra es eje o punto de partida desde donde las comunidades construyen ambiente, ya que desde ésta se trabaja por el bienestar natural, social y cultural en la región. Por lo tanto, la chagra tradicional refleja la estrecha relación de tres etnias con el medio ambiente y brinda alternativas viables para el mejoramiento de condiciones ambientales y sociales.

Los procesos de construcción ambiental en el Valle de Sibundoy se relacionan con el uso y manejo tradicional de plantas medicinales y mágicas, bajo un sistema médico tradicional, jugando estas prácticas cotidianas un papel de gran valor y significancia, por su importancia dentro de la concepción de salud completamente integrada al ambiente, y como puerta de acceso a la visión del cosmos, de la cual se desprende la asimilación, entendimiento e interacción con el mundo exterior.

Agradecimientos

Agradezco a los taitas José Guatinjoy y Florentino Agreda, a las sabedoras Carmela Pejendino, Margarita Chasoy, y Concepción Juajibioy por enseñar y confiar su saber. A la Dra. Olga Lucía Sanabria Diago y al Dr. Mauro Vega Bendezú por la orientación brindada. Al Dr. Philip A. Silverstone-Sopkin y al Herbario de la Universidad del Valle por la ayuda prestada en la determinación de las plantas reportadas en la investigación. Al apoyo brindado por el Fondo Mundial para la Conservación de la Naturaleza (WWF), Red de Reservas Naturales de la Sociedad Civil, Fundación Ecoamazonía y al grupo Ecoideas. Agradezco muy especialmente a mi familia por su apoyo y comprensión.

Bibliografía

- Alexiades, MN.** 1996. Selected Guidelines for ethnobotanical Research: A field manual. The New York Botanical Garden, Nueva York.
- Ángel-Maya, A.** 1996. La Trama de la Vida. Las bases ecológicas del pensamiento ambiental. Cuadernos Ambientales Ministerio de Educación Nacional. No I, II, III. (Serie Ecosistema y Cultura). Bogotá.

- Arango, D. & Sánchez, G.** 1997. Los pueblos indígenas de Colombia (Población y Territorio). Departamento Nacional de Planeación DNP. Bogotá.
- Bello, J.** 1997. El Valle de Sibundoy y su transformación agropecuaria. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y adecuación de tierras HIMAT. Bogotá.
- Bristol, M.** 1965. Sibundoy Ethnobotany. Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- Cook, F.** 1995. "Economic Botany" Data collection standard. Royal Botanic Gardens Kew. London.
- Daza, W.** 1996. Los indios Sibundoyes: Visión, plantas y arte. Universidad del Cauca, Facultad de Humanidades. Popayán.
- Espinal, LS.** 1967. Apuntes sobre Ecología Colombiana. Universidad del Valle, Departamento de Biología. Cali.
- Friedemann, N. & Arocha, J.** 1982. Herederos del jaguar y la anaconda. Valencia Editores. Bogotá.
- Giraldo, C.** 2000. Medicina Tradicional de la Mujer Inga. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales **90**: 5-23.
- Guevara, RD.** 1995. Percepción cosmogónica de la etnobotánica de los Ingas del Putumayo. Primer Congreso Colombiano de Etnobiología. *Cespedesia* **21**: 365-371.
- Guerrero, C.** 1997. Reflexiones alrededor de la experiencia de Escuela Ambiental Panamazonia en el municipio de Colón 1992-1997. Programa Fondo Amazónico-Corpoamazonia. Colón-Putumayo; En prensa.
- Hernández, E. & López, M.** 1993. El The Wala y sus plantas medicinales. Etnobotánica de la medicina Páez en el Cabuyo Tierradentro. Universidad del Cauca, Facultad de Educación. Popayán.
- Hernández, X.** 1989. Etnobotánica. Universidad Autónoma de México, Unidad de Estudios Etnobotánicos. Chapingo-México.
- Hoyos, J. & Prieto, M.** 2000. Estudio etnobotánico de la medicina tradicional y su relación con las plantas medicinales como una herramienta básica para la atención primaria de salud. Cabildo Indígena San Andrés, Valle de Sibundoy. Universidad del Cauca, Facultad de Educación. Popayán.
- Juajibioy, P.** 1991. Médicos Tradicionales del Bajo Putumayo y Médicos Tradicionales Camtsa e Inganos del Valle de Sibundoy, Alto Putumayo. 176-183 p. En: Memorias III Simposio Colombiano de Etnobotánica. Inciva, Cali.
- López, C.** 1996. Región Andina Central: Los Pueblos del Valle de Atriz. En: Geografía Humana de Colombia. Instituto Colombiano de Cultura Hispánica. Bogotá. 228-235 p.
- Martín, JG.** 1994. Ethnobotany. Methods Manual. UNESCO. Royal Botanical Garden Kew, UK. Ed. Chapman y Hall. Londres.
- Mora, R.** 1996. El conocimiento médico Kamentzá como forma de conservación cultural, Vereda Tamabioy-Sibundoy-Putumayo. Universidad del Cauca, Facultad de Humanidades. Popayán.
- Murcia, J.** 1988. Investigar para cambiar, un enfoque sobre investigación acción participante. Editorial Presencia S.A. Bogotá.
- Muriel, E.** 2000. La Dimensión Ambiental en la Educación. Revista de Investigación Geográfica **2**: 197-206.
- Ocampo, RA.** 1994. Domesticación de plantas medicinales en Centro América. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. San José de Costa Rica.
- Reichel-Dolmatoff, G.** 1997. Chamanes de la Selva Pluvial. Ensayos sobre los Indios Tukano del Noroeste Amazónico. Colombia. Themis Books. Londres.
- Ruiz A, Woodcock, R. & Zapata, D.** 1990. Significación del uso del Yagé, en la comunidad indígena Sibundoy del Putumayo. Universidad del Valle, Facultad de Educación, Escuela de Sicolología. Cali.
- Samel Ingenieros LTDA.** 1968. Estudio proyecto Putumayo. INCORA. Bogotá.
- Sanabria, O.** 2001. Manejo Vegetal en Agroecosistemas Tradicionales de Tierradentro, Cauca, Colombia. Editorial Universidad del Cauca. Serie Estudios Sociales. Popayán.
- _____ & **Hernández, E.** 2002. Manual de Etnobotánica para Trabajos en Campo. Editorial Universidad del Cauca. Popayán.
- Sánchez, E., Pardo, M., Flores, M. & Ferreira, P.** 2000. Protección del conocimiento tradicional, elementos conceptuales para una propuesta de reglamentación –el caso de Colombia-. Instituto Alexander Von Humboldt. Bogotá.
- Seijas, H.** 1969. The Medical System of the Sibundoy Indians of Colombia. Tulane University. Michigan.
- Toledo, VM.** 2001. Atlas Etnoecológico de México y Centroamérica: Fundamentos, Métodos y Resultados. Revista Etnoecológica **6**: 7-41.
- Unión Europea & Universidad del Valle.** 1994. La Chagra. Revista Recuperación de Saberes y Derechos Humanos **3**: 3-12.
- Van der Hammen, MC.** 1992. "El manejo del mundo" Naturaleza y sociedad entre los Yukuna de la Amazonia colombiana. Tropenbos Colombia. Bogotá.
- Yepes, S.** 1953. Introducción a la etnobotánica colombiana. Sociedad Etnográfica Colombiana. Popayán.
- Zulúaga, G.** 1994. El aprendizaje de las plantas en la senda de un conocimiento olvidado. Seguros Bolívar. Bogotá.

Recibido: mayo 29 de 2010

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

ASSESSING THE EFFECT OF SOIL USE CHANGES ON SOIL MOISTURE REGIMES IN MOUNTAIN REGIONS (CATALAN PRE-PYRENEES NE SPAIN)

By

J.C. Loaiza Usuga*, E. Jarauta-Bragulat**, J. Porta Casanellas***, R.M. Poch Claret***

Abstract

Loaiza Usuga J.C., E. Jarauta-Bragulat, J. Porta Casanellas, & R.M. Poch Claret: Assessing the effect of soil use changes on soil moisture regimes in mountain regions. (Catalan Pre-Pyrenees NE Spain). *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **34** (132): 327-338, 2010. ISSN 0370-3908.

Soil moisture regimes under different land uses were observed and modeled in a representative forest basin in the Catalanian Pre-Pyrenees, more specifically in the Ribera Salada catchment (222.5 km²). The vegetation cover in the catchment consists of pasture, tillage and forest. A number of representative plots for each of these land cover types were intensely monitored during the study period. The annual precipitation fluctuates between 516 and 753 mm, while the soil moisture content oscillates between 14 and 26% in the middle and low lying areas of the basin, and between 21 and 48% in shady zones near the river bed, and in the higher parts of the basin. Soil moisture and rainfall are controlled firstly by altitude, with the existence of two climatic types in the basin (sub-Mediterranean and sub-alpine), and further, by land use. Two models were applied to the estimated water moisture regimes: the Jarauta Simulation Newhall model (JSM) and the Newhall simulation model (NSM) were found to be able to predict the soil moisture regimes in the basin in the different combinations of local abiotic and biotic factors. The JSM results are more precise than the results obtained using another frequently used method, more specifically the Newhall Simulation Model (NSM), which has been developed to simulate soil moisture regimes. NSM was found to overestimate wet soil moisture regimes. The results show the importance of the moisture control section size and Available Water Capacity (AWC) of the profile, in the moisture section control state and variability. The mountain soils are dominated by ustic and occasionally xeric regimes. Land use changes leading to an increase in forest areas would imply

* Laboratory of Hydrology and Soil Conservation, Forestry and Technology Center of Catalonia, Solsona, Spain. Correo electrónico: jc.loaiza@ctfc.es

** Department of Applied Mathematics III, Politechnical University of Catalonia. Barcelona, Spain: Correo electrónico: jarauta@etsecepb.upc.es

*** Department of Environment and Soil Sciences, University of Lleida, Lleida, Spain: Correo electrónico: jporta@macs.udl.cat , rosa.poch@macs.udl.cat

drier soil conditions and therefore drier soil water regimes. These effects are most evident in degraded shallow and stony soils with low AWC.

Key words: soil moisture regimes, hydrologic simulation, mountain ecosystems, land use.

Resumen

Los regímenes de humedad del suelo bajo diferentes usos del suelo fueron observados y modelados en una cuenca forestal modelo en el Prepirineo meridional Catalán, específicamente en la cuenca de la Ribera Salada (222.5 km²). La vegetación presente en la cuenca consiste en pasturas, cultivos y bosques. Un número representativo de parcelas experimentales por cada uso del suelo fueron monitoreados de forma intensiva durante el periodo estudiado. La precipitación anual fluctúa entre 516 y 753 mm, mientras el contenido de humedad del suelo oscila entre 14 y 26% en la parte baja y media de la Cuenca y entre 21 y 48% para zonas de umbría cerca de las riberas, y en las partes altas de la cuenca. La humedad del suelo y las lluvias están controladas en primer lugar por la altitud, con la existencia de dos pisos climáticos en la cuenca (sub-Mediterráneo y sub-alpino), y además por los usos del suelo. Dos modelos fueron implementados para estimar los regímenes de humedad del suelo: El Modelo de Simulación Jarauta (JSM) y el Modelo de Simulación Newhall (NSM) encontrando que pueden predecir los regímenes de humedad del suelo en la cuenca para diferentes combinaciones de factores bióticos y abióticos a escala local. Los resultados usando JSM son más precisos que los obtenidos mediante el modelo más usado, concretamente NSM, el cual ha sido específicamente desarrollado para la simulación de los regímenes de humedad del suelo. El NSM tiende a sobre estimar los regímenes de humedad del suelo, tendiendo hacia regímenes húmedos. Los resultados muestran la importancia de la profundidad de la sección control del suelo y la capacidad de retención de humedad del suelo, en el estado y variabilidad de la sección control de humedad del suelo. Los suelos en zonas de montaña mediterránea están dominados por regímenes ústicos y excepcionalmente xericos. Los cambios en los usos del suelo están direccionados hacia un incremento de las áreas forestales lo cual implica una disminución en la humedad del suelo. Estos efectos son más evidentes en suelos superficiales degradados y pedregosos con baja retención de humedad.

Palabras clave: regímenes de humedad del suelo, modelos de simulación hidrológica, ecosistemas de montaña, usos del suelo.

1. Introduction

The regulation of water resources is an urgent priority in the management of ecosystems, particularly in Mediterranean environments. Mediterranean climates are characterized by intra-annual rainfall variability, with conditions of water deficit in Summer and a very strong impact of human activity (Rius, *et al.*, 2001; Ceballos & Martínez, 2002; Gallart, *et al.*, 2005). During the last five decades, land use in the Pyrenees has known a strong change, with a replacement of pastures and tillage by forests (Ubalde, *et al.*, 1999). This dynamic change is typical for all Spanish mountainous areas (Lasanta, 1988; Pounds, 1987; Cantera, 1997; Ubalde, *et al.*, 1999).

Several studies from different climate regions have shown that land use change induces a change in the soil hydrological properties affecting the hydrological regime (Giertz, *et al.*, 2005; Bormann & Klaassen, 2008) and it is well known his strong impact on the hydrologic dynamics

of Mediterranean basins (Ubalde, *et al.*, 1999; Gallart, *et al.*, 2005; Orozco, *et al.*, 2006). However, the consequences of land use changes on the future water resources availability in these areas are at present poorly understood. Up till now, a number of studies have focused on a description of the dynamics of the water behaviour in the catchments (Diekkruger, *et al.*, 1995; Batalla & Sala, 1996; Sala & Farguell, 2002; Llorens, *et al.*, 2003; Verdú *et al.*, 2000; Gallart, *et al.*, 1994, 2005; Orozco, *et al.*, 2006; Latron & Gallart, 2007; Loiza & Poch, 2009) and soil moisture behaviour of such catchments (Crow & Wood, 2002; Giertz, *et al.*, 2005; Gallart, *et al.*, 2005; Bormann & Klaassen, 2008; Loiza & Poch, 2009).

The physical and biological processes in Mediterranean environments are highly dependent on the spatial variability of soil water availability (García-Pausas, *et al.*, 2004). The intra-annual variability of temperature and soil moisture in these environments, together with rainfall distribution, conditions how the ecosystems functions (Casals, *et al.*,

2000). At the same time, land-use changes imply strong consequences for plant species composition (**De Bello, et al.**, 2005) and this might have direct consequences on water resources. These changes affect in a direct way the soil moisture behaviour, vegetal species distribution and hydrologic dynamic of the basins. Further, in Mediterranean ecosystems, water is considered to be key factor limiting plants grow, survival and competition (**Sebastia**, 2007). Changes in soil moisture behaviour affect the distribution of dominant grass species limited biomass production, growth, reproduction and resource allocation of the plants (**Kariklanderud**, 2005).

Soil moisture regime is an important property of the soil that provides relevant information about the availability of soil water for plants and the use and management of the soil (**SSS**, 1975, 2006; **FAO**, 2006). The concepts of normal year, soil moisture control section and classes of soil moisture regimes have been introduced (**SSS** 1975). From an operational point of view a number of methods have been devised to estimate the soil moisture regime out of meteorological records, but all these methods suffer from some shortcomings (**Jarauta et al.**, 1993; **FAO**, 2006). A comprehensive comparison of the ability of agroecosystems models to predict soil water status has been performed and published by **Diekkrüger et al.** (1995). Several researchers have used environmental information in soil moisture regime estimation: **Waltman et al.** (1997, 2002) in USA; **Trnka et al.** (2002); **Kapler et al.** (2006) in Czech Republic; **Costantini et al.** (2002) in Italy; **Tavernier & Van Wambeke** (1976a, 1976b) in Spain and Morocco; **Van Wambeke** (1976, 1981, 1982, 1985, 2000) in Syria, Lebanon, South America, Africa, Asia and North America. The obtained predictions by soil moisture regime simulation models provide a historical context of drought events (**Waltman et al.**, 2002). With these models it is possible to determine the probabilities of occurrence of a particular group of soil climate conditions in simulated sceneries (**Trnka et al.**, 2002) and economic relations of resources for specific regions (**Waltman et al.**, 1997, 2002). In Italy, **Costantini et al.** (2002) used the soil moisture simulation model to predict soil moisture regimes and soil moisture and correlated it with potential soil erosion.

One of the devised methods is the Newhall simulation model (**Van Wambeke**, 2000) that has been studied and evaluated by **Jarauta** (1989), **Jarauta et al.** (1993) and **Porta et al.** (2003). This model proposed to take into account complete meteorological information, daily and monthly rainfall, effective precipitation, vegetation and soil data. They propose a Jarauta Simulation Model (JSM) that tries to correct some shortcomings of the Newhall Simulation Model (NSM) found by **Tavernier & Van Wambeke** (1976a,

1976b), **Ibáñez & Gascó** (1983), **Lázaro et al.** (1978), **Elías & Ibáñez** (1983) in the estimation of soil moisture regimes in xeric-aridic transitional regions in Spain.

The estimation of soil moisture regimes has to deal with the probability of several conditions of the soil moisture status in an average year, and therefore has to be based on long observation period. The calculation of a soil moisture regime to one single year is not correct in the sense that it does not characterize an average year related to a vegetation type or to a land use potential. Nevertheless, their determination for a short series of years, and the comparison of estimated and measured regimes, gives a first approximation to its probability of occurrence and shows the applicability of the models. The aim of this research is to relate the soil moisture content and soil moisture regimes in Mediterranean soils with different uses by estimating soil moisture regimes. The particular aims of the paper are: (i) to study the soil moisture behaviour under actual conditions, considering different land use, and (ii) to implement a hydrologic model to estimate the different moisture regimes in the basin and to compare the results to the results obtained using JSM and NSM.

2. Site description

The experimental area, the Ribera Salada basin, is located in the Pre-Pyrenean mountainous area of Northeastern Spain. The basin covers an area of 222.5 km². Figure 1 shows the location of the study area and the observation sites. The climate is mainly Mediterranean and varies to sub-alpine in the highest parts of the basin, with a mean annual precipitation ranging from 624 mm in the low lying areas to 874 mm in the highest areas. The mean temperature during the Summer is 20°C during and 5.1°C during the Winter. The relief is tabular with slopes often higher than 20% with an altitude ranging from 420 to 2385 m. The substrate consists of massive conglomerates and calcareous sandstones merging to calcareous siltstones. Soils are shallow, calcareous and stony. Most soils are classified as Lithic and Typic Ustorthents (**SSS**, 1993, 2006). A description of the complete soil survey can be found in **Orozco et al.** (2006). The predominant land use is forestry, from brook forest to subalpine and sub-Mediterranean vegetation. The agricultural zone is mainly planted with potatoes, alfalfa, and cereal with a low level of nitrogen fertilization. There are also high mountain grasslands with a low technologic level and low trampling.

3. Data acquisition

The observational data were acquired from 1998 through 2005; eight experimental plots of 5 x 5 m² were

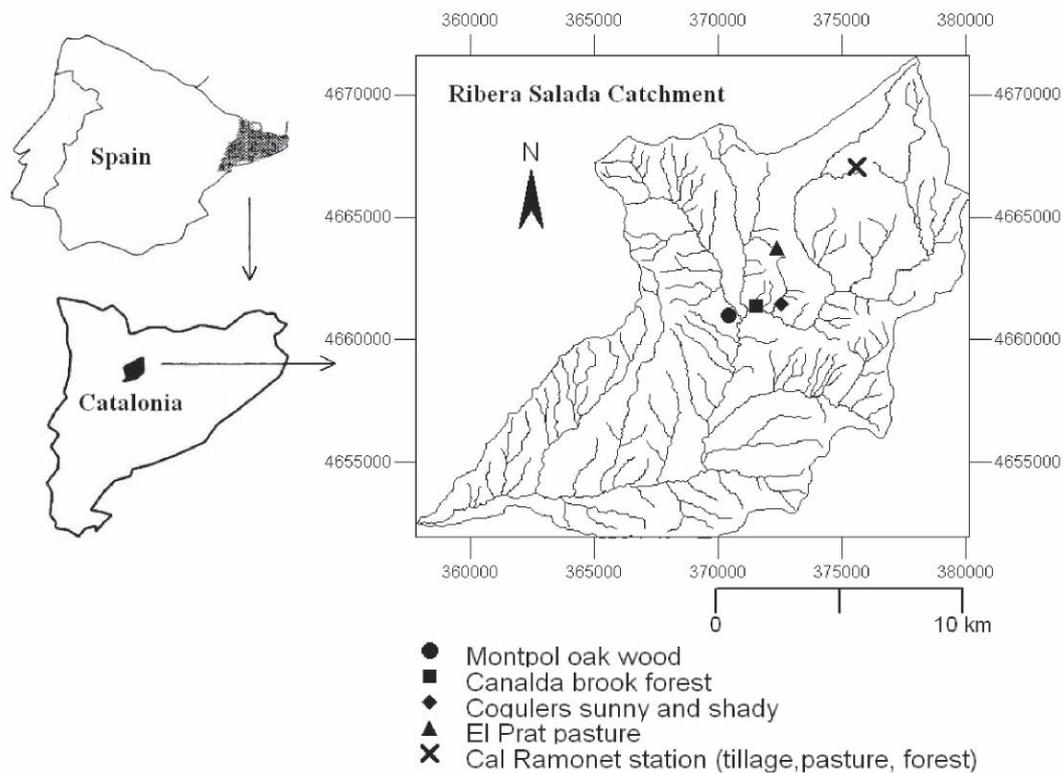


Figure 1. The study area.

selected based on representative soil types and land uses of the catchment. Table 1 lists the names of these stations, together with their land use and soil type. The location of these stations is shown in Figure 1. A number of these stations have longer observation periods than others, but from 2003 through 2005 all stations were operational. The meteorological information was obtained from the Xarxa Agrometeorològica de Catalunya (XAC) meteorological station. This station is named Lladurs and is placed at the same location as the Montpol station. Air temperature and relative humidity were measured using a Vaisala HMP45 sensor (Vaisala, Helsinki, Finland). Soil temperature was measured at a depth of 5 and 50 cm using a 107-L sensor (Campbell Scientific, Leicestershire, UK). Wind speed was measured using a Young 05103 sensor (RM Young, Traverse, Michigan, USA). Rainfall was measured using an ARG 100 rain gauge (Campbell Scientific, Leicestershire, UK). All these measurements were taken with an interval of one second and stored with an interval of one minute. All instruments were controlled by a CR10X data logger (Campbell Scientific, Leicestershire, UK). Furthermore, data from the Cal Ramonet rainfall station of the Forestry and Technology Centre of Catalonia were available. These observations were obtained using a RGB1 rain -gauge

(Campbell Scientific, Leicestershire, UK). Rainfall information was measured with a five minute interval and stored using a CR10X data logger (Campbell Scientific, Leicestershire, UK). With each land use area, three sites were selected to measure the hydraulic conductivity (K_s) measured by the disk infiltrometer (Perroux & White, 1988); particle distribution using hydrometer methodology (Bouyoucos, 1962), as well as porosity, stone content and the soil moisture content at field capacity and the wilting point (SSS, 1992). A soil control section was established according to the soil taxonomy criteria. Table 2 shows the results of these in situ measurements.

Soil moisture was continuously measured using ECH2O (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, USA) sensors at 30 cm depth, with four sensors per site from 1998 through 2005. Measurements were taken and stored with an interval of one hour, using an Em5 data logger (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, USA). In order to ensure a good contact, the soil was previously sieved and placed around the sensor at field, avoiding the direct contact with stones. The sensors were calibrated for each site in the period 2003-2004. The calibration was performed following the guidelines of the manufacturer.

Table 1. Land use and soil type of the study plots. The fractional coverage of the land and soil types in the catchment are indicated between brackets (units are percentages).

Station	Land use	Soil Type [SSS 2006]
Montpol oak wood Canalda brook forest	<i>Quercus Ilex</i> [18] <i>Buxus Sempervirens</i> ¹ <i>Pinus Sylvestris</i> ¹ <i>Quercus Ilex</i> ¹ [12]	Typic Calciustepts [4] Typic Ustifluvents [1]
Cogulers shady	<i>Pinus Sylvestris</i> [25]	Typic Ustorthortents[25]
Cogulers sunny	<i>Pinus Sylvestris</i> [25]	Typic Calciustepts [4]
El Prat pasture	Pasture [8]	Typic Haploustepts [12]
Cal Ramonet Tillage	<i>Solanum Tuberosum</i> ² <i>Triticum Sativum Vulgare</i> ² <i>Medicago Sativa</i> ² <i>Onobrychis Viciifolia</i> ² [15]	Typic Calciudolls[7]
Cal Ramonet pasture	Mountain Pasture [6]	Typic Calciudolls[7]
Cal Ramonet pine forest	<i>Pinus uncinata</i> [18]	Miscellaneous Rock [1]

¹ Forest compound "forest near river".

² In culture rotation.

Volumetric soil moisture values were determined using in-situ obtained soil samples. These results were compared to the volumetric soil moisture values registered by the sensors. Linear calibration equations for the different soil types were obtained, with r^2 values ranging from 0.74 to 0.92. A more detailed description of these measurements can be found in **Loaiza & Pauwels** (2008).

4. Jarauta simulation model

This soil moisture model used in this study, the JSM makes it possible to daily or hourly rainfall data in the prediction of soil moisture regime with limited data availability. The JSM considers, the rainfall infiltration efficiency into the soil using, and takes into account soil boundary characteristics that affect infiltration and evapotranspiration. Infiltration capacity is modelled using the hydraulic conductivity (Ks) in combination with daily climatological data. To calculate the amount of water extraction from the soil profile through evapotranspiration, the model uses an adaptation of the Blaney- Criddle formula, realized by **Doorenbos and Pruitt** (1977). The maximum field capacity is 200 mm and the minimum value is 50mm. These values depend on the soil boundary and or soil water retention. The soil temperature's average is obtained by means of an equation that correlates the averages of the air temperature and the soil temperature.

The temperature values are homogeneous, just like the increase of temperature in winter and summer. The average of temperature differences (air-soil) is obtained and these data make it possible to know the soil temperature's average at 50cm depth. The outputs (soil moisture and soil temperature) work with different water soil capacities and a wide array of crops. For an overview of the field experiments and test sites to which the model has already successfully been applied, we refer to **Jarauta**, 1989; **Jarauta et al.**, 1993 and **Porta et al.**, 2003.

5. Newhall simulation model

The NSM is the traditional model used by the Natural Resources Conservation Service of the United States Department of Agriculture to estimate soil moisture regimes according to soil taxonomy (SSS, 2006; **Waltman et al.**, 1997). The soil moisture regimes has been studied and modeled at a large number of locations, more specifically in Europe (**Tavernier & Van Wambeke**, 1976a; **Robson & Thomasson**, 1977; **Item**, 1978; **Elias & Ibañez**, 1983; **Wösten et al.**, 1985; **Cescatti**, 1992; **Jarauta et al.**, 1993; **Kapler et al.**, 2006) Asia (**Van Wambeke**, 1976, 1985; **Stuart et al.**, 1985), Africa (**Tavernier & Van Wambeke**, 1976b; **Watson**, 1981; **Van Wambeke**, 1982) and America (**Newhall**; 1976; **Van Wambeke**, 1981; **Davidoff & Selim.**, 1988; **Jeutong et al.**, 2000; **Waltman et al.**, 2002). **Van Wambeke** (2000)

modified the original model (Newhall, 1976) and introduced new subdivisions of soil moisture regimes and variable soil moisture storage. The model was originally developed to simulate soil moisture changes and to identify soil moisture regimes based on monthly rainfall and temperature data. NSM monthly input data is restricted to a period of one year. Winter and Summer soil temperature averages are evaluated by means of the monthly air temperature averages, using Soil Taxonomy criteria. NSM also assumes that all precipitation events are effective unless soil moisture is saturated. With respect to the soil moisture profile, the model assumes a profile from the surface downwards to the depth of an available water holding capacity (AWC) of 200 mm. When the wetting front reaches the bottom of the profile and the complete soil moisture profile is at field capacity, the excess water is lost either by percolation or by runoff. The rate at which the water is removed out of the soil depends on the energy available for moisture extraction, expressed in terms of potential evapotranspiration. NSM uses longitude and latitude information to obtain potential evapotranspiration following the Thornthwaite equation (Thornthwaite & Mather, 1957). A full description is provided by Van Wambeke (2000).

6. Results and discussion

6.1. Precipitation and soil water content measurements

The average precipitation over the study period is 621 mm. An ustic regime has been obtained for all years and sites, except for Canalda brook forest and Cal Ramonet forest, when the precipitation over the study area was 507 mm, and a xeric regime was obtained. The highest saturated hydraulic conductivity (K_s) is observed for grassland soils and crop land soils followed by forest, Table 2. According to Loaiza & Poch, 2009, the infiltration capacity of the soil

in Ribera Salada catchment is affected to land cover type and explained the low runoff values. This xeric regime was obtained in superficial or stony soils under forests and in bank zones, where soil moisture is controlled by means of water table level fluctuations. In all other conditions an ustic regime was still obtained, except for the Cogulers shady site, where ecologic conditions favor soil water retention. The observed soil moisture retention percentage is low in all plots, except in old agricultural terraces (more specifically the Cal Ramonet site) and Cogulers shady, Table 3. In this site the moisture retention percentage is slightly higher, which leads to a lower number of consecutive dry days. This phenomenon favors the presence of ustic moisture regimes in the basin. The presence of xeric regimes (which are typical Mediterranean regimes) is conditioned by the distribution and volume of the precipitation and the depth of the soil control section.

Figure 2 shows the evolution of the monthly averaged soil moisture content and precipitation in the study sites, for the three years in which data were available for all sites. The precipitation is highest in the first place during the Fall, and in the second place during Springtime. During Winter and Summer low precipitation rates are observed. The soil moisture is depleted during the Summer and replenished during the Fall. During the Winter the soil moisture content decreases again, but to a lesser extent than during the Summer, which can be explained by the effect of evapotranspiration. Overall, the duration of the dry season determines the soil moisture regime. In general, ustic soil moisture regimes prevail, except for the Cogulers shady site. However, when the precipitation in the Fall initiates later than usual, xeric regimes are obtained in shallow soils and riparian zones. Here it can be seen that during the drought periods in Summer and Winter the soil moisture values decrease to the wilting point and below. The duration of the drought periods depends on the temporal distribution of the precipitation. During the periods

Table 2. In-situ measured soil physical parameters

Station	Ub [cm]	Lb [cm]	SHC [mm/h]	FC [%]	WP [%]	SC [%]	Porosity [%]	BD [gr/cm ³]	Texture Class
Montpol oak wood	5	62	6.75	27.15	11.63	40	49.60	1.53	Sandy loam
Canalda brook forest	4	64	7.75	29.50	13.20	36	51.98	1.4	Loam
Cogulers shady	4	64	4.88	25.03	13.16	45	55.16	1.55	Loam
Cogulers sunny	5	40	8.92	21.48	16.35	38	49.60	1.35	Sandy loam
El Prat pasture	5	40	10.93	38.05	15.04	28	46.03	1.50	Loam-loamy sand
Cal Ramonet	5	60	11.21	43.49	19.26	51	51.59	1.06	Loam-clay loam

Upper boundary: Ub, Lower boundary: Lb, Saturated Hydraulic Conductivity: SHC, Soil Moisture at Field Capacity: FC, Soil Moisture at Wilting point: WP, Stone Content: SC, Bulk Density: BD.

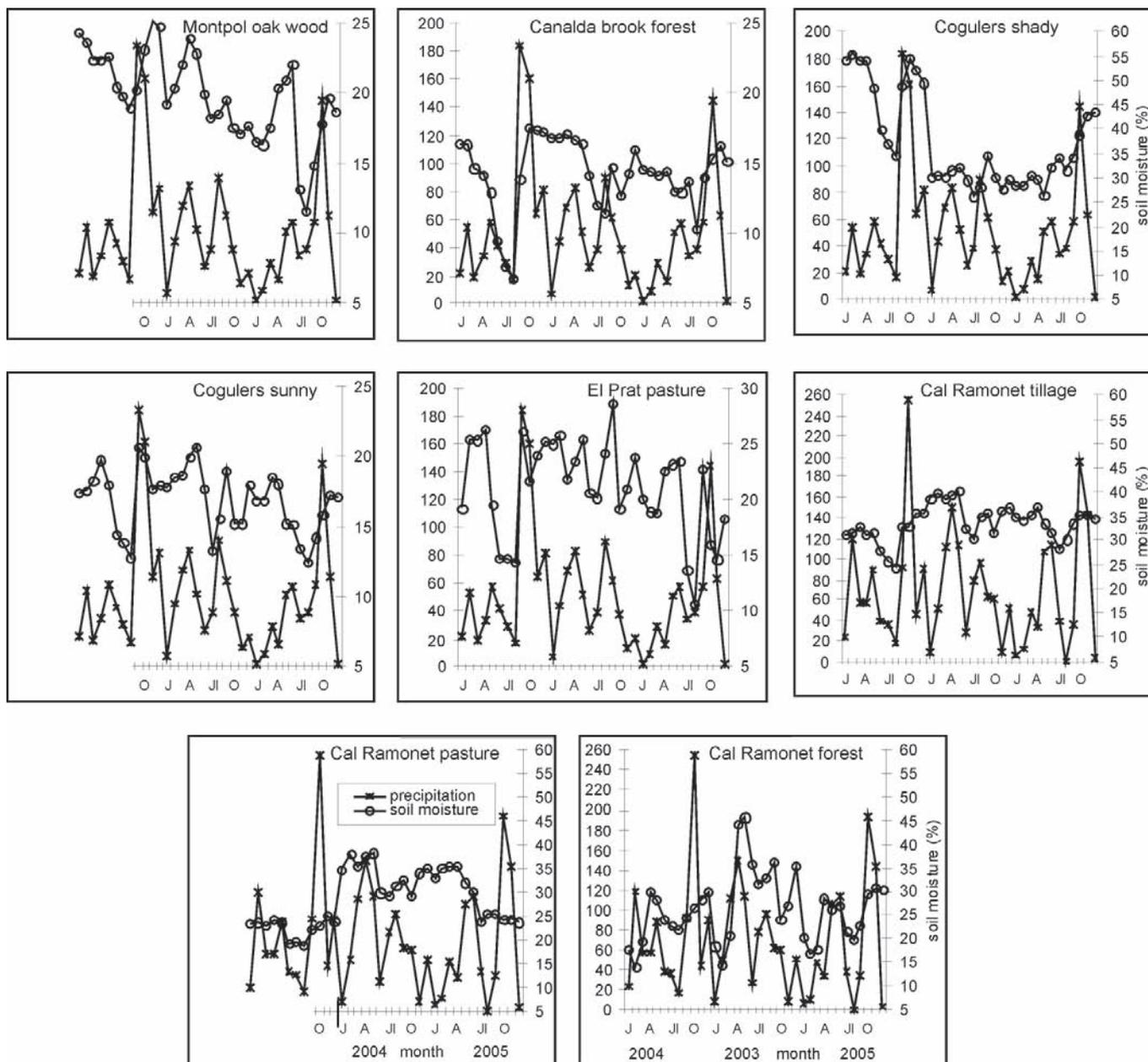


Figure 2. Monthly average precipitation and soil moisture for the different study sites during the period 2003-2005.

of low soil moisture the volume and intensity of the precipitation is low, which can be observed. The results shows that in the highest part of the basin (the Cal Ramonet stations), where the climate is sub-alpine, the soil moisture content is higher than in the other stations, except for the Cogulers shady site. In this station the topographical conditions (converging stream lines), combined with the dense structure of the vegetation lead to consistently high

soil moisture values. Figure 2 shows that the soil moisture values are lower in the intermediate and lowest parts of the basin, where sub-Mediterranean climate conditions prevail. The soil moisture values are strongly influenced by the presence of orographic precipitation. For the study period, the average precipitation in the Winter months (DJF) was 30 mm. For Spring (MAM) this average was 45 mm, for Summer (JJA) 46 mm, and for fall (SON) 78 mm. While the

precipitation is slightly higher in Summer than in Winter, the soil moisture contents are lower. This can be explained by the effect of evapotranspiration. In summary, the soil moisture values in the different sites show an annual cycle. The soil moisture profile is exhausted at the end of the Summer, after which it is replenished by the Fall precipitation. During the Winter the low precipitation values lead to a decrease in soil moisture, but to a lesser extent than in the Summer. The variations of this behaviour are regulated by the altitudinal distribution of the precipitation and the physical and topographical characteristics of the soil control section.

6.2. Simulations using JSM

For each test site three year with no missing daily soil moisture data was used for the parameter estimation. Only soil moisture values were used in the parameter estimation. The in-situ measured parameters were used as initial guess. Table 2 lists these parameter values. Using the observations of soil temperature, and soil moisture content during the remainder of the study period was then used for model validation. **Jarauta et al.** (1993) demonstrated that the model is capable of reproducing all these soil moisture

behaviour, and concluded that the model can be used to simulate the soil moisture regime in dry environments. Table 3 shows the results of this model application. A number of conclusions can be drawn from this table. First, the JSM simulations have a very low bias with respect to the observations. The Root Mean Square Error between the observations and simulations is below 2% for the majority of the annual results. This RMSE is calculated as:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N [\theta_o(n) - \theta_s(n)]^2}}{N} \quad (1)$$

N is the number of observations, and θ_o and θ_s are the observed and simulated soil moisture (-), respectively. In general, the number of dry days has been simulated with reasonable accuracy. However, in some cases a relatively large difference in the number of dry days has been obtained. This can be explained by the structure of the hydrologic model. JSM provides daily time series of soil moisture, while the number of dry days is a threshold value. For example, for the Canalda brook site RMSE in the order of 1.25% has been obtained. However, the amount of dry days has been overestimated by a factor of two. This

Table 3. Average observed and simulated soil moisture behaviour (2003 – 2005) for the different test sites. O stands for observations, JSM for Jarauta simulation model, NSM for Newhall simulation model.

Station		Montpol oak wood	Canalda brook forest	Cogulers shady	Cogulers sunny	El Prat pasture	Forest	Cal Ramonet pasture	tillage
Soil dry * (days)	O	10	155	0	140	55	40	30	0
	JSM	10	55	0	118	85	20	20	0
	NSM	30	30	30	30	30	0	0	0
Soil moist (days)	O	350	40	0	130	295	300	330	360
	JSM	208	135	78	165	157	150	135	105
	NSM	195	195	195	195	195	50	50	50
Soil wet (days)	O	0	170	365	95	15	20	0	0
	JSM	147	175	287	88	123	195	210	260
	NSM	140	140	140	140	140	315	315	315
Average soil moisture (%)	O	19.8	14.2	37.2	16.89	21.02	26.35	28.45	33.57
	JSM	22.3	24.03	23.76	18.66	27.75	37.18	37.68	40
	NSM	21.73	23.81	20.88	19.69	30.01	41.83	41.83	41.83
Soil moisture regime	O	ustic	ustic/xeric	udic	ustic	ustic	ustic/xeric	ustic	ustic
	JSM	ustic	ustic/xeric	udic	ustic	ustic	ustic/xeric	ustic	ustic
	NSM	ustic/xeric	ustic	ustic/udic	ustic/xeric	ustic/xeric	ustic/udic	ustic/udic	ustic/udic
RMSE**	JSM	1.47	1.25	2.02	1.36	1.52	1.69	1.76	1.91
	NSM	1.47	1.25	3.46	4	0.04	1.69	1.76	1.91

* number of days with soil moisture percentage less than wilting point values, ** RMSE: Root Mean Square Error, moist: average soil moisture percentage between field capacity and wilting point values, wet: average soil moisture percentage higher than field capacity values.

indicates that, while JSM clearly simulates the soil moisture behaviour in this case, the number of dry days is not a good criterion to evaluate the model performance. However, for all test sites and for all years, the soil moisture regime has been simulated without any errors.

6.3. Simulations using NSM

While in a number of cases the model correctly estimates the soil moisture regime, a relatively large number of erroneous model predictions have been obtained, Table 2. For a number of simulations, an udic regime has been obtained, while in reality the soil moisture regime is ustic. The Root Mean Square Error between the observations and simulations are between 1.25 to 4% for the annual results. This can be explained by the average soil moisture state, which has been simulated as wet, while in reality it is moist. Further, ustic regimes have in some cases been simulated as xeric, which can be explained by the erroneous prediction of the number of consecutive dry days. Also, udic regimes have in some cases been simulated as ustic or xeric, which can again be explained by errors in the modeled number of dry days and/or the average soil moisture state. As a summary, it can be concluded that one must be very careful when using the predicted soil moisture regime by the NSM.

6.4. Comparison between both models

In The Ribera Salada catchment simulated NSM soil moisture values in the Cal Ramonet station (higher altitudes) and Lladurs station (lower altitudes) are higher than the actual values, giving moister soil water regimes. The differences depend on altitudes: the results are lower than the actual ones in Summer and in the beginning of Autumn in the lower parts of the catchment. Also, on higher altitudes, the actual moisture values are lower in Summer. The real and the NSM values differ to 90%, in some cases NSM overestimates the soil moisture content. According to **Jarauta et al.** (1993) and **Porta et al.** (2003), NSM does not model very well the variability of water available for plants, because it considers all the efficient rain, and therefore excluding Mediterranean showers with high intensities. Moreover, it models the evapotranspiration very simply, and does not take into account other rain types or orographic characteristics that may favor slope runoff.

The simulation according to the JSM gives three different soil moisture regimes: udic, ustic and xeric, with two different patterns: i) a biannual one, with two dry periods (winter and summer) with a recharge at the end of spring and autumn; and ii) an annual one, with a single

summer drought. The simulated values are closer to the observed ones in dry periods, coinciding in their duration, time and seasonal behavior; thus it is possible to predict the total days and the state of moisture content. The real and simulated regimes and subtypes coincide almost completely, between 90 - 100%, both in determining the soil moisture regime. The RMSE results in Montpol, Canalda and Cal Ramonet sites in both models have been similar. However, in the other sites the JSM predictions is more accurately than NSM. The prediction improves when the real measured regimes are ustic or udic, because this model is better adjusted to partly dry soil conditions.

JSM tends to simulate soil moisture in accordance with the ecological conditions of each site because it allows us to work with different available water capacity values, soil profile thicknesses, infiltration conditions and evapotranspiration estimations. NSM overestimates ustic regimes in relation to the ecological conditions of the studied sites. **Tavernier & Van Wambeke** (1976a) assigned an udic common regime to all Pyrenees mountain zones and ustic and aridic regimes in zones with Mediterranean climates in Catalonia. These authors defined ustic regimes in the Iberian Peninsula as transitional pedoclimates, between xeric types and udic or aridic regimes. Other authors like **Elias & Ibañes** (1983) found that in the Ebro river basin, under real xeric and aridic soil moisture regimes, NSM assigns an ustic regime. These Mediterranean ustic regimes do not fit within the concept of tropical ustic regimes, characterized by wet summers and dry winters, except in some areas where the orography affects the water supply during winter, as it happens in some Pyrenean valleys (**Poch & Boixadera**, 2008).

In Italian Mediterranean soils, using NSM, **Costantini et al.** (2002) found xeric soil moisture regimes in years that actually had ustic and udic regimes. In Zimbabwe, **Watson** (1981) also found serious limitations of NSM in the determination of ustic and udic soil moisture regimes. In our research, NSM only coincides with real field values in the simulations of a reduced number of years.

5. Conclusions

In this study, two models to predict soil moisture regimes have been applied to eight test sites located in the Ribera Salada catchment in the Spanish Catalanian pre-Pyrenees. The first model, Jarauta Simulation Model (JSM) considerer an adaptation to different types of soil with drained and AWC variable, corrected monthly rainfall according to rainfall efficiency. On the other hand, the second model, the Newhall Simulation Model (NSM), is a

threshold-based soil moisture regime model, using only precipitation and air temperature as local information. Hourly observations of soil moisture have been used to evaluate the models. The measured soil water contents confirm the prevalence of ustic regimes, while xeric regimes occur in dry years. Udic regimes occur in areas located close to water sources. An example of such a site for this study is the Cogulers shady site. While in many cases the NSM accurately simulates the soil moisture regime, it frequently erroneously predicts these regimes. This can be explained by errors in the prediction of the number of consecutive dry days and/or the average soil moisture state. On the other hand, JSM has been found to predict the soil moisture regime in all cases. The model results of JSM as compared to the NSM can be explained by the theoretical foundation of the model. JSM has been designed to work in very specific conditions (Mediterranean environments), while the NSM uses only basic meteorological information in a number of threshold-based general equations. The estimation of soil moisture regime by JSM hits 100% of the cases, while NSM hits 66% of the cases in relation to the measured data in the field. The results show a 62 % of coincidence between two models.

Since JSM approaches the natural system, it can be expected that, when it is well calibrated, it accurately predicts the soil moisture regime according to the soil taxonomy requirements [SSS, 2006]. As a first approximation the NSM has certainly proven to be useful for soil moisture regime prediction, especially when computational power is limited, and if one is careful in the interpretation of its results. Both simulation models are limited in the daily prediction of soil moisture percentages, due to small variations in initial soil moisture, rain intensity and rain water volume, because the purpose of these models is to estimate in a probabilistic way the soil water regime on a yearly basis, and not the evolution of the daily soil water content. The use of such a model for soil moisture regime predictions is an unexplored subject that, since computational possibilities are continuously increasing, should be given more attention in the future.

Acknowledgement

The research was partly funded by the Spanish Government grant MAE AECI 2004-2006 and the project REN2001-1590/HID (Ministry of Science and Technology, Spain). We would also like to thank CTFC and Lleida University for making this research possible. The lead author also wishes to express his gratitude to Leigh for the thorough revision of an earlier manuscript.

References

- Batalla, R. & Sala, M.** 1996. Impact of land use practices on the sediment yield of a partially disturbed Mediterranean catchment. *Z.Geomorph.N.F.* 107: 79-93.
- Bormann, H. & Klaassen, K.** 2008. Seasonal and land use dependent variability of soil hydraulic and soil hydrological properties of two Northern German soils. *Geoderma.* 145: 295-302.
- Bouyoucos, GJ.** 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal.* 54(3): 464-465.
- Casals P, Romanyà J, Cortina J, Bottner P, Coûteaux MM, Vallejo R.** 2000. CO₂ efflux from a Mediterranean semi-arid forest soil. I. Seasonality and effects of stoniness. *Biogeochemistry.* 48: 261-281.
- Crow, WT & Wood, EF.** 2002. The value of coarse-scale soil moisture observations for regional surface energy balance modelling. *Journal of Hydrometeorology.* 3: 467-482.
- Cantera, ME.** 1997. La agricultura en la edad media. Cuadernos de historia. Arco/libros, sl. Madrid.
- Ceballos BA & Martinez FJ.** 2002. Soil surface water dynamics in different spatial units under dehesa land use system. *Rev G & C.* 16(1-4): 33-42.
- Cescatti, A.** 1992. A computer program for the application of the Newhall model in the classification of the soil moisture regime. *Atti dell Istituto di Ecologia e Silvicultura, Padova* 6: 65-85.
- Costantini, E., Castelli, F. Raimondi, S. & Lorenzoni, P.** 2002. Assessing soil moisture regimes with traditional and new methods. *Soil Sci Soc Am J* 66: 1889-1896.
- Davidoff, B & Selim, HM.** 1988. Correlation between spatially variable soil moisture content and soil temperature. *Soil Science.* 145: 1-10.
- De Bello, F, Leps, J., Sebastià, MT.** 2005. Predictive value of plant traits to grazing along a climatic gradient in the Mediterranean. *J. Appl. Ecol.* 42: 824-833.
- Doorenbos, J., Pruitt, WO.** 1977. Crop water requirements, irrigation and drainage. United Nations. Rome. Irrigation drain, Paper N° 24, 144p.
- Elías, F. & Ibáñez, V.** 1983. Comparison between two mathematical models to the estimation of soil moisture regimes. *INIA.* N° 6. p. 49-60.
- FAO.** 2006. World reference base for soil resources 2006 A framework for international classification, correlation and Communications. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. World Soil Sources Reports 103: 132 p.
- Gallart F., Llorens P. & Latron J.** 1994. Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in small Mediterranean mountainous basin. *Journal of hydrology.* 159: 291-3003.
- _____, **Latron J. & Llorens P.** 2005. Catchment dynamics in a Mediterranean mountain environments. The Vallcebre research basins (Southeaster Pyrenees). I : hydrology. In: Garcia, C., Batalla, R.J (Eds). Catchment dynamics and river processes: Mediterranean and other climate regions. ELSEVIER. p 1-16.

- García-Pausas J., Casals P., Romanya J.** 2004. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: effects of N content and the moss layer. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 989-997.
- Giertz, S., Junge, B. & Diekkrüger.** 2005. Assessing the effects of land use change on soil physical properties and hydrological processes in the sub-humid tropical environment of West Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*. 30: 485-496.
- Ibáñez, V. & Gascó, J.** 1983. Modification in the mathematical model proposed to Newhall .F to the estimation of the soil moisture regimes. Agriculture, fishing and food Ministry. INIA Communications. Natural Resources Series. Nº 18. Madrid. Spain.
- Item, H.** 1978. A model for the water regime of coniferous forest and grassland. *Journal of Hydrology*. 37: 323-332.
- Jarauta, E.** 1989. Models to the estimation the soil moisture regimes. Application to the determination to the soil moisture regimes in agricultural soils in Lleida. Spain. Unpublishing. Ph.D. Thesis. University of Lleida. www.tdx.cat
- , **Porta, J. & Boixadera, J.** 1993. Soil moisture regimes: Interest and problems to the application in the Catalan soils. *Catalan Natural History Institution Bulletin*. Barcelone. Spain. P. 87-96.
- Jeutong, KM., Waltman, WJ. & Smith, OS.** 2000. Comparison of bioclimatic indices for prediction of maize yields. *Crop Science* 40: 1612-1617.
- Kapler, P.** 2006. Newhall model for assessment of agricultural drought event probability under present and changed climatic conditions. European Geosciences Union. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 8.
- Kariklanderud.** 2005. Climate change effects on species interactions in an alpine plant community. *Journal of Ecology* 93: 127-137.
- Lasanta T.** 1988. The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees. *Pirineo*. 132: 15-36.
- Latron, J., Gallart, F.** 2007. Seasonal dynamics of runoff-contributing areas in a small Mediterranean research catchment (Vallecebre, Eastern Pyrenees). *J. Hydrol.* 335(1-2): 194-206.
- Lazaro, F., Elías, F., Nieves, M.** 1978. Soil moisture regimes in Spain. INIA publications. Nº 20. 34 p.
- Loaiza Usuga J.C & Pauwels VRN.** 2008. Use of soil moisture sensors in the determination of soil moisture content (Calibration equations). *Suelos Ecuatoriales*. SCCS. 38(1) 24-33.
- Loaiza Usuga, J.C & Poch, RM.** 2009. Evaluation of soil water balance components under different land uses in a Mediterranean mountain catchment (Catalan Pre-Pyrenees Ne Spain) *Z.Geomorph.N.F.* 53(4): 519-537.
- Llorens, P., Oliveras, I., Poyatos, R.** 2003. Temporal variability of water fluxes in a *Pinus sylvestris* forest patch in Mediterranean mountain conditions. (Vallecebre research catchments, Catalan Pyrenees). In: Servat, E., Najem, W., Leduc, C., Shakeel, A (Eds), *Hydrology of Mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication 278, Wallingford, UK. pp. 101-105.
- Newhall, F.** 1976. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. USDA. Soil Conservation Service. 22 p.
- Orozco, M., Poch, RM., Batalla, RJ., Balasch, JC.** 2006. Hydrochemical budget of a Mediterranean mountain basin in relation to land use (The Ribera Salada, Catalan Pre - Pyrenees, NE Spain). *Z.Geomorph. N.F.* 50: 77-94.
- Perroux, KM & White, I.** 1988. Designs for disc permeameters. *Soil. Sci.Soc. Am. J.* 52(5): 1205-1215.
- Poch RM & Boixadera J.** 2008. (Eds) Cerdanya soils. Field manual. DMACS-University of Lleida.
- Pounds, NJ.** 1987. *Historia económica de la Europa medieval*. ed. Critica, Editorial Grijalbo. 500 p.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C.** 2003. Edaphology to the agriculture and environment. World press editions. 929 p.
- Rius, J, Batalla, VR & Poch, RM.** 2001. Monitoring water and sediment yield in Mediterranean mountains watersheds: preliminary results. 10th international soil conservation organization meeting held may 24-29. Purdue University-USDA-ARS. P. 223-228.
- Robson, JD & Thomasson, AJ.** 1977. Soil water regimes. A study of seasonal waterlogging in English lowland soils. Soil survey. Technical monograph Nº 11. England. 57 p.
- Salas, M^a & Farguell, J.** 2002. Exportación de agua y sedimento en dos pequeñas cuencas Mediterráneas bajo diferentes usos del suelo. *Sistema Costero Catalán. Rev. C. & G.* 16(1-4): 97-109.
- Sebastià, MT.** 2007. Plant guilds drive biomass response to global warming and water availability in subalpine grassland. *Journal of Applied Ecology* 44: 158-167.
- Soil Survey Staff.** 1975. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys. SSS Soil Conservation Service. Agric, Handbook Nº 436. US Gov printing office. Washington, D.C.
- . 1992. Soil survey laboratory methods manual. Soil Conservation Service. U.S. Dept. of agriculture. Rpt. No. 42. Washington. DC.
- . 1993. Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Handbook 18.
- . 2006. Keys to Soil taxonomy. Ninth edition. SSS Soil Conservation Service. Agric. US Gov printing office. Washington, D.C.
- Stuart, R, King, J, Van Wambeke A.** 1985. Calculated soil climate regimes of the Yemen Arab Republic Taxonomy and management of vertisols and aridisols. Proceedings of fifth international soil classification workshop, Sudan. p. 27-35.
- Tavernier, R. & Van Wambeke, A.** 1976a. Determination of soil moisture regimes in Spain used the Newhall mathematical model. *Agrochimica*. (In Spanish). 20, Nº 45. p. 407-412.
- & **Van Wambeke, A.** 1976b. Determination of soil moisture regimes in the Maghreb used the Newhall model. *Pedology*. (In French). 26: 168-178.
- Thorntwaite, CW & Mather, JR.** 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology, laboratory of Climatology, Publications in Climatology. 10(3): 311.

- Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Zalud, Z., Svoboda, M., Hayes, M. & Wilhite, D.** 2002. Drought event probability in the Czech Republic under the present and changed climatic conditions- Unpubl. NATO Science Program. University of Agriculture and Forestry Brno. Czech Republic.
- Ubalde, JM., Rius, J., Poch, RM.** 1999. Monitorización de los cambios del uso del suelo en la cabecera de la Cuenca Ribera Salada mediante fotografía aérea y SIG [El Solsonès, Lleida, España]. Pirineos. 153-154. p. 101-122.
- Van Wambeke, A.** 1976. Computation of soil temperature and moisture regimes in Lebanon and Syria according to F. Newhall's model- Unpubl. Cornell University. Ithaca, NY, USA. 20 p.
- _____. 1981. Calculated soil moisture and temperature regimes of South America. Soil Management Support Services Technical Monograph N° 2. USDA-SCS. Washington, D.C.
- _____. 1982. Calculated soil moisture and temperature regimes of Africa. Soil Management Support Services Technical Monograph n° 3. USDA SCS. Washington, D.C.
- _____. 1985. Calculated soil moisture and temperature regimes of Asia. Soil Management Support Services Technical Monograph n° 9. USDA-SCS. Washington, D.C.
- _____. 2000. The Newhall simulation model for estimating soil moisture and temperature regimes. Department of crop and soil science. Cornell University, Ithaca, NY, USA.
- Verdú, JM., Batalla, RJ., Poch, RM.** 2000. Dinámica erosiva y aplicabilidad de modelos físicos de erosión en una cuenca de montaña mediterránea [Ribera Salada, Cuenca del Segre, Lleida, España]. Pirineos. 155: 37-57. [In Spanish, with English abstract].
- Waltman, W., Ciolkosz, E., Mausbach, M., Svoboda, M., Miller, D. & Kolb, P.** 1997. Soil climate regimes of Pennsylvania. Penn State Agricultural Experiment Station Bulletin 873. Iowa State University. National Soil Survey Centre. Lincoln. Nebraska.
- Waltman, W., Goddard, S., Reichenbach, S., Gu, G., Cottingham, J., Peake, J., Tadesse, T., Harms, S. & Deogun, J.** 2002. Digital government: reviving the Newhall simulation model to understand the patterns and trends of soil climate regimes and drought events- Unpubl. Dept. of Computer Science and Engineering. University of Nebraska. Lincoln.
- Watson, J.** 1981. Estimation of soil moisture regimes for classifying soil according to the United States System. Zimbabwe J. Agric. Res. 19: 229-231.
- Wösten, JHM, Bouma, J, Stoffelsen, GH.** 1985. Use of soil survey data for regional soil water simulation models. Soil. Sci. Soc. Am. J. 49: 1238-1244.

Recibido: febrero 5 de 2010

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

CO₂ Y RADIACIÓN SOLAR: ¿CAUSANTES DEL CALENTAMIENTO GLOBAL?

Por

Gabriel Bayona^{1*}, Yuri C. García¹, Heiner R. Sarmiento^{1,2}

Resumen

Bayona, G., Y. C. García & H. R. Sarmiento: CO₂ y radiación solar: ¿causantes del calentamiento global? Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 339-345, 2010. ISSN 0370-3908.

La relación causa-efecto entre la temperatura global como indicadora del cambio climático en el planeta con algunos de los principales mecanismo forzantes (concentración de CO₂ atmosférico, irradiación solar y actividad volcánica) es analizada en este artículo mediante el análisis de series de tiempo para el periodo 1610-1990 AD, comparando la relación entre las tendencias y la variabilidad en los espectros de frecuencia. La temperatura parece acoplarse a la tendencia del CO₂ para el último siglo, pero no se encontró una relación de causa-efecto en esta escala de tiempo. El análisis de frecuencias indica una concordancia entre irradiación y temperatura para un periodo de 22 años. El volcanismo presenta una relación inversa con la temperatura mejor observada para una escala decadal.

Palabras clave: cambio climático, CO₂, radiación solar.

Abstract

A cause-effect relationship between global temperature as a climatic change indicator and some of the main forcing mechanisms (Atmospheric CO₂ concentration, solar radiation and volcanic activity) are analyzed in this paper through time series analysis for the 1610-1990 AD period comparing trends and variability for the frequency spectrums. Temperature seems to fit the CO₂ trend for the last century, but we found no cause-effect relationship for this interval. The frequency analysis shows a correlation between radiation and temperature for a period of 22 years. Volcanism presents an inverse relationship with temperature better seen at a decadal scale.

Key words: climatic change, CO₂, solar radiation.

¹ Área de Ciencias del Mar, Departamento de Geología, Universidad EAFIT. Carrera 49 N° 7 Sur - 50, Medellín, Colombia.

² ECOPETROL- ICP, Km 7 Via Piedecuesta, Piedecuesta, Santander.

* Correo electrónico: gbayonaf@eafit.edu.co

1. Introducción

El clima de la Tierra ha cambiado constantemente a lo largo de su historia, sin que la época actual represente en sí una anomalía en esta ciclicidad. Se ha sugerido que la aparición del hombre, y más específicamente, su actividad industrial durante los últimos 200 años movida por la quema de combustibles fósiles y producción agrícola ha influenciado la fase del ciclo climático durante este periodo, y se discute en la actualidad sus repercusiones para los próximos 100-150 años de la civilización. Ha habido periodos en que vastas regiones han estado cubiertas de hielo, o por extensos bosques, sin que el hombre haya tenido que ver algo con ello. En un recorrido a lo largo del Holoceno encontramos un periodo que duro cerca de 3 milenios hace aproximadamente 6.000 años conocido como el Máximo del Holoceno, durante el cual las temperaturas fueron significativamente mayores a las actuales. Para el pasado reciente se sugiere la ocurrencia de un periodo de enfriamiento generalizado del clima conocido como la Pequeña Edad de Hielo (LIA por sus siglas en ingles), comprendido entre 1300-1800 AD (**Bradley and Jones, 1993; Jones et al., 2001; Jones and Mann, 2004**), el cual fue subsecuente a un periodo cálido (800-1300 AD) que mantuvo temperaturas semejantes a las actuales, llamado Óptimo Medieval o Periodo Cálido Medieval (MWP) (**Hughes and Diaz, 1994**), en el cual las temperaturas fueron un poco más altas. De acuerdo con el IPCC (**Houghton et al., 2001**) las reconstrucciones climáticas, como simulaciones con modelos, sugieren que períodos cálidos con temperaturas mayores a las actuales durante el holoceno temprano y medio, estuvieron asociados con cambios en los parámetros orbitales, sin embargo parámetros como la actividad volcánica, la irradiación solar o la influencia de rayos cósmicos no explican el calentamiento global actual.

1.1. El CO₂ y la radiación solar como moduladores de la variabilidad climática

El debate en relación al cambio climático y el aumento gradual de la temperatura media global se ha centrado en gran parte en el efecto antrópico, siendo numerosos los estudios que lo relacionan con el aumento de emisiones de CO₂ (**Bradley & Jonest, 1993; Joos & Spahni, 2008; van Hoof et al., 2008**). Sin embargo, el efecto invernadero del CO₂ es relativamente secundario en comparación con el vapor de agua (Figura 1). Sin embargo la diferencia entre estos últimos en la escala de tiempo reciente radica en que el contenido de vapor de agua ha permanecido constante mientras que la del CO₂ se ha incrementado. Por otra parte, la concentración de CO₂ en la atmósfera representa una fracción medida en decenas de partes por millón, que en

otros términos corresponde solo al 0,054 % de la mezcla de gases de invernadero (**Wallace & Hobbs, 1977**). Es bien conocido que la producción de CO₂ de origen antrópico se ha incrementado en el último siglo aumentando gradualmente hasta alcanzar valores del orden de 6 gton/año en el 2000 (**Karl & Trenberth, 2003**). Sin embargo, esta cantidad es significativamente menor a la producida anualmente por los volcanes en todo el mundo i.e. 6,5 gton. **Gerlach (1991)** afirma que la erupción de un volcán promedio arroja más CO₂ a la atmósfera que el hombre en una década, sin embargo la emisión total de CO₂ por los volcanes en el presente es incierta y en comparación, las emisiones actuales por el hombre son 150 veces mayores.

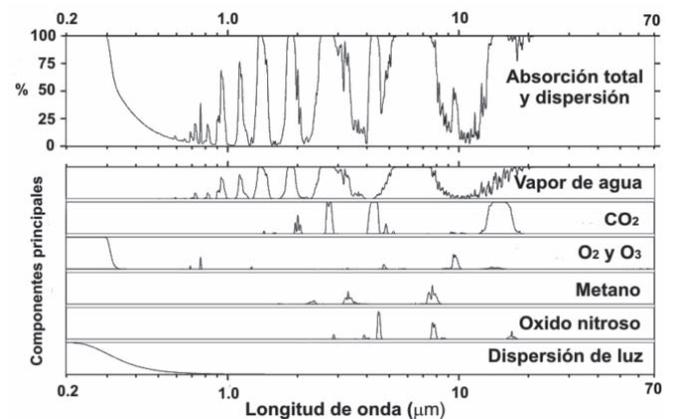


Figura 1. Espectro de absorción de los principales gases de invernadero de la atmósfera. El vapor de agua cubre un espectro mayor a todos los demás gases (modificado de **Burch et al., 1968**).

Una fuente aún mayor de CO₂ a la atmósfera es el océano (**Burch et al., 1968**) que también es su mayor reservorio. El intercambio de CO₂ con la atmósfera se basa en la ley de Henry. Si se calienta la superficie del océano se liberará CO₂ en forma gaseosa, y de manera opuesta, si se enfria se disolverá CO₂ atmosférico. Sin embargo, dado el volumen de los océanos, estos tardan cientos de años enfriarse o calentarse, conservando así una memoria de la temperatura hasta por 10.000 años (**Wunsch, 1996**). Por esta razón, cambios visibles hoy en el océano, pueden corresponder a alteraciones en el sistema ocurridas hace cientos de años. El aumento de la temperatura global y el CO₂ es fácilmente comprobable mediante mediciones. Sin embargo, la relación entre los dos es todavía objeto de investigación. **Idso (1998)** realizó varios experimentos con diferentes condiciones naturales y concluyó que aunque los modelos muestran que un aumento de 300-600 ppm causaría un aumento de varios grados de temperatura, en condiciones naturales este aumento sería solo de unas décimas de grado. Otro gas de invernaderos importante es el metano (CH₄), pro-

ducido antropogénicamente en zonas de grandes cultivos y humedales. **Ruddiman** (2003) plantea la hipótesis de una alteración del ciclo natural del CH₄ por parte del hombre hace aproximadamente 5.000 años, basado en su incremento anómalo para el Holoceno, al igual que el CO₂ se esperaría que descendiera siguiendo patrones análogos a los de los ciclos glaciales e interglaciales previos. Por otro lado, la concentración de campos magnéticos solares, conocidos como manchas solares, parecen modular directamente la temperatura del planeta. Esta alteración del ciclo de actividad solar tiene un periodo de aproximadamente 11 años (**Lean et al.**, 1995). Durante la pequeña edad de hielo hubo pocas manchas solares, y paso a conocerse como el mínimo de Maunder (**Maunder**, 1904).

1.2. Las nubes como termostato

La formación de nubes es un proceso que se origina por la interacción entre moléculas de agua evaporadas y rayos cósmicos provenientes del espacio, concretamente por emisiones de supernovas. Esta relación parece ser producto de la ionización de la parte baja de la atmósfera, principalmente por efecto de los rayos cósmicos que generan reacciones a nivel nuclear al ingresar a la atmósfera (**Svensmark**, 1998). Durante periodos de intensa actividad del sol, el viento solar desvía los rayos cósmicos y se inhibe la formación de nubes, por lo que la Tierra recibe una influencia más directa de los rayos del sol (Figura 2). **Shaviv** (2005) realizó una comparación entre el registro de rayos cósmicos y la temperatura en la Tierra para los últimos 600 Ma, y encontró una relación inversa entre los 2 registros. En un artículo clásico, **Dickinson** (1975) analiza la influencia de la radiación solar, así como la cantidad de energía absorbida por las nubes y reflejada por la superficie en el balance de formación de nubes en la tropósfera,

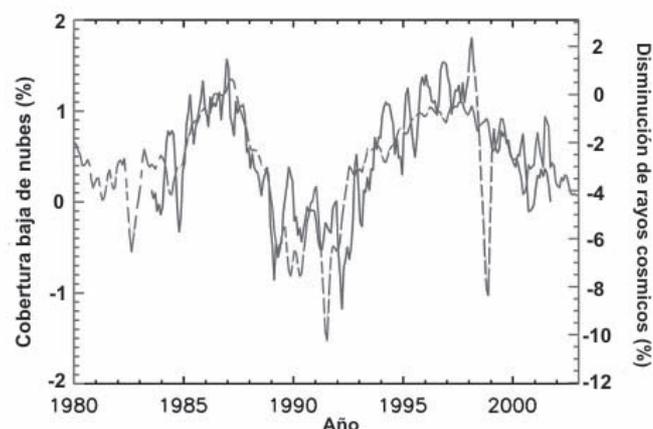


Figura 2. Relación entre la nubosidad en la baja atmósfera (tropósfera) y el porcentaje de rayos cósmicos incidentes (modificado de **Svensmark**, 1998).

observando la relación indirecta entre la nucleación de nubes en esta capa baja de la atmósfera y la radiación solar.

En el presente trabajo se hace una revisión de la variabilidad de la temperatura global durante los últimos 400 años a la luz de los procesos ambientales involucrados en la dinámica de la misma, buscando explorar una relación causa – efecto. Como hipótesis nula se plantea la dependencia del aumento y variabilidad de la temperatura global con la variabilidad de los niveles de CO₂ atmosférico, y la dependencia de esta variabilidad como efecto de la radiación solar. Asimismo, se realizan análisis comparativos con la actividad volcánica para este periodo como posible mecanismo forzante secundario.

2. Métodos

Para este estudio se tomaron datos de reconstrucciones de temperatura global anual para los últimos 400 años (1610-1995 AD) (**Mann et al.**, 2008), concentración de CO₂ atmosférico, forzamiento volcánico (**Mann et al.**, 1998), e irradiación solar (**Lean et al.**, 1995), tomados de la base de datos de la NOAA (<http://www.ncdc.noaa.gov>). De acuerdo a sugerencias del NRC (National Research Council) en el 2006 estas reconstrucciones de temperatura se realizaron con un conjunto de datos multi-indicadores expandido para periodos decadales a centenales, junto a datos instrumentales actualizados, cuya consistencia se valida con pruebas en experimentos simulados. Es importante considerar sin embargo, el error en la precisión que tienen los modelos de edad, sobretodo para conjuntos de datos con escaso control cronológico (**Telford et al.**, 2004).

Para establecer la correlación entre las diferentes variables ambientales y la señal climática se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre la temperatura y cada una de las variables ambientales: concentración de CO₂, forzamiento volcánico e irradiación solar. Con el fin de determinar la periodicidad en la variabilidad climática, se realizó un autocorrelograma de la serie de temperatura. Finalmente, la correlación en periodicidad de la señal climática se definió mediante un análisis de correlación cruzada con las diferentes variables ambientales y análisis espectral para definir las frecuencias dominantes en la señal. Los análisis y resultados fueron procesados en el programa MATLAB®.

3. Resultados

3.1. Descripción y correlación climática – ambiental

Observando la curva de anomalías de la temperatura de **Mann et al.** (2008) (Figura 3), para los últimos 400 años, es

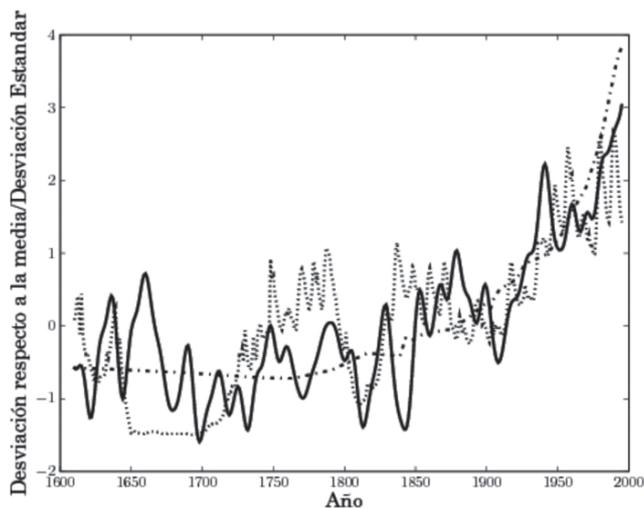


Figura 3. Series de tiempo (línea continua: temperatura, línea discontinua: CO_2 , línea punteada: radiación solar), para los últimos 400 años. Note que aunque la tendencia similar de las tres curvas es similar, la variabilidad entre radiación y temperatura muestra una relación de causa-efecto más notable que con el CO_2 .

aparente la fase final de la llamada pequeña edad de hielo cuyos valores son menores que el promedio. Para este intervalo de tiempo no se alcanza a observar el óptimo climático medieval, pero si se aprecia como las temperaturas vuelven a aumentar en los últimos 120 años, i.e. desde mediados del siglo XIX. Aunque la temperatura media de la Tierra ha subido medio grado centígrado, la mayor parte de este calentamiento ocurrió antes de la revolución industrial ocurrida tras las dos últimas guerras mundiales (van Hoof *et al.*, 2008). De hecho, en la curva se observa que el mayor gradiente de temperatura ocurre antes de 1950.

Por su parte, la curva de CO_2 (Mann *et al.*, 1998) presenta promedios anuales y se pierde la variación semestral que tiene esta variable. Sin embargo, es visible un aumento del gradiente para el último siglo, siendo mayor para las primeras décadas. Para el periodo de postguerra, el gradiente es bajo hasta después de la depresión de 1975 cuando nuevamente aumenta rápidamente hasta la actualidad. La tendencia entre la temperatura y el CO_2 es similar, con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,8537, donde el 72% de la varianza de la temperatura es explicada por la varianza de la concentración de CO_2 (Tabla 1). Siegenthaler (2005) encuentra en un estudio similar pero para un periodo más largo (390-650 años) un coeficiente de correlación más bajo (0,7) entre estos parámetros.

Con respecto a la radiación solar (Lean *et al.*, 1995), es claramente visible la disminución para el final del siglo XVI,

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson y determinación entre la temperatura y las variables ambientales.

	r_2	r
CO_2	0.8537	0.7287
Rad. solar	0.6837	0.4675
Forz. volcánico	-0.1223	0.0150

en el llamado Mínimo de Maunder. Aunque la variabilidad de la temperatura puede confundir en periodos interanuales, se observa que corresponde a temperaturas más bajas que el promedio. Para alrededor de 1810 es más clara la relación entre la radiación y la temperatura en el denominado Mínimo de Dalton. El coeficiente de correlación de Pearson entre temperatura y radiación muestra un $r = 0,68$, donde el 47% de la variabilidad de la temperatura es explicada por la variabilidad en la radiación. Dado que en algunos años la relación entre las variables es inversa, se realizó una suavización de los datos para obtener un $\Delta t = 5$ años (Figura 4) para apreciar mejor el intervalo de tiempo para el cual se conjugan la temperatura y la irradiación y se determinó que el acoplamiento de temperatura e irradiación se refleja mejor en periodos promedio de 5 años.

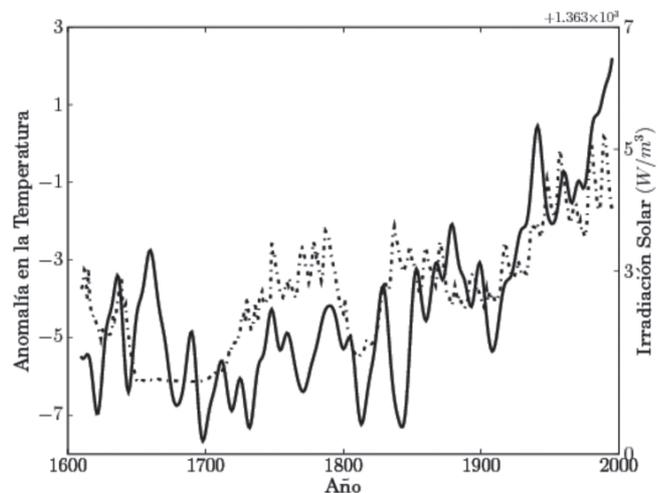


Figura 4. Sobreposición de la temperatura global (línea continua) y la irradiación solar (línea punteada) aplicando un promedio $\Delta t = 5$ años. Con esta visualización de los datos se observa mejor la correspondencia entre las 2 variables.

Finalmente, la relación entre el forzamiento volcánico y el calentamiento aparece más claramente cuando se realiza un suavizado de las series de datos obteniendo un $\Delta t = 10$ años (Figura 5). Al parecer el efecto de las nubes de ceniza provocadas por las erupciones en este intervalo de tiempo, se refleja en una disminución de la temperatura global.

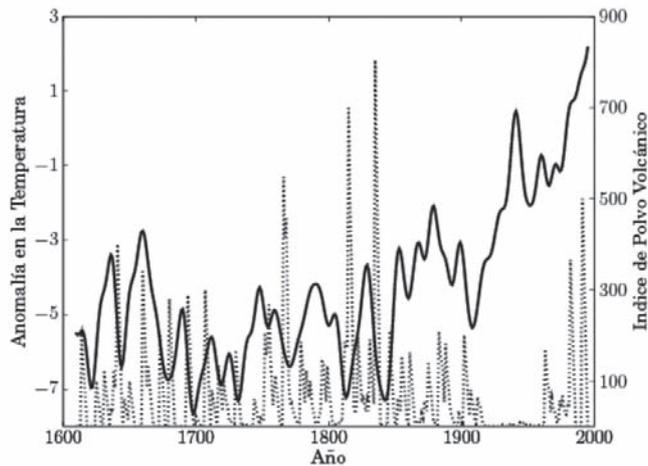


Figura 5. Sobreposición de la temperatura global (línea continua) con la actividad volcánica (línea punteada) aplicando un suavizado con $\Delta t = 10$ años. Note como los momentos de máxima actividad volcánica decadal se correlacionan inversamente con periodos de temperaturas bajas.

No se realizó análisis de correlación cruzada entre esta variable y la temperatura puesto que el volcanismo no es un fenómeno con una recurrencia definida, y su efecto es más bien de forzamiento secundario. Se encuentra en este caso que la relación es inversa, tal como lo indica el coeficiente de correlación ($r = -0,1223$) y la anti-fase presente para varios periodos en nuestra serie de tiempo.

cientemente de correlación ($r = -0,1223$) y la anti-fase presente para varios periodos en nuestra serie de tiempo.

3.2. Periodicidad y frecuencia de la señal climática

El análisis de periodicidad y autocorrelación de la serie de CO₂, refleja que no responde a una frecuencia particular y se trata de una variable en aumento sin ciclicidad. Esto puede deberse a la longitud de la serie, que puede no alcanzar a mostrar periodos mayores de la señal. **van Hoof et al.** (2008) realizan una reconstrucción de los niveles de CO₂ preindustriales con base en vegetación preservada en lagos y humedales y encuentra que el CO₂ no debe descartarse como modulador climático para periodos anteriores a la industrialización. Por otro lado, el diagrama de correlación cruzada entre temperatura y radiación solar (Figuras 6a y 6c), muestra que ambas responden a un periodo aproximado de 20 años, el cual estaría asociado a los ciclos de manchas solares de aproximadamente 11 años (**Lean et al.**, 1995). De acuerdo al IPCC, desde la época preindustrial (1750), hasta el presente, la irradiancia solar ha aumentado gradualmente causando un pequeño forzamiento radiativo (0.3 Watt/m^2) en el balance energético del sistema Tierra- atmósfera el cual es pequeño en comparación con el forzamiento radiativo debido al incremento del CO₂ durante el mismo periodo (1.66 Watt/m^2) (**IPCC**

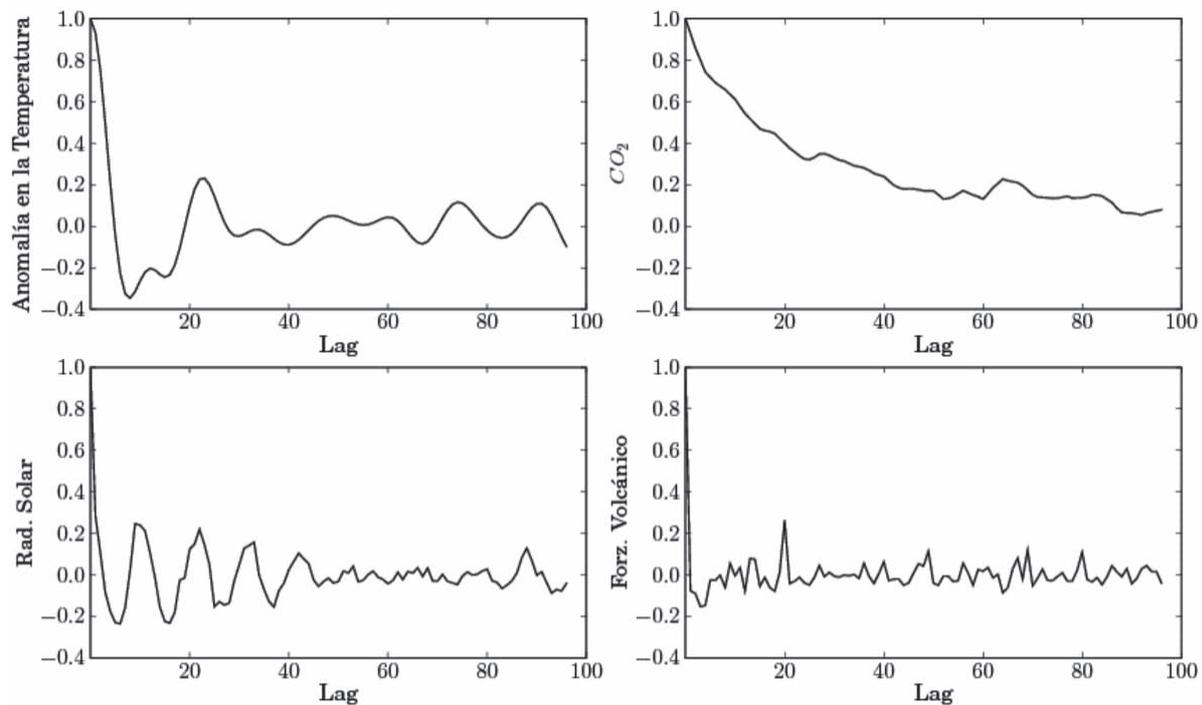


Figura 6. Diagramas de auto correlación para a) temperatura global, b) concentración de CO₂, c) radiación solar, d) actividad volcánica. Note que para las variables de temperatura y radiación hay un coeficiente de autocorrelación destacado para un periodo aproximado de 20 años.

technical summary, 2007). Este pequeño valor de forzamiento, 0.3 Watt/m², incluye el efecto de las manchas solares.

Este resultado concuerda con los periodos encontrados en el espectro de frecuencias de la temperatura (Figura 7), donde se observa una variación periódica concordante entre 20-22 años.

Los registros de actividad solar encontrados (**Friis-Christensen & Lassen, 1991**) revelaron una concordancia notable entre esta variable y la temperatura en la Tierra para los últimos 400 años, lo que al parecer muestra que es el sol y no el CO₂ el principal regulador del clima en la Tierra. A pesar de esto, el coeficiente de correlación entre la radiación solar y la temperatura $r = 0,68$ es menor que con el CO₂, ($r = 08,85$). Esto puede deberse a que el CO₂ se comporta como una variable en aumento directo sin la variabilidad intrínseca que posee la radiación solar.

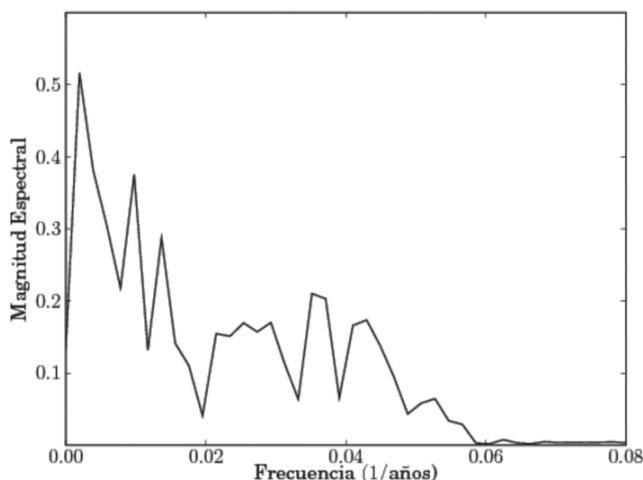


Figura 7. Espectro de frecuencia para la temperatura. El resultado debe interpretarse para frecuencias iguales a la mitad del rango de datos, en este caso 400 años, por lo tanto los periodos significativos en esta gráfica son 0,035 y 0,045 que corresponden a una frecuencia aproximada de 20-22 años.

4. Conclusiones

El escenario resultante de nuestros análisis sugiere la existencia de una relación estrecha entre las tendencias de las curvas de temperatura global y la concentración de CO₂ atmosférico. Sin embargo, encontrar una relación causa y efecto entre estas 2 variables requiere considerar el proceso de interacción no lineal de retroalimentación entre ellas, el cual provoca que el efecto refuerce o disminuya la

causa y viceversa. Por otra parte, la radiación solar presenta una variabilidad comparable con la de la temperatura, coincidiendo en periodos de más o menos 22 años que podrían relacionarse a la periodicidad de los ciclos de manchas solares de 11 años. El volcanismo muestra una relación inversa incipiente con la temperatura, mejor observada para un análisis de variación decadal.

Una de las maneras de asegurar que la relación entre series de tiempo es certera es considerar un intervalo de tiempo mayor, por lo que es recomendable realizar un ejercicio similar para datos que vayan más allá del Holoceno, tal como el realizado por **Siegenthaler (2005)** utilizando la serie de tiempo obtenida de los núcleos de Vostok en la Antártida o similares que abarcan un periodo que va hasta los 400 años. En una serie tal, es posible hallar nuevas periodicidades y establecer una relación más clara entre las variables estudiadas.

5. Agradecimientos

Esta contribución forma parte de los estudios de Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad EAFIT, de los tres primeros autores. Los autores agradecen al Dr. Juan D. Restrepo, al Dr. Jose Ignacio Martínez y al evaluador de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por sus aportes técnicos y sugerencias al manuscrito. G. Bayona & Y. García agradecen a la Fundación *Leverhulme Trust* (Inglaterra) por el apoyo económico. H. R. Sarmiento agradece a ECOPETROL-ICP por el aporte económico. Los datos utilizados en este análisis fueron tomados de la base de datos de la NOAA (<http://www.ncdc.noaa.gov>).

6. Referencias

- Bradley, RS. & Jonest, PD.** 1993. 'Little Ice Age' summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene* **3**(4): 367-376.
- Burch DE, Gryvna, DA. & Patty, RR.** 1968. Absorption of infrared radiation by CO₂ and H₂O. II. Absorption by CO₂ between 8000 And 100000 cm⁻¹(1-1.25 Microns). *J. Opt. Soc. Am.* **58**(3): 335-340.
- Dickinson, RE.** 1975. Solar variability and the lower atmosphere. *Bulletin of the American Meteorological Society* **56**(12): 1240-1248.
- Friis-Christensen, E & Lassen, K.** 1991. Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. *Science* **254**(5032): 698-700.
- Gerlach, T.** 1991. Present-day CO₂ emissions from volcanoes. *Transactions of the American Geophysical Union (EOS)* **72**(23): 254-255.
- Houghton, JT., Ding, Y., Griggs, DJ., Noguer, M., van der Linden, PJ., Dai, X., Makell, K., Johnson, CA.** 2001. Climate

- Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 94 p.
- Hughes, MK & Diaz, HF.** 1994. Was there a Medieval Warm Period', and if so, where and when?. *Climatic Change* **26**(2): 109-142.
- Idso, SB.** 1998. CO₂-Induced Global Warming: A Skeptics View of Potential Climate Change, *Clim Res* **10**(1): 69-82.
- IPCC, Technical Summary.** 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report.
- Jones, PD & Mann, ME.** 2004. Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics* **42**: 1-42.
- Jones, TJ, Osborn, & Briffa, KR.** 2001. The evolution of climate over the last millennium. *Science* **292**: 662-666.
- Joos, F. & Spahni, R.** 2008. Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**(5): 1425-1430.
- Karl, TR. & Trenberth, KE.** 2003. Modern global climate change. *Science* **302**(5651): 1719-1723.
- Lean, J., Beer, J. & Bradley, R.** 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophysical Research Letters* **22**: 3195-3198.
- Mann, ME., Bradley, RS. & Hughes, MK.** 1998. Global scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* **392**: 779-787.
- , **Zhang, Z., Hughes, MK., Bradley, RS., Miller, SK., Rutherford, S. & Ni, F.** 2008. Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**(36): 13252-13257.
- Maunder, EW.** 1904. Note on the distribution of sun-spots in heliographic latitude, 1874-1902. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **64**: 747-761.
- Telford, R., Heegaard, E., Birks, H.** 2004. All age–depth models are wrong: but how badly?. *Quaternary Science Review* **23**: 1-5.
- Ruddiman, WF.** 2003. The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change* **61**: 261-293.
- Shaviv, NJ.** 2005. On climate response to changes in the cosmic ray flux and radiative budget, *Journal of Geophysical Research*, **110**: A8.
- Siegenthaler, U., Stocker, T., Monnin, E., Lüthi, D., Schwander J., Stauffer, B., Raynaud D., Barnola, JM., Fischer, H., Masson-Delmotte, V., Jouzel, J.** 2005. Stable Carbon Cycle-Climate Relationship During the Late Pleistocene. *Science* **310** (5752): 1313-1317.
- Svensmark, H.** 1998. Influence of cosmic rays on earth's climate, *Phys. Rev. Lett.* **81**(22): 5027-5030.
- Telford, R. Heegaard E, Birks H.** 2004. All age–depth models are wrong: but how badly?. *Quaternary Science Review* **23**: 1-5.
- van Hoof, TB., Wagner-Cremer, F., Kurschner, WM. & Visscher, H.** 2008. A role for atmospheric CO₂ in preindustrial climate forcing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**(41): 15815-15818.
- Wallace, JM. & Hobbs, PV.** 1977. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*, Academic Press, 504 p.
- Wunsch, C.** 1996. *The ocean circulation inverse problem*. Cambridge, University Press 442 p.

Recibido: noviembre 25 de 2009

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

LOS RELLENOS SANITARIOS EN LATINOAMÉRICA: CASO COLOMBIANO

Por

Katia M. Noguera¹, Jesús T. Olivero²

Resumen

Noguera, K. M. & J. T. Olivero: Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 347-356, 2010. ISSN 0370-3908.

El manejo y la eliminación de residuos sólidos domésticos son problemas críticos en las áreas urbanas de América Latina. En Colombia, por lo general, el destino final de estos residuos es su disposición en rellenos sanitarios. Esta revisión tiene como objetivo proporcionar información básica sobre las condiciones generales de estos sitios en las principales ciudades del país. Aunque los rellenos que existen en la actualidad poseen diversidad de problemas operativos, los encontrados con mayor frecuencia son un inadecuado tratamiento de los lixiviados, la emisión de olores desagradables y un manejo pobre de la cobertura de los residuos sólidos. Aunque es necesario mejorar la operación y el mantenimiento de los rellenos, también es urgente incrementar el compromiso de las Agencias Ambientales y de Salud en programas que disminuyan la producción de basuras y promuevan el uso sostenible de aquellos residuos con valor económico.

Palabras clave: relleno sanitario, residuos sólidos, lixiviados, Colombia.

Abstract

The management and disposal of domestic solid waste are critical issues in urban areas of Latin America. In Colombia, in general, the final destination of this waste is its deposition in landfills. This review aims to provide basic information on general conditions of these sites in major cities of the country. Although existing landfills have diversity of operational problems, those most frequently include an inadequate treatment of the leachates, the emission of unpleasant odors and poor management of solid waste coverage. Although it is necessary to improve the operation and maintenance of landfills, it is also urgent to increase the commitment of Health and Environmental Agencies on programs that reduce waste production and promote the sustainable use of those wastes with economical value.

Key words: landfills, solid waste, leachates, Colombia.

¹ Grupo de Química Ambiental y Computacional, Universidad de Cartagena, correo electrónico: Kamanovid@yahoo.com

² Grupo de Química Ambiental y Computacional, Universidad de Cartagena, correo electrónico: joliverov@unicartagena.edu.co

Introducción

Las actividades antropogénicas siempre han generado residuos. Sin embargo, en un mundo de consumo como el actual, el volumen generado es inmenso y el término “basuras” para muchos es sinónimo de problema. En las ciudades el problema es mayor debido a la densidad poblacional. Ha sido estimado que el promedio mundial de producción por persona se encuentra por encima de un kilogramo diario (Muñoz & Bedoya, 2009), cifra elevada teniendo en cuenta que la población mundial es de 6700 millones de habitantes aproximadamente (US Census Bureau, 2009). De hecho, la producción de residuos varía en forma proporcional al consumo, al poder adquisitivo y las costumbres, entre otros factores. Así, en grandes ciudades de los Estados Unidos, cada persona genera en promedio entre 1,5 y 3 kilogramos diarios (Feuerman, 2002), mientras que en América Latina, la producción per cápita de basura, aunque se ha duplicado en las últimas tres décadas, oscila entre 0,5 y 1 kilogramo diario, con el agravante de la participación creciente de materiales tanto no degradables como tóxicos (Ripoll, 2003). La producción de basura en las principales ciudades de algunos países de Latinoamérica es presentada en la Tabla 1. Es evidente que para la mayoría de los países existe una clara relación entre la cantidad de residuos generados y el número de habitantes en las ciudades.

Los residuos una vez recolectados pueden ser asignados a diversos procesos de transformación; incluyendo el reciclaje, el aprovechamiento energético, la elaboración de compost, la producción de biogás y la formulación de combustibles alternos, entre otros. Estos procesos deben estar enmarcados dentro de una Gestión Integral de Residuos Sólidos, de tal forma que representen beneficios sanitarios, ambientales, sociales, económicos e inclusive culturales. Cuando el aprovechamiento de las basuras no es posible, el relleno sanitario, y en algunos casos la incineración, aparecen como opciones para la disposición final de las mismas. Sin embargo, cada día se insiste con mayor frecuencia en el aprovechamiento de los residuos, y la tendencia actual es la disminución de la fracción de aquellos destinados en rellenos sanitarios, aumentando el incremento en las cifras correspondientes al reciclaje y el compost. La meta de muchos países, en particular los europeos, es en un futuro no utilizar rellenos sanitarios (Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental, 2003). Sin embargo, para los países latinoamericanos donde los recursos son limitados y construir una cultura de reciclaje toma tiempo, los rellenos sanitarios constituyen una opción segura a mediano y corto plazo, amigable con el ambiente y además económica, en comparación con otros métodos como la incineración (Collazos, 2009).

El relleno sanitario, de acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), es una “técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en el menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y cubriendo la basura allí depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria al fin de cada jornada” (Meléndez, 2004). Básicamente consta de celdas previamente impermeabilizadas donde una vez depositados, compactados y nivelados los residuos sólidos, estos son cubiertos con tierra u otro material inerte, al menos una vez al día. El manejo de los subproductos de la descomposición de los residuos es realizado en instalaciones cercanas al relleno. Estos subproductos en su mayoría corresponden a líquidos percolados, comúnmente denominados lixiviados, y el biogás, producto de la descomposición anaerobia de los residuos. En el caso de los lixiviados estos son recolectados en fondo de la celda y enviado a lagunas donde son tratados, o recirculados al interior del relleno. Por su parte, el biogás es recogido mediante la instalación subterránea de una red de tuberías, almacenados para su utilización posterior, o incinerado para convertirlo a CO₂ y de esta manera disminuir su capacidad de generación de calentamiento global. Finalizada la disposición de residuos en celda, esta es aislada mediante una cubierta adicional final.

El caso colombiano

La problemática ambiental de los residuos sólidos ha tomado fuerza en los últimos años, y se ha reglamentado a través del tiempo su recolección, transporte, tratamiento y disposición final. La política para la gestión de los residuos sólidos tiene su fundamento en la Constitución Política de Colombia, la Ley 99 de 1993 y la Ley 142 de 1994, siendo reglamentada en el Decreto 1713 de 2002, Decreto 2820 de 2010 y las Resoluciones del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 1045 de 2003, 838 de 2005, 1390 de septiembre 27 de 2005 (modificada por la resolución 1684 de 2008, y esta a su vez por la 1529 de 2010 del MAVDT Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial); en esta última se establecen pautas para el cierre de los sitios de disposición final (botaderos a cielo abierto u otros sistemas inadecuados) que no cumplan las obligaciones indicadas en los términos establecidos en la resolución 1045 de 2003 (Contraloría de Antioquia, 2005).

La política para la gestión de los residuos sólidos ha servido para establecer el marco normativo correspondiente a la estructuración de una metodología, con la cual se diseñan planes para el manejo de residuos sólidos (PGIRS) generados

Tabla 1. Producción diaria de toneladas de basura en las principales ciudades de Latinoamérica

País	Capital	Sitios de disposición final	Toneladas diarias	Población* No. de habitantes	Bibliografía (Toneladas, población)
Argentina	Ciudad Autónoma de Buenos Aires	Centro de disposición final No. 3	5000	2.768.772	CLARIN, 2003. INDEC, 2003.
Bolivia	La Paz	Relleno sanitario de Alpacoma	450	2.350.466	OPS, 2005 INE, 2008
Chile	Santiago de Chile	Rellenos sanitarios: Loma los Colorados, Santiago Poniente y Santa Marta.	~7100	5.875.013	CEAMSE, 2005 INE Chile, 2002
Colombia	Bogotá	Relleno sanitario Doña Juana	5891,8	6.778.691	SSPD, 2008 a. DANE, 2005
Cuba	La habana	Vertedero de la calle 100	1060	2.201.600	González, 2002 Montes, 2007
Ecuador	Quito	Relleno sanitario el Inga	1500	1.839.853	ARS, 2009 Vicepresidencia de Ecuador (Censo 2001)
El Salvador	San Salvador	Relleno sanitario de Nejapa	1609,62	316.090	EPA, 2007 Ministerio de Economía SV, 2008
Guatemala	Ciudad de Guatemala	Botadero a cielo abierto El Trébol o de la Zona 3	1500	3.762.960	Girel, 2007 INE Guatemala, 2002
México	México, distrito federal	Relleno sanitario del bordo poniente	12.000	8.720.916	Secretaría de Medio Ambiente México, 2008 INEGI, 2005
Perú	Lima	Cinco rellenos sanitarios autorizados: Casren, Zapallal, Portillo Grande, Huaycoloro y La Cucaracha.	8938,5	8.445.200	Ministerio del Medio Ambiente Perú, 2008 INEI, 2008
Venezuela	Caracas	Relleno sanitario la Bonanza	4000	2.758.917	Fitchrating, 2008 INE Venezuela, 2002

* Últimos censos oficiales.

en el país. Los PGIRS son un conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos sólidos producidos, el destino más adecuado de acuerdo con sus características, costos y posibilidades tecnológicas y de comercialización (**Presidencia de la República**, 2004). Los municipios deben presentar estos planes de acuerdo con la normatividad vigente, y llevarlos a cabo bajo la supervisión de los organismos de control correspondientes. Todas estas

acciones en materia legislativa deben propender por lograr un manejo adecuado de las basuras, definiendo condiciones para acabar con los botaderos a cielo abierto y fomentando de manera simultánea la utilización de los rellenos. Es claro que en el último lustro el manejo de los residuos domiciliarios ha mejorado; sin embargo, el camino hacia la correcta disposición de los mismos es largo y dependerá tanto de acciones gubernamentales como de la comunidad.

Según informe de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) en el año 2008 en Colombia se generaron aproximadamente 25.079 toneladas diarias de residuos, de las cuales el 90,99% (22.819,2 ton/día) fueron dispuestas en rellenos sanitarios o plantas integrales de tratamiento de residuos sólidos; persistiendo la disposición inadecuada del 9,01% restante (2,26 ton/día) representados en 283 botaderos a cielo abierto, 19 enterramientos, 7 quemas y 8 cuerpos de agua. En Colombia existen 1112 municipios, de los cuales solo 1088 poseen reportes sobre el tipo de disposición que utilizan para sus residuos: 653 de estos lo hacen en rellenos sanitarios, ya sean regionales o no, 98 en plantas integrales y 337 municipios aun presentan disposición inadecuada de los mismos. Las cifras y el informe dado por la superintendencia se basan en datos tomados de la información suministrada por las entidades prestadoras del servicio público de aseo, las autoridades ambientales y los alcaldes municipales al Sistema Único de Información – SUI, donde se reportan los datos relacionados con el desarrollo de la actividad de disposición final en su jurisdicción. Sin embargo, dicho informe aclara que no refleja la calidad de operación de estos sitios a pesar de que posean licencia ambiental para su funcionamiento.

En Colombia, como en la mayoría de países, el servicio de aseo es de carácter público y responsabilidad del Estado. Los rellenos sanitarios como sistemas de disposición final de los residuos sólidos, deben ser proporcionados en principio por las Alcaldías de cada municipio conforme a la ley 99 de diciembre 22 de 1993 y el Decreto 1713 de 2002, pero el municipio puede contratar con la empresa privada, a partir de licitaciones. Las Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), tienen funciones de vigilancia, así como las Contralorías en su papel de Ente de Control Fiscal Ambiental de acuerdo con la Ley 42 de 1993 y el Ministerio Público (conformadas por las procuradurías, defensorías del pueblo y personerías) como entes que controlan el buen desarrollo de las funciones estatales, en este caso la correcta prestación de un servicio público. A continuación se revisa las características y situación de los rellenos sanitarios de las principales ciudades de Colombia de acuerdo con los reportes e informes ambientales disponibles más actuales.

Cundinamarca-Bogotá

El Distrito Capital de Colombia (Población: 6.778.691 habs.) cuenta con el relleno sanitario de Doña Juana, en el cual se disponen los residuos de 6 municipios con un promedio de 5.891,8 ton/día, y de las cuales Bogotá aporta 5880 ton/día

(SSPD, 2008 a). El relleno está ubicado en la vía a Usme, en el suroriente de Bogotá (4°29'50.59" N y 74°08'43.28" O) (Vista Satelital, Figura 1), y cuenta con un área de 472 ha, de las cuales 219 están destinadas para el depósito de las basuras y capacidad para recibir desechos hasta el año 2012 (RGS, 2007).

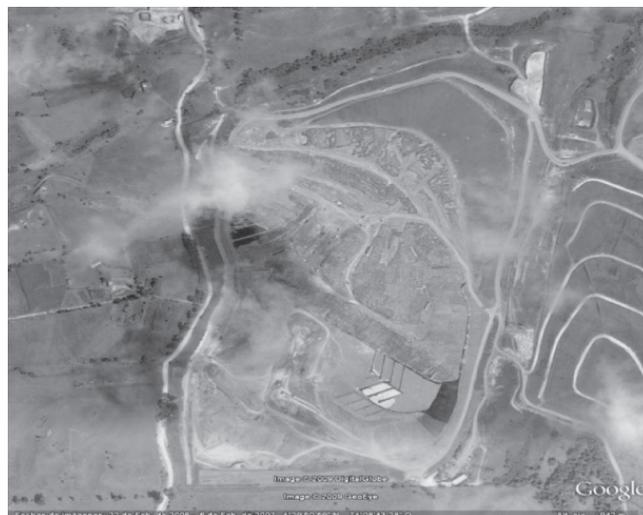


Figura 1. Relleno sanitario de doña Juana. Tomado de Google Earth.

Este relleno lleva más de 20 años de operación continua, y su historia ha estado marcada por su mal funcionamiento. En la actualidad presenta problemas diversos, tales como la proliferación de malos olores, vectores como moscas y roedores, debido a la exposición de basuras que no son cubiertas a tiempo, volúmenes de lixiviados superiores a la capacidad de la planta de tratamiento de los mismos (**Personería de Bogotá**, 2006), e inclusive deslizamiento de los desechos depositados, además de hundimiento y agrietamiento de dique (**Procuraduría general de La Nación**, 2009). A causa de estos problemas, las comunidades aledañas se han visto afectada, reportando tierras menos fértiles e infección del ganado (**Méndez et al.**, 2006).

Antioquia-Medellín

La ciudad de Medellín (Población: 2.219.861 habs.³), una de las tres ciudades más importantes de Colombia, dispone sus residuos sólidos en el relleno sanitario “Parque Ambiental La Pradera”, el cual es de tipo regional en donde un total de 22 municipios disponen sus residuos. El relleno se encuentra ubicado en un área de 354 hectáreas (**EEVVM**, 2009) en el municipio de Don Matías, a 57 km de

3 Datos de población, para todas las ciudades, tomados del último censo nacional (DANE 2005)

la ciudad de Medellín, y recibe 2.787 ton/día, de las cuales Medellín genera aproximadamente 1.795 ton/día de residuos sólidos (SSPD, 2008 a).

Este relleno sanitario presenta múltiples problemas de impacto ambiental, entre ellos la no existencia de un sistema de tratamiento para los lixiviados. En la actualidad cuenta con una laguna de estabilización como sistema de pre-tratamiento, el cual viene funcionando desde el año 2003. Los vertimientos tienen caudales muy grandes, causando contaminación de recursos hídricos cercanos como el Río Porce y las quebradas afluentes La Música, La Jagua y La Piñuela, pues en su composición se encuentran materiales persistentes y sustancias tóxicas (Corantioquia, 2006), las cuales han degradado la calidad de las aguas y de ecosistemas hídricos, en los que habitan especies que deben ser protegidas (Contraloría general de Antioquia, 2005). Las entidades de control han encontrado la intervención no autorizada de cauces naturales como la Quebrada la Piñuela, lo cual ha generado una alteración negativa sobre la dinámica poblacional de las especies animales y vegetales que habitan la cuenca de la quebrada (Contraloría General de Antioquia, 2005). Igualmente, el relleno genera olores ofensivos y es frecuente la presencia de vectores por ausencia de cobertura diaria de residuos sólidos en los vasos de La Carrilera y La Música, sumado a la ausencia de barreras vivas (Corantioquia, 2006). También se han presentado afectaciones de tipo abiótico por la falta de desarrollo de medidas compensatorias en materia forestal, pues la capacidad de erodabilidad de los suelos ha incrementado con la consecuente reducción de hábitats, alteración de la supervivencia de flora y fauna nativa de la zona, y alteraciones en el tránsito, permanencia y reproducción de las especies (Corantioquia, 2006).

Valle del Cauca - Cali

El municipio de Santiago de Cali (Población: 2.075.380 hab.) dispone sus residuos en el Relleno Sanitario de Yotoco o Colomba- El Guabal, el cual inició operaciones el 25 de junio de 2008 reemplazando el antiguo botadero de Navarro (SSPD, 2009). El proyecto posee un área de 363 ha. Está localizado en el área rural del municipio de Yotoco a 32,5 Km de la glorieta de Sameco. El relleno actualmente recibe 1800 ton/día de residuos provenientes de los municipios de Candelaria, Jamundí, Caloto, Villarica, Yumbo y Cali (EMSIRVA, 2008). A mayo de 2009 no contaba con planta de tratamiento de lixiviados y presentaba olores desagradables por el inadecuado manejo de los gases en el relleno (CVC, 2009).

Atlántico – Barranquilla

La capital del Departamento del Atlántico (población: 1.112.889 hab.) dispone sus basuras en el relleno sanitario

Los Pocitos, el cual entró en funcionamiento en marzo del 2009, reemplazando al antiguo relleno sanitario de Henegúen. El relleno está ubicado a 12 kilómetros al norte de la ciudad de Barranquilla en el Municipio de Galapa, por la vía que conduce al corregimiento de Juan Mina, y tiene una extensión de 135 ha (Minambiente, 2009). En promedio son depositadas 1600 ton/día de residuos sólidos provenientes de los municipios de Barranquilla, Soledad, Galapa y Puerto Colombia, y cuenta con una vida útil de 32 años (Presidencia de la República, 2008 a). Aunque entró en funcionamiento recientemente, en la actualidad presenta fallas que impactan el medio ambiente. A junio de 2009 se encontraba operando sin planta para el tratamiento de lixiviados, generando malos olores, vertimiento de basuras en las vías por sobre carga de carros colectores y destrucción de las vías terrestres aledañas al relleno (Gobernación del Atlántico, 2005).

Bolívar - Cartagena

A partir de enero de 2006, la disposición final de los residuos ordinarios en la ciudad de Cartagena (Población: 895.400 hab.) es realizada en el relleno sanitario denominado “Parque Ambiental Loma de los Cocos” (SSPD, 2008 b). Este relleno cuya vida útil ha sido considerada hasta el 1 de febrero de 2025, solo recibe los desechos de esta ciudad, los cuales suman 750 ton/día de residuos sólidos (SSPD, 2008 a). El relleno cuenta con un área total de 64 ha y se localiza en el sector rural del corregimiento de Pasacaballos, 14 km al sureste de Cartagena (SCS Engineers, 2007), con coordenadas 10°16'20.08" N y 75°29'30.75" O (Ver vista satelital del relleno, Figura 2).



Figura 2. Vista Satelital del Relleno Loma de los Cocos. Tomado de Google Earth.

De acuerdo con el criterio de la Dirección Técnica General de Aseo SSPD (2008), la operación en el relleno es aceptable, debido a que maneja cobertura diaria, posee un frente de descargue de residuos definido, cuenta con suficientes chimeneas fácilmente identificables y los vectores están controlados, además el flujo vehicular es bajo (SSPD, 2008 b). Sin embargo, la empresa presenta deficiencias operativas, las cuales básicamente están relacionadas con la conformación y mantenimiento de las vías, la falta de cunetas continuas tanto en la vía externa así como en las vías internas, la adecuación de los canales perimetrales de las zonas terminadas y en operación y finalmente con los canales de conducción de lixiviados (SSPD, 2008 b).

Huila - Neiva

Neiva (Población: 315.332 hab.) dispone sus residuos en el relleno sanitario regional Los Ángeles, ubicado en la vereda la Jagua, al Nororiente de la zona urbana de la ciudad. Posee una extensión de 155 ha (Contraloría de Neiva, 2008) y está siendo utilizado por un total de 12 municipios. Recibe 323.9 ton/día de los cuales 289,35 ton/día son generados por la ciudad capital. Este relleno cuenta con una vida útil de disposición final de residuos sólidos hasta al 1 de enero del año 2053 (SSPD, 2008 a).

De acuerdo con el más reciente informe ambiental de la contraloría municipal de Neiva, el manejo ambiental del relleno sanitario ha mejorado, aunque en la actualidad presenta algunos problemas. En la nueva celda en donde se están disponiendo los residuos, la piscina de lixiviados funciona sin la construcción de cunetas perimetrales que eviten la sedimentación de aguas de escorrentías en la piscina; además no cuenta con las obras ambientales de protección que buscan garantizar la estabilidad de las obras de infraestructura, evitando que colapsen en épocas de invierno por efecto de la fuerza del agua. Presenta además fatiga en algunos árboles por falta de riego y algunos lotes no están cercados por lo cual animales de pastoreo entran y los consumen (Contraloría de Neiva, 2008).

Risaralda – Pereira

Pereira (Población: 428.246 hab.) dispone sus residuos en el relleno sanitario regional La Glorita, corregimiento de Combia Baja, a 14 Km del casco urbano de la ciudad. En éste un total de 17 municipios descargan sus residuos, y la ciudad aporta alrededor de 280 ton/día, de las 650 que se disponen en el Relleno, cuya vida útil es hasta el año 2010 (Secretaría de planeación de Pereira, 2008).

Los problemas que muestra dicho relleno sanitario y que son preocupantes en materia de impacto ambiental

reportados por CARDER, Corporación Autónoma de la zona y por los cuales la empresa encargada del relleno ha sido multada, son variados y están relacionados con derrumbes de material de cobertura después de ciclos de lluvia, deterioro del terreno por escorrentía descontrolada de aguas lluvias, vertimiento sin tratamiento del agua generada por lavado de maquinarias, inexistencia de verificación del tipo de residuos sólidos que ingresan al relleno (CARDER, 2008 a).

En materia de lixiviados se tienen problemas como la ausencia de filtros para el transporte de lixiviados en algunos vasos, afloramiento de lixiviados en diferentes puntos del relleno, falta de material de cobertura en la cantidad que permita establecer el sello hidráulico evidenciando que la infraestructura para evacuación de lixiviados no es la requerida (CARDER, 2008 b), lo cual se traduce en la contaminación de la Quebrada la Suecia (CARDER, 2008 a), la cual desemboca en el Río Otún, única fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Pereira (Minambiente, 2002). Las sustancias presentes en los lixiviados son muy difíciles de depurar naturalmente por el río, lo que representa una grave afectación para la flora y la fauna del sitio (CARDER, 2008 a).

Sumado a todo esto se ha encontrado por parte de la Corporación autónoma regional encargada que no existe cobertura diaria de los residuos, por lo cual se observa la proliferación de aves, tanto al interior como a los alrededores del relleno y la utilización de vasos anteriormente cerrados para nuevamente disponer residuos sólidos sin estudios o soporte técnico sobre la estabilización de los mismos (CARDER, 2008 b).

Santander – Bucaramanga

Bucaramanga (Población: 509.918), capital de Santander dispone sus residuos en el relleno sanitario El Carrasco que recibe cerca de 734,3 ton/día de residuos provenientes de 11 municipios. La producción de Bucaramanga es de aproximadamente 562 Ton/día de residuos sólidos, es decir el 76,5% de los residuos recibidos en el sitio (SSPD, 2008 a). El relleno dispone de un área de 92 ha (Hermelin, 2007) y está ubicado en la parte suroccidental de la ciudad de Bucaramanga, en una depresión o cañada natural dentro de los depósitos aluviales de la terraza de Bucaramanga (EMAB, 2009) (7°04'39.82" N y 73°06'45.49" O (Vista satelital, Figura 3).

La vida útil del relleno sanitario El Carrasco culminó en 2007 (SSPD, 2008a); sin embargo, se encuentra en operación gracias a una celda transitoria que funcionará hasta septiembre de 2011, de acuerdo con la disposición del

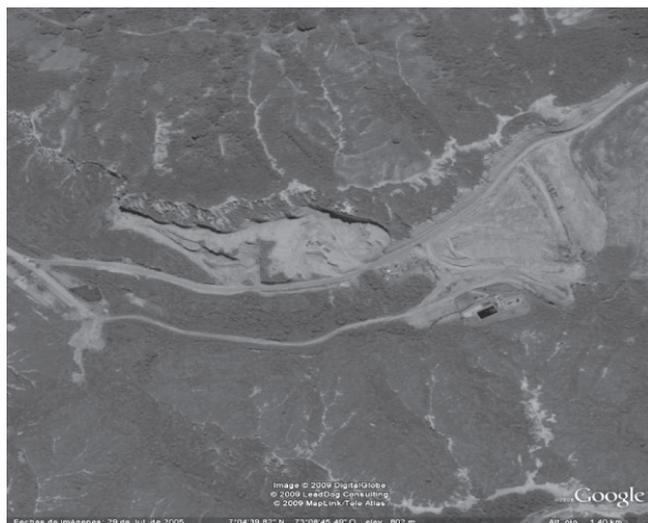


Figura 3. Relleno sanitario El Carrasco. Tomado de Google Earth.

MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) que mediante la resolución 1529 de 2010 modificó los plazos de cierre para las celdas transitorias en los diferentes municipios, que cumplan con los requisitos mencionados en dicha resolución (**Minambiente**, 2010).

El relleno sanitario el Carrasco a lo largo de diferentes auditorías realizadas por la contraloría municipal ha presentado diversos problemas, la empresa encargada no cumple con la cobertura diaria apropiada y acorde con el manual de operaciones, los desechos depositados diariamente no alcanzan la densidad de compactación planteada dentro del diseño del relleno, incumpliendo con el programa de operación en la celda diaria, disminuyendo de esta forma la capacidad operativa del relleno sanitario y evitando que su vida se prolongue (**Contraloría de Bucaramanga**, 2008).

La presencia de gallinazos en el sitio de disposición final confirma la presencia de material orgánico en descomposición en la parte superficial del relleno; incumpliendo así con el programa de control de gallinazos del plan de manejo ambiental. Así mismo existe incumplimiento en el programa de manejo de residuos peligrosos, los cuales son depositados por los operarios sin ningún tipo de revisión y verificación del tipo de residuo incorporado en el relleno (**Contraloría de Bucaramanga**, 2008). La presencia de lixiviados por la vía de acceso en el sitio de disposición final es evidente, no fluyen por drenes y son superficiales, creando focos de contaminación ambiental. La empresa de aseo viene asumiendo las multas y sanciones impuestas por la CDMB (Corporación Autónoma Regional de Defensa de la meseta de Bucaramanga) por errores de manejo de los lixiviados (**Contraloría de Bucaramanga**,

2008). No obstante lo anterior, durante el 2010 la administración del relleno, trabajando en conjunto con varias organizaciones, ha realizado algunas mejoras para corregir problemas puntuales en este sitio, tales como el control de la presencia de gallinazos (**Vanguardia liberal**, www.vanguardia.com, ver edición de abril 23/ 2010).

Tolima – Ibagué

La ciudad de Ibagué (Población: 495.246 hab), capital del departamento cuenta con el único relleno sanitario del departamento, El Parque Industrial de Residuos Sólidos La Miel que atiende solamente al municipio de Ibagué, en promedio se dispone 355,9 Ton/día de residuos sólidos, y cuenta con una vida útil de disposición hasta el 26 de marzo del 2020 (**SSPD**, 2008 a). El relleno está ubicado en la vereda Buenos Aires, aproximadamente a 5 km del municipio de Ibagué ($5^{\circ}00'31.46''$ N y $74^{\circ}54'12.05''$ O), y comprende un área de 46 ha. dentro del predio rural La Miel de 560 ha. dedicado a la agricultura (**Contraloría de Ibagué**, 2007).

En la actualidad son pocos informes los que se tienen sobre el funcionamiento de este relleno por parte de los organismos ambientales, la contraloría de Ibagué emitió un reporte años atrás donde evidencio algunos problemas entre ellos la no existencia de estudios que permitan evaluar la situación actual de la disposición final de los residuos, los impactos generados, el Plan de Monitoreo y seguimiento y los Planes de Mitigación, los daños que está causando la implementación de este relleno en el ecosistema ya que no hubo un inventario de cobertura y se estaba talando el bosque existente presentándose un desequilibrio ambiental, y causando la desaparición de fauna y micro fauna del sector; además de denuncias de derrames de lixiviados (**Contraloría de Ibagué**, 2005).



Figura 4. Relleno Sanitario La Miel. Tomado de Google Earth.

En resumen, es claro que la mayoría de los rellenos sanitarios en las principales ciudades de Colombia, presentan problemas debido a su mal funcionamiento, el más común es la proliferación de olores desagradables y en muchos casos tóxicos, tales como ésteres, sulfuro de hidrógeno, compuestos organosulfurados, alquilbencenos, limoneno y otros hidrocarburos; los cuales pueden generar diversos efectos sobre la salud humana, incluyendo obstrucción de las vías respiratorias, conjuntivitis, irritación de las mucosas, tos, alteraciones en el ritmo cardiaco, exacerbaciones de enfermedades cardiovasculares, y daños a nivel del sistema nervioso central, entre otros (Méndez *et al.*, 2006). Además de olores, también se ha reportado la presencia de insectos, roedores y gallinazos, resultado de la exposición de las basuras que no poseen la cobertura correcta; falta de gestión de programas en materia forestal como barreras vivas; problemas en el tratamiento de los lixiviados o ausencia del mismo, así como inconvenientes en las vías periféricas al rellenos, entre otros. Todos estos procesos, los cuales a su vez por lo general constituyen incumplimientos en los planes de manejo de los rellenos, afectan el medio ambiente y la calidad de vida de las comunidades aledañas, haciendo necesaria la urgente coordinación en el trabajo que realizan los operadores de los rellenos, las CARs, las administraciones municipales y el gobierno en general.

El problema de las basuras en Colombia requiere la implementación de programas serios de reciclaje que creen cultura en la comunidad sobre el beneficio para el ambiente y la calidad de vida de las mismas comunidades, en ciudades como Bogotá solo se recoge el 33% de los desechos potencialmente reciclables, y asciende a 8 ton. diarias que terminan en el Centro Distrital de Reciclaje de la ciudad (Alcaldía de Bogotá, 2008). Aun más importante es la necesidad de invertir en infraestructura que soporten los programas de reciclaje que hagan viable el reciclaje en Colombia, el cual aún está lejos de ser una práctica de política verde que genere grandes ingresos.

Conclusión

La situación del manejo de las basuras en Colombia, como en cualquier país Latinoamericano, es un problema complejo. Aunque en estos países los rellenos sanitarios son la opción más práctica y económica para el tratamiento de las basuras domésticas, la operación de los mismos constituye un factor crítico para su sostenibilidad ambiental. En Colombia, un buen número de rellenos sanitarios presenta problemas recurrentes asociados con el tratamiento de lixiviados, manejo de los gases generados y cobertura diaria del material depositado, entre otros aspectos. La

mayoría de las veces, estos inconvenientes podrían ser atendidos si existiera una mejor gestión de las alcaldías, las gobernaciones y seguimiento a los procesos por parte de las CARs regionales. Es imperativo que estas instituciones implementen programas educativos para trabajar en la modificación de los hábitos de consumo, impulsando a la vez una cultura de reciclaje y separación en la fuente, la creación de sistemas para la transformación de los residuos aprovechables, e incorporación de los mismos al ciclo económico productivo. Lo anterior traería como consecuencia una disminución en la carga de basura en los rellenos sanitarios, aumentando su vida útil y disminuyendo por tanto los problemas de salud y ambientales ligados a su manejo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad de Cartagena, a través de la Vice-Rectoría de Investigaciones. Programa fortalecimiento de grupos de investigación 2009-2010.

Bibliografía

- Alcaldía de Bogotá.** 2008. Mi ciudad sin basura...Demuestra tu amor por Bogotá. http://www.habitatbogota.gov.co/sdht/index.php?option=com_content&task=view&id=306&Itemid=118 Último acceso Diciembre 16 de 2009.
- ARS, Asociación para el estudio de los residuos sólidos.** 2009. Ecuador - El Inga está planificado para 13 años más. http://www.ars.org.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=600&Itemid=6
- CARDER, Corporación Autónoma Regional de Risaralda.** 2008 a. Resolución No. 544 www.carder.gov.co/documentos/2325_RS_544-15_Mayo-08.pdf. Ultimo acceso Diciembre 12 de 2009.
- . b. Proceso de gestión ambiental sectorial regulación y control a la demanda ambiental auto de inicio de investigación administrativa http://www.carder.gov.co/documentos/3461_AI679-17-dic-2008.pdf .Ultimo acceso Diciembre 12 de 2009.
- CEAMSE, Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado.** 2005. Gestión de residuos sólidos región metropolitana de Santiago de Chile. Revista Noticias CEAMSE. 20: 20-25.
- CDMB, Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga.** 2009. <http://www.cdm.gov.co/web/index.php/boletines-de-prensa.html?task=view&id=14>. Ultimo acceso Diciembre 12 de 2009.
- CLARIN.** 2003. En 60 días se cerrará el cordón ecológico de Villa Dominico. <http://www.clarin.com/diario/2003/03/25/s-04001.htm> Último acceso Diciembre 13 de 2009.
- Contraloría de Bucaramanga.** 2008. Control de advertencia 121.42.6.13.00 <http://www.contraloriabga.gov.co/portal/des->

- cargas/CONTROLES%20DE%20ADVERTENCIA%202008/control%20de%20advertencia%20No%206.pdf.
- Contraloría general de Antioquia.** 2005. Gestión para el control fiscal ambiental. http://www.contraloriagdeant.gov.co/docs/mambiente/2005/cap5_portada.htm.
- Controlaría de Ibagué.** 2007. Informe sobre el estado de los recursos naturales y del medio ambiente. http://www.contraloriaibague.gov.co/gestion/despacho/estado_recursos_naturales.pdf. Último acceso diciembre 11 de 2009.
- Contraloría de Ibagué.** 2005. Informe sobre el estado de los recursos naturales y del medio ambiente. <http://www.contraloriaibague.gov.co/gestion/informeambiental.htm>. Último acceso diciembre 11 de 2009.
- Contraloría municipal de Neiva.** 2008. Informe de la gestión fiscal medio ambiente y de los recursos naturales al municipio de Neiva y entidades descentralizadas. <http://www.contralorianeiva.gov.co/portal/UserFiles/INFORME%20MEDIO%20AMBIENTE%20GESTION%20VIGENCIA%202007.pdf>
- Collazos, H.** 2009. La situación de la disposición final de las basuras en Colombia. *Revista Innovación y Ciencia (XVI)* pp.19-25.
- Comisión mexicana de Infraestructura Ambiental.** 2003. La Basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos. <http://www2.gtz.de/dokumente/bib/07-0126.pdf>
- Corantioquia.** 2006. Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá – PGIRS regional” marzo 2006. Universidad de Antioquia. Convenio No. 325 de 2004 pág. 106.
- CVC, Corporación autónoma regional del Valle del Cauca.** 2009. http://www.asocars.org.co/search_news.asp?idnoticia=1116. Último acceso diciembre 14 de 2009.
- DANE, Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.** 2005. Censo general 2005 nivel nacional. <http://www.dane.gov.co/censo/files/libroCenso2005nacional.pdf>. Último acceso diciembre 10 de 2009.
- EEVVM, Empresas Varias de Medellín E.P.S.** 2009. Relleno Sanitario la Pradera. http://www.eevvm.com.co/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=17.
- EMAB, Empresa de Aseo de Bucaramanga.** 2009. <http://emab-esp.com/descargas/Disposicionfinal.pdf>.
- EMSIRVA, Empresa de Servicio Público de Aseo de Cali.** 2008. Boletín de prensa. <http://www.emsirva.com.co/export/sites/portal/noticias/BoletinesPrensa/yotoco100.pdf>
- EPA, Environmental Protection Agency.** 2007. Practicas de desechos sólidos en centro América El Salvador. <http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/conf/central-america/desechosolidos ES.pdf>. Último acceso diciembre 13 de 2009.
- Feurman, A.** 2002. Los residuos sólidos (la basura) un enfoque basado en los derechos de propiedad. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/basura.pdf>.
- Fitchrating.** 2008. Cotécnica La Bonanza S.A. <http://www.fitchvenezuela.com/PDF/cote0408.pdf>. Último acceso diciembre 13 de 2009.
- Giresol.** 2007. Guatemala: Cada guatemalteco genera en promedio 434 libras de basura al año. http://www.giresol.org/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=336&Itemid=116 Último acceso diciembre 10 de 2009.
- Gobernación del Atlántico.** 2005. Boletín de prensa No. 872. http://www.atlantico.gov.co/prensa/ver_bol.asp?prof=1625.
- González.** 2002. Un esfuerzo real en Ciudad de La Habana. *Revista Agricultura Urbana.* **6**, 22-23.
- Hermelin A, Miguel.** 2007. Entorno natural de 17 ciudades de Colombia, p.11. Editorial Universidad EAFIT. Colombia. ISBN 9789588281704.
- INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.** 2003. ¿Qué es el Gran Buenos Aires? <http://www.indec.gov.ar/glosario/folletoGBA.pdf>. Último acceso diciembre 14 de 2009.
- INE, Instituto Nacional de Estadísticas.** 2008. Bolivia: población total por censo, área y sexo según departamento, censos de 1992 y 2001. <http://www.ine.gov.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC20101.HTM>
- INE Chile, Instituto Nacional de Estadísticas.** 2002. Censo de población y vivienda 2002. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_poblacion_vivienda/censo_pobl_vivi.php Último acceso diciembre 13 de 2009
- INE Guatemala, Instituto Nacional de Estadísticas.** 2002. XI Censo nacional de población y VI de habitación. <http://www.ine.gob.gt/index.php/demografia-y-poblacion/42-demografiaypoblacion/75-censo2002>. Último acceso diciembre 13 de 2009.
- INEI, Instituto Nacional de Estadísticas e Informática.** 2008. Perú: Crecimiento y distribución de la población 2007. <http://censos.inei.gob.pe/censos2007/documentos/ResultadoCPV2007.pdf> Último acceso Diciembre 13 de 2009
- INEGI, Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía.** 2005. II Censo de Población y Vivienda 2005. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/default.asp?s=est&c=10398> .Último acceso diciembre 13 de 2009.
- INE Venezuela, Instituto Nacional de Estadísticas.** 2002. Así va el censo 2001. http://www.ine.gov.ve/censo/boletines/asi_va_el_censo09.pdf Último acceso diciembre 15 de 2009.
- Meléndez, C.** 2004. Guía práctica para la operación de celdas diarias en rellenos sanitarios pequeños y medianos PROARCA. http://www.ccad.ws/proarca/p_proarca/pdf_sigma/Guia_Celdas_Rellenos_Final_web.pdf. Último acceso diciembre 22 de 2009.
- Mendez, F., Gómez, O., Girón, S., Mateus, J., Mosquera, J., Filigrana, P., Gómez, R., Ocampo, C., Gullos, L.** 2006. Evaluación del impacto del relleno sanitario Doña Juana en la salud de grupos poblacionales en su área de influencia. <http://www.cerrarebotadero.org/inicio/archivos/EstudioEpidemiologicoRSDJ.pdf>. Último acceso noviembre 5 de 2010.
- Minambiente, Ministerio del Medio Ambiente Colombia.** 2002. Agenda Ambiental Municipio de Pereira. <http://www.unal.edu.co/idea/proyectos/sigam/per.pdf>
- . 2009. Ficha Residuos Sólidos Barranquilla. http://www.minambiente.gov.co/documentos/Agua/planes_deptales_agua/fichas_resid_solidos/solidos_barranquilla.xls.

- _____. 2010. http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_1529_060810.pdf. Último acceso Noviembre 3 de 2010.
- Ministerio de Economía del El Salvador.** 2008. VI Censo de población y V de vivienda 2007. <http://www.censos.gob.sv/>. Último acceso Diciembre 13 de 2009.
- Ministerio del Medio Ambiente Perú.** 2008. Cada Peruano produce 1.08 kilos de basura. http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=11:cada-peruano-produce-108-kilos-de-basura&catid=1:noticias&Itemid=21. Último acceso Diciembre 13 de 2009. ACIONAL DE NUTRICIÓN Y SALUD.
- Montes, N.** 2007. La distribución espacial de la población en Cuba. Censos 1981 y 2002. Revista Electrónica Zacatecana sobre Población y Sociedad. Año7. No. 31. http://sociales.reduaz.mx/art_ant/DISTESPACIALCUBA.pdf
- Muñoz, K. Bedoya, A.** 2009. El papel de los residuos sólidos, en la solución de problemas ambientales. Economía Autónoma. Edición virtual. <http://www.eumed.net/rev/ea/03/mvbo.htm>
- OPS, Organización Panamericana de la Salud.** 2005. Recojo deficiente de residuos sólidos, vecinos descuidados y empresas con problemas técnicos son comunes en las ciudades .La basura pone en jaque a seis urbes .<http://www.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=6902&SE=SN> Último acceso diciembre 13 de 2009.
- Personería de Bogotá.** 2006. Deficiencia en planta de lixiviados de Doña Juana. <http://www.personeriabogota.gov.co/?idcategoria=961>.
- Presidencia de la República.** 2004. \$2.700 Millones para apoyar planes de gestión integral de residuos sólidos. <http://www.presidencia.gov.co/sne/2004/agosto/09/21092004.htm> Último acceso enero 6 de 2010.
- Presidencia de la República a.** 2008. Crédito de Findeter por \$19.993 millones, para relleno sanitario del Área Metropolitana de Barranquilla. http://web.presidencia.gov.co/sp/2008/julio/26/04262008_i.html
- Procuraduría General de la Nación.** 2009. PGN adelanta vigilancia preventiva ante deslizamiento en el dique ambiental sur del Relleno Sanitario “Doña Juana” http://www.procuraduria.gov.co/html/noticias_2009/noticias_420.html
- RGS, Red de Gestores Sociales.** 2007. La ciudad seguirá obligada a recibir las basuras de cuarenta municipios. <http://www.rgs.gov.co/noticias.shtml?x=13670>.
- Ripoll, J.** 2003. La Basura no tiene por qué ser un problema. http://www.fsa.ulaval.ca/rdip/cal/lectures/societe_ecolo/basura_no_tiene_porque_ser.htm
- SCS Engineers.** 2007. Informe de evaluación relleno sanitario loma de los cocos Cartagena, Colombia. <http://www.methanetomarkets.org/Data/LosCocosAssessment.Spanish.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente México.** 2008. ¿Qué tanto sabes sobre el IMECA? <http://www.sma.df.gob.mx/intranet/privados/smablog/index.php?entry=entry080110-122523>. Último acceso diciembre 12 de 2009.
- Secretaría de planeación de Pereira.** 2008. Plan de desarrollo municipio de Pereira 2008-2011.
- SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.** 2008 a. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia.
- SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.** 2008 b. Evaluación Integral a empresa: CARIBE VERDE S.A. E.S.P. http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?folderId=65121&name=DLFE-5715.pdf.
- SSPD, Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.** 2009. Resolución SSPD7455 de 2009 <http://www.superservicios.gov.co/basedoc/resoluciones.shtml?x=70582>.
- US Census Berau,** 2009. U.S. & World Population Clocks. <http://www.census.gov/main/www/popclock.html>. Último acceso diciembre 15 de 2009.
- Vicepresidencia de Ecuador.** 2009. Información política – administrativa. http://www.vicepresidencia.gov.ec/index.php?option=com_content&task=view&id=31&Itemid=59 Último acceso diciembre 13 de 2009.

Recibido: enero 25 de 2010

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010

ESTUDIO DE LA HIDROGENACIÓN EN FASE HOMOGÉNEA DE OLEATO DE METILO CON CATALIZADORES DE RUTENIO Y PALADIO

Por

Andrés Sebastian Salinas Trujillo¹, Fernando Cuenú Cabezas², Maria Patricia Zuluaga Moreno¹, Luis Alfonso Vargas Jiménez¹, Alfonso Enrique Ramírez Sanabria^{1,*}

Resumen

Salinas Trujillo A.S., F. Cuenú Cabezas, M.P. Zuluaga Moreno, L.A. Vargas Jiménez & A.E. Ramírez Sanabria: Estudio de la hidrogenación en fase homogénea de oleato de metilo con catalizadores de Rutenio y Paladio. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 357-363, 2010. ISSN 0370-3908.

En el presente trabajo se evaluó la actividad de los complejos metálicos PdCl₂(py)₂, PdCl₂(3-mpy)₂, RuCl₂(PPh₃)₂(2-acpy)₂, RuCl₂(PPh₃)₂(4-acpy)₂ y RuCl₂(PPh₃)₂(4-tbpy)₂ como catalizadores en la hidrogenación de oleato de metilo en fase homogénea. La reacción fue llevada a cabo a 100°C, bajo una presión de hidrógeno de 30 bar. Se encontró que la actividad del catalizador es dependiente de la posición y el tipo de sustituyente en el anillo de piridina, siendo el complejo PdCl₂(py)₂ el más activo. Los resultados son explicados por efectos estéricos y electrónicos.

Palabras clave: oleato de metilo, hidrogenación homogénea, complejos de Paladio y Rutenio.

Abstract

Methyl oleate hydrogenation with the homogeneous catalysts PdCl₂(py)₂, PdCl₂(3-mpy)₂, RuCl₂(PPh₃)₂(2-acpy)₂, RuCl₂(PPh₃)₂(4-acpy)₂ and RuCl₂(PPh₃)₂(4-tbpy)₂ was studied. The reaction was carried out at 100 °C, 30 bar of hydrogen pressure and toluene as solvent. The substituent group and its position around the pyridine ring affects the catalysts activity, this suggests that steric and electronic effects are involved in the reaction mechanism.

Key words: methyl oleate, homogeneous hydrogenation, Palladium and Ruthenium complexes.

¹ Grupo de Catálisis, Departamento de Química, Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4-70, Popayán, Colombia.

² Laboratorio de Síntesis Organometálica y Catálisis, Departamento de Química, Universidad del Quindío, Armenia, Colombia.

* Correspondencia. A.E. Ramírez: Correo electrónico: aramirez@unicauca.edu.co, Tel. 57 (2) 820 99 00 Ext. 2330.

1. Introducción

De manera general, el proceso de hidrogenación de compuestos orgánicos es un tipo de reacción RedOx cuyo resultado final es la adición de hidrógeno a un enlace múltiple entre átomos de carbono o entre un carbono y un heteroátomo. Es una típica reacción que no genera productos en la ausencia de un catalizador en la mayoría de los casos, pues es este quien se encarga de provocar la adición de dos átomos de hidrógeno al enlace insaturado (D. Astruc, 2007).

En el campo de la oleoquímica la importancia de esta reacción radica en que es una de las vías más importantes para mejorar la estabilidad oxidativa y térmica de aceites, grasas y sus derivados más importantes (T. Li, *et al.* 2009). En este sentido los principales productos son margarinas, grasas para frituras, sustitutos y aditivos para el diesel (biodiesel), aceites lubricantes, detergentes y surfactantes no iónicos, como alcoholes grasos (I.V. Deliy, *et al.* 2009; A. Castro. 2005; Y. Pouilloux, *et al.* 1996).

Comúnmente la hidrogenación de aceites vegetales es llevada a cabo en fase heterogénea, siendo el Níquel, el Paladio y el Platino los metales más empleados en las formulaciones catalíticas, y son pocos los reportes en la literatura de hidrogenación de ésteres de ácidos grasos por vía homogénea. En uno de ellos H. Itatani y colaboradores encontraron que no hay dependencia entre el grado de hidrogenación para los ésteres metílicos del aceite de soya en un rango de presión de hidrógeno de 13 bar a 40 bar, mientras que la temperatura sí es un factor significativo, pues el rendimiento se incrementó al aumentar la temperatura, alcanzándose el más alto a 90°C (H. Itatani & J.C. Bailar, 1966). Ya que los catalizadores homogéneos pueden permitir hidrogenaciones de manera más rápida bajo condiciones de presión y temperatura más suaves ($T=90^{\circ}\text{C}$, P_{H_2} 40 bar, 3h para obtener un 45,5 % de conversión) que los catalizadores heterogéneos (J.C. Bailar, H. Itatani, 1967), se propuso estudiar la actividad catalítica de complejos de Paladio y Rutenio en la hidrogenación de oleato de metilo, ya que este es uno de los ésteres que se encuentra en un contenido importante en aceites vegetales de variadas especies, principalmente el aceite de palma.

2. Sección experimental

2.1. Selección de los catalizadores

Una serie de complejos tipo $\text{PdCl}_2(\text{L})_2$ y $\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2$, siendo L piridina y piridinas sustituidas, se seleccionaron como catalizadores homogéneos. En ellos se varió el grupo sustituyente y la posición de este en el anillo piridínico. En la

Tabla 1. Catalizadores homogéneos empleados en la hidrogenación del oleato de metilo

Metal	Código	Formula general	L
Ru	Ru1	$\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2$	2-acetilpiridina (2-acpy)
	Ru2	$\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2$	4-acetilpiridina (4-acpy)
	Ru3	$\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{L})_2$	4- <i>terc</i> -butilpiridina (4-tbpy)
Pd	Pd1	$\text{PdCl}_2(\text{L})_2$	Piridina (py)
	Pd2	$\text{PdCl}_2(\text{L})_2$	3-metilpiridina (3-mpy)

tabla 1 se presentan los catalizadores empleados. Estos complejos fueron sintetizados y caracterizados tal como se detalla en reportes previos (A. Bolaños, *et al.* 2002).

2.2. Reacción de hidrogenación

Para la reacción de hidrogenación, 1 g (3,38 mmol) de oleato de metilo (Sterenearie Dubois, 80% C18:1, 20% C18:2) se disolvió en 50 mL de tolueno anhidro (Mallinckrodt, 99,9%) junto con el catalizador (relación molar 1:1000 respecto al oleato de metilo) en una autoclave de acero inoxidable (Parr Instrument Company) provista con agitación magnética (550 rpm). Luego de sellar herméticamente, el sistema fue purgado con hidrógeno (AGA Fano, 99,999%), y cargado con una presión de hidrógeno de 30 bar. Posteriormente se permitió alcanzar una temperatura de 100°C y la reacción se siguió por 6 horas.

2.3. Análisis cromatográfico

Para el seguimiento de la reacción se tomó una alícuota de 0.5 mL una vez el sistema alcanzó la temperatura requerida (tiempo cero) y posteriormente una cada 2 horas. Cada muestra fue pasada a través de filtros de 0,45 μm (Millipore), un volumen de 2.0 μL se inyectó en un cromatografo de gases Shimadzu C14-A provisto de detector de ionización de llama, unidad integradora Chromatopac C-R8A (Shimadzu) y una columna capilar SGE ID-BP20 de 25 m x 0,32 mm x 0,25 μm . Para la columna se empleó el siguiente gradiente de temperatura, inicialmente 160 °C (1 min), 30°C/min, 190 °C (1 min), 10°C/min, 210°C (1 min), 10°C/min, 240°C (2 min); la temperatura del inyector y detector fue de 260°C y 280°C, respectivamente. El porcentaje de conversión se determinó por medio de curva de calibración, mediante la Ecuación (1), en donde % $O.M_t$ corresponde a la concentración de oleato de metilo en el tiempo t y % $O.M_0$ corresponde a la concentración inicial de oleato de metilo:

$$\%C = \frac{\%O.M_t - \%O.M_0}{\%O.M_0} \times 100 \quad (1)$$

3. Resultados y Discusión

3.1. Reacción en ausencia de catalizador

La reacción de hidrogenación de oleato de metilo fue llevada a cabo empleando una variedad de complejos de Rutenio y Paladio como catalizadores homogéneos. El primer experimento se realizó en ausencia de catalizador con el fin de evaluar la influencia de la temperatura y la presión de hidrógeno. En el transcurso de la reacción no se produjo conversión del sustrato, indicando que: i) la temperatura y la presión por si solas no son suficientes para hacer reaccionar el oleato de metilo con el hidrógeno y ii) se puede evaluar el efecto del catalizador sobre la reacción a las condiciones de temperatura y presión de trabajo.

3.2 Hidrogenación con catalizadores de Rutenio

El primer grupo de catalizadores evaluado contiene Rutenio, y tiene ligandos cloro, trifenilfosfina y piridinas sustituidas por grupos electrodonores (*terc*-butilo, *tb*) y electroatrayentes (acetilo, *ac*) en diferentes posiciones (2 y 4), Figura 1.

El examen de la reacción de hidrogenación de oleato de metilo con catalizadores de Rutenio, Figura 2, muestra que los tres complejos son activos para la hidrogenación de oleato de metilo mostrando una tendencia de aumento de la conversión con el paso del tiempo, hasta un máximo de 47%.

Llaman la atención dos hechos: el primero, que los complejos con iguales sustituyentes pero en diferente posi-

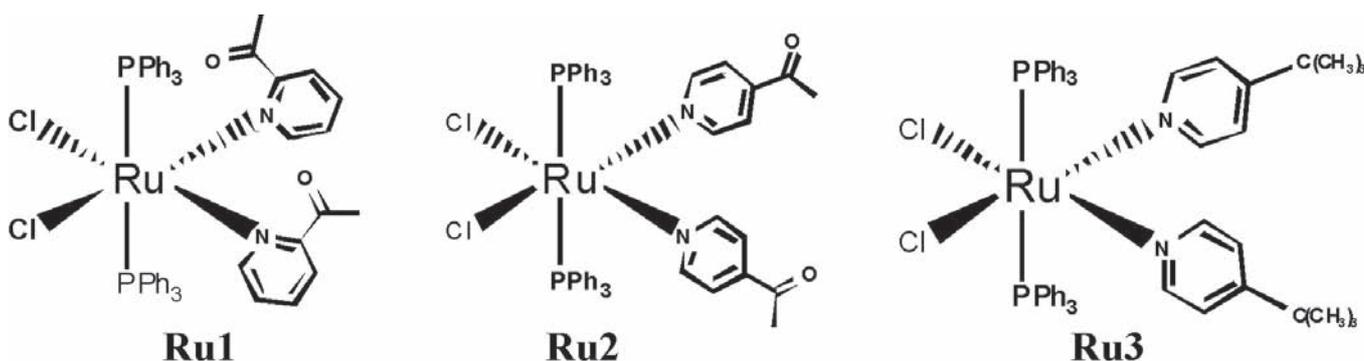


Figura 1. Estructura de los Complejos de Rutenio empleados como catalizadores en la hidrogenación en fase homogénea de oleato de metilo.

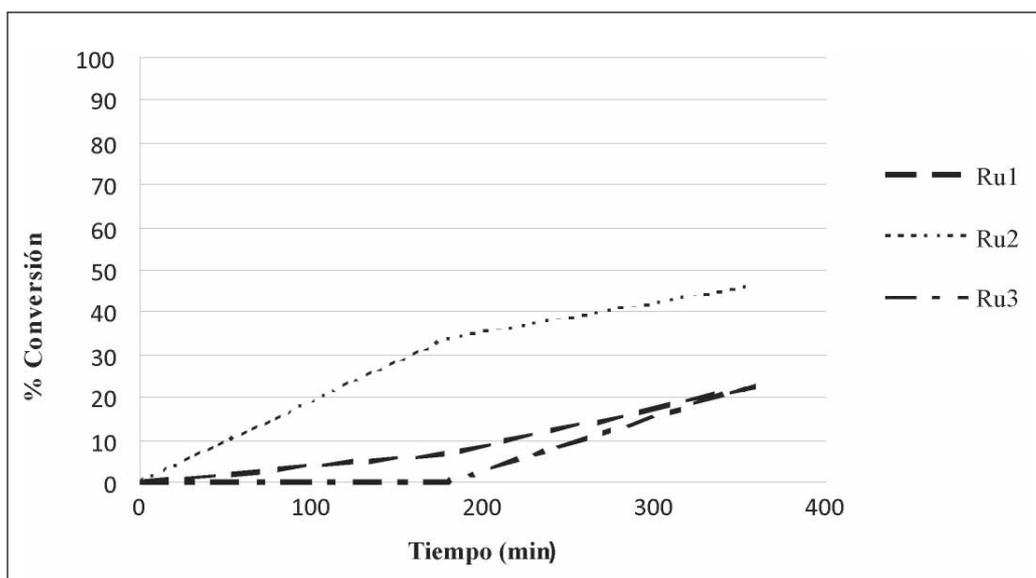


Figura 2. Reacción de hidrogenación de oleato de metilo catalizada por complejos de Rutenio.

ción, catalizadores Ru1 y Ru2, presentan actividades muy diferentes entre ellos, tabla 2; ello indica que al cambiar la posición del grupo acetil, de 2 a la 4, el complejo se activa.

Lo anterior es consistente con un mecanismo de reacción en el cual se da una rápida activación del complejo por la disociación de uno o varios ligandos PPh₃, esta disociación es influenciada por efectos estéricos (E. Argüello, *et al.* 1996). En el caso del catalizador Ru2, el sustituyente en el anillo de piridina se encuentra más lejos del centro metálico, en tanto que en el otro catalizador, Ru1, el grupo acetilo se encuentra más cerca al metal, esta posición impide la rápida coordinación del sustrato durante la etapa de sustitución de ligando en el ciclo catalítico de la reacción de hidrogenación, teniendo en cuenta la voluminosidad del oleato de metilo, Figura 3.

El otro hecho sobresaliente es que al variar el tipo de sustituyente en el anillo de piridina la actividad se ve influenciada. Si compramos el catalizador Ru3 con el catalizador Ru2, aunque el porcentaje de conversión es similar, la actividad inicial del último es mucho mayor. Este comportamiento se explica por la naturaleza de los sustituyentes en el anillo de piridina, el grupo *terc*-butilo es un electrodonor, en tanto que el grupo acetilo es de carácter electroatrayente, esto afecta la densidad de carga del anillo aromático heterocíclico, incidiendo rotundamente en la densidad electrónica del centro metálico, conllevando a que la disociación del grupo PPh₃ sea más o menos rápida y por ende a que el complejo se active más o menos rápido (E. Argüello, *et al.* 1996).

En el caso de la hidrogenación en fase homogénea, el único producto detectado es el estearato de metilo, de manera comparable con reportes previos acerca de catalizadores heterogéneos monometálicos de Rutenio (S.A. da S. Corradini, *et al.* 2008).

Tabla 2. Actividades de los complejos de Rutenio en la hidrogenación de oleato de metilo

Código	Actividad	Catalizador Másica x 10 ⁻¹ (mol/h g _{cat})*
Ru1	RuCl ₂ (PPh ₃) ₂ (2-acetilpiridina) ₂	0,72
Ru2	RuCl ₂ (PPh ₃) ₂ (4-acetilpiridina) ₂	3,1
Ru3	RuCl ₂ (PPh ₃) ₂ (4- <i>terc</i> -butilpiridina) ₂	0

*calculada a inicios de la reacción, en el momento de linealidad de la reacción.

3.3. Hidrogenación con catalizadores de Paladio

El segundo grupo de catalizadores contiene Paladio con ligandos cloro y piridina sustituida por grupos electrodonores (metilo, m). En la Figura 4 se muestran las estructuras de los complejos de Paladio empleados.

La Figura 5 muestra la variación de los porcentajes de conversión respecto al tiempo para los catalizadores de Paladio en la hidrogenación de oleato de metilo.

Se puede apreciar un comportamiento similar al presentado por los catalizadores de Rutenio, i) son activos frente a la reacción de hidrogenación de oleato de metilo, ii) el porcentaje de conversión aumenta con el paso del tiempo, alcanzándose un porcentaje de conversión de 63% con el catalizador Pd1 y iii) la actividad catalítica se ve influenciada por la presencia de grupos sustituyentes en el anillo piridínico, siendo el catalizador Pd1 el más activo, Tabla 3.

Tabla 3. Actividades de los complejos de Paladio en la hidrogenación de oleato de metilo

Código	Catalizador	Actividad Másica x 10 ⁻¹ (mol/h g _{cat})*
Pd1	PdCl ₂ (piridina) ₂	2,3
Pd2	PdCl ₂ (3-metilpiridina) ₂	0,1

* calculada a inicios de la reacción, en el momento de linealidad de la reacción

De la Tabla 3 se puede destacar que la actividad catalítica de los complejos de Paladio, se ve igualmente influenciada por la sustitución en el anillo piridínico, pues en el caso donde el ligando es piridina se alcanza la más alta conversión, del 63%, y la mayor actividad catalítica, 2,3 x 10⁻¹ mol/h g_{cat}; en contraste al 37% de conversión obtenido y una actividad de 0,1 x 10⁻¹ mol/h g_{cat} cuando sobre el anillo piridínico se incluye un grupo metilo. Esto muestra que el sustituyente en el segundo caso, que es de naturaleza electrodonadora, modifica las propiedades electrónicas del metal, dejándolo menos disponible para la coordinación del sustrato. Aunque el estudio no se encaminó a un producto en especial, nuevamente el único detectado fue el estearato de metilo, mostrando que solamente metales típicamente hidrogenantes como el Paladio o el Rutenio producen poco o nada de alcohol insaturado, necesitando para ello la presencia de un precursor como titanio o estaño (Y. Pouilloux, *et al.*, 2000).

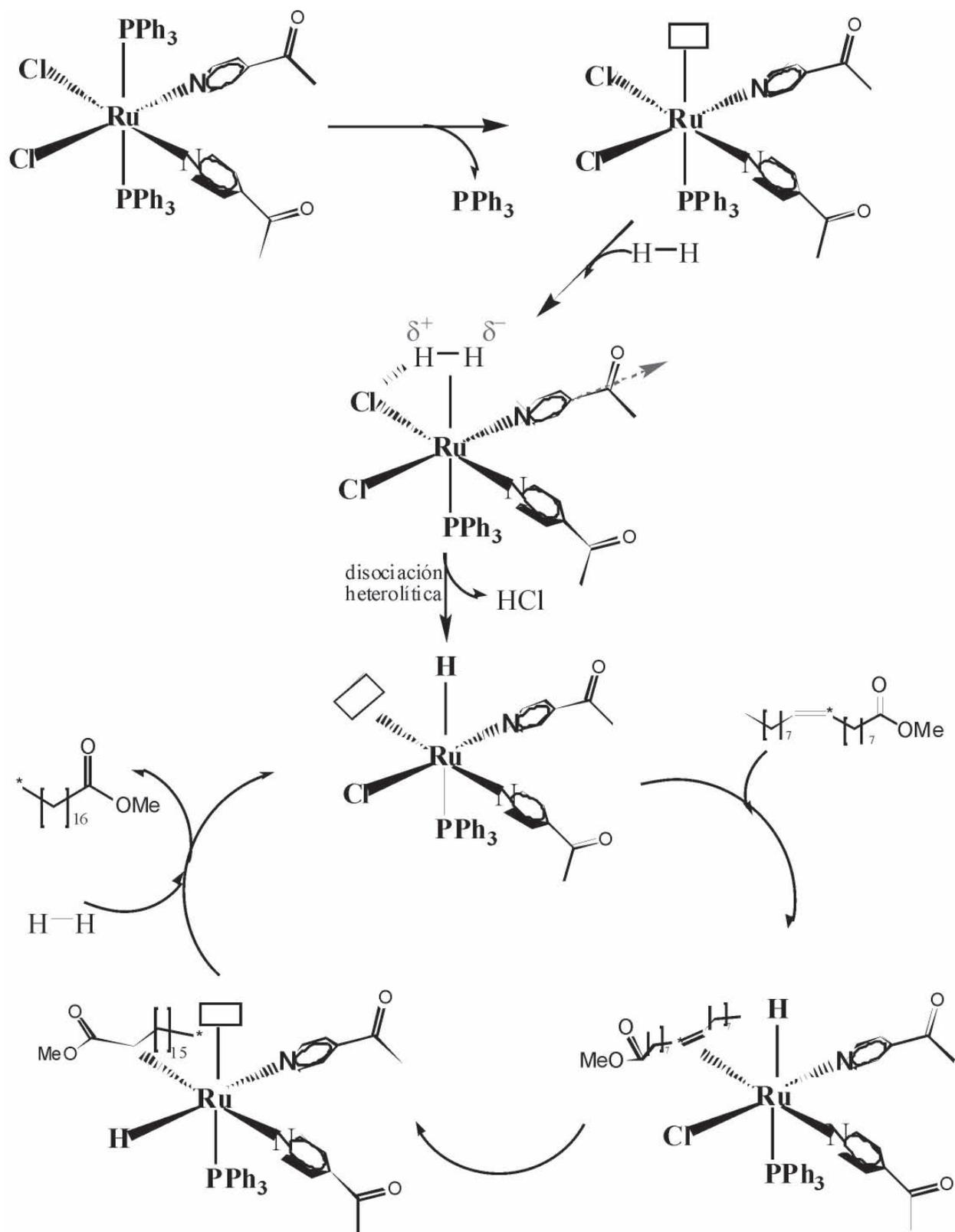


Figura 3. Mecanismo de reacción para la hidrogenación de oleato de metilo con catalizadores de Rutenio.

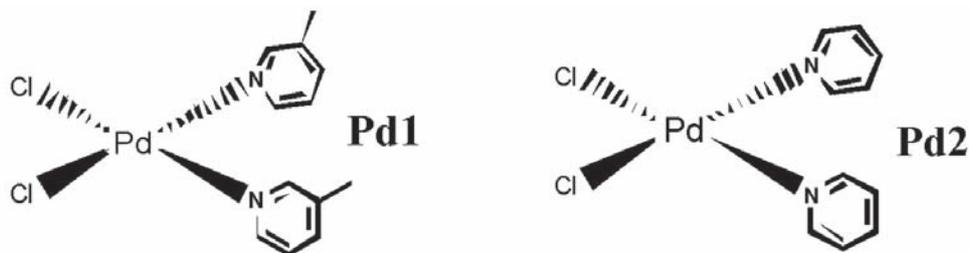


Figura 4. Estructuras de los complejos de Paladio empleados como catalizadores en la hidrogenación en fase homogénea de oleato de metilo.

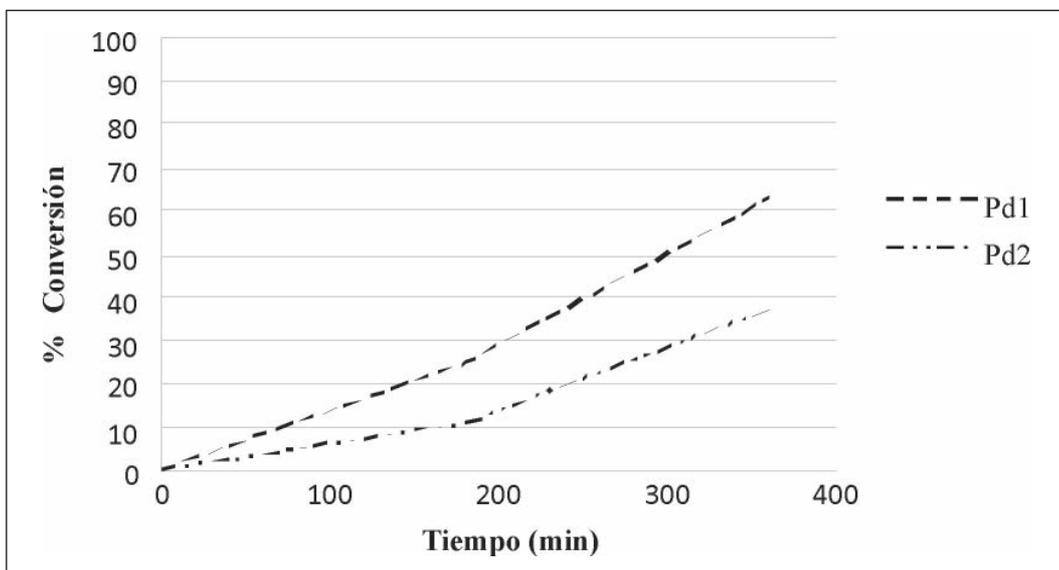


Figura 5. Reacción de hidrogenación de oleato de metilo con catalizadores de Paladio.

3.3.1. Efecto de la Presión y la Temperatura

Itatani y Bailar, estudiando la hidrogenación de esteres metílicos en presencia de catalizadores de Paladio con ligandos PPh_3 y AsPh_3 encontraron que el porcentaje de conversión no se aumentaba al elevar la presión y que solo se lograba un aumento del 5% al elevar la temperatura (H. Itatani & J.C. Bailar, Jr., 1966). Para evaluar el efecto de estas variables sobre nuestros catalizadores, se decidió estudiar el comportamiento del catalizador Pd1 cambiando la P_{H_2} de 30 a 50 bar y la temperatura de 100°C a 150°C, Figura 6.

QuickTime™ and a
TIFF (LZW) decompressor
are needed to see this picture.

Figura 6. Reacción de hidrogenación de oleato de metilo con catalizador Pd1 a P_{H_2} de 50 bar y una temperatura de 150°C.

Se observa que al aumentar las condiciones de reacción, se logra obtener un porcentaje de conversión del 70% en 7,5h y se aumenta 25 veces la actividad másica del catalizador, de $0,1 \times 10^{-1} \text{ mol/h g}_{\text{cat}}$ a $2,5 \times 10^{-1} \text{ mol/h.g}_{\text{cat}}$.

4. Conclusiones

Se estudió la hidrogenación de oleato de metilo en fase homogénea con catalizadores a base de Rutenio y Paladio, obteniéndose complejos activos frente a esta reacción con porcentajes de conversión que van desde 23% hasta el 63%, con selectividad hacia la formación de estearato de metilo. Se notó que el transcurso de la reacción depende seriamente del tipo de geometría y ligandos presentes en los complejos. Así, aquellos ligandos que poseen sustituciones en posiciones cercanas al centro metálico brindan efectos estéricos que disminuyen el porcentaje de conversión. Igualmente, la característica electrodonora o

electroatrayera del sustituyente influye en la actividad catalítica. Esto puede ser aprovechado de buena manera para controlar la hidrogenación de esteres metílicos en las que una variedad de reacciones parasitas son frecuentes, alterando la selectividad o dando productos indeseables.

A diferencia de reportes previos sobre hidrogenación de esteres metílicos en presencia de catalizadores homogéneos de Paladio, los reportados en este estudio, PdCl_2Py_2 , son susceptibles a las condiciones de reacción (T, P) empleadas, afectando la actividad de los complejos de Paladio.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones (VRI) de la Universidad del Cauca por el apoyo financiero dado al proyecto 2720.

Referencias

- E. Argüello, A. Bolaños, F. Cuenú, M. Navarro, V. Herrera, A. Fuentes & RA. Sanchez-Delgado. 1996. "Synthesis, characterization and some catalytic properties of ruthenium complexes $\text{Ru}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2(\text{L})_2$ [L = 4-But-py, 4-vinyl-py, 4-CN-py, 4-Me-py, 3-Me-py, L2 = 4,4-bipy]. Kinetics of cyclohexene hydrogenation catalysed by $\text{Ru}(\text{PPh}_3)_2\text{Cl}_2(4\text{-But-py})_2$ ". *Polyhedron*. **15**(5-6): 909-915.
- D. Astruc. 2007. "Organometallic Chemistry and Catalysis". Springer (Editors). Berlin. Pp. 357-361.
- JC. Blair, H. Itatani. 1967. "Catalytic Hydrogenation of Soybean Oil Methyl Esters and Some Related Compounds". *The Journal of the American Oil Chemists' Society*. **44**: 337-341.
- A. Bolaños, F. Cuenú, R. Vargas. 2002. "Caracterización Espectroscópica y Análisis Térmico de los Complejos Trifenilfosfina-Rutenio (II) Conteniendo el Ligando 2,6-dimetilpirazina y otros N-heterocíclicos". *Boletín de la sociedad chilena de química*. **47**(4): 1-14.
- A. Castro. 2005. "Obtención de Alcoholes Grasos por Hidrogenación de Esteres Metílicos Provenientes del Aceite de Palma Utilizando Catalizadores a base de Estaño". Trabajo de grado para optar al título de Químico, Universidad del Cauca. Pp. 70.
- SA. DA, S. Corradini, GG. Lenzi, MK. Lenzi, CMF. Soares, OAA. Santos. 2008. "Characterization and hydrogenation of methyl oleate over Ru/TiO_2 , $\text{Ru-Sn}/\text{TiO}_2$ catalysts". *Journal of Non-Crystalline Solids*. **354**: 4865-4870.
- IV. Delyi, IL. Simakova, N. Ravasio, R. Psaro. 2009. "Catalytic Behaviour of Carbon Supported Platinum Group Metals in the Hydrogenation and Isomerization of Methyl Oleate". *Applied Catalysis A: General*. **357**: 170-177.
- H. Itatani, JC. Bailar, Jr. 1966. "Homogeneous Catalysis in the Reactions of Olefinic Substances. V. Hydrogenation of Soybean Oil Methyl Ester with Triphenylphosphine and Triphenylarsine Palladium Catalysts". *The Journal of the American Oil Chemists' Society*. **43**: 147-151.
- T. LI, W. Zhang, RZ. Lee, Q. Zhong. 2009. "Nickel-Boron Alloy Catalysts Reduce the Formation of Trans Fatty Acids in Hydrogenated Soybean Oil". *Food Chemistry* **114**: 447-452.
- Y. Pouilloux, J. Barrault, F. Autin. 2000. "Selective hydrogenation of methyl oleate into unsaturated alcohols. Relationships between catalytic properties and composition of cobalt-tin catalysts". *Catalysis Today*, **63**: 87-100.
- Y. Pouilloux, A. Piccirilli, J. Barrault. 1996. "Selective Hydrogenation into Oleyl Alcohol of Methyl Oleate in the Presence of $\text{Ru-Sn}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Catalysts". *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. **108**: 161-166.

Recibido: abril 13 de 2010.

Aceptado para publicación: septiembre 12 de 2010.

MODIFICACIÓN DE UNA BENTONITA SÓDICA MEDIANTE INTERCALACIÓN-PILARIZACIÓN Y DELAMINACIÓN CON OLIGÓMEROS DE CR O SN

Por

M. N. Vanoy-Villamil¹, J. G. Carriazo¹ *, R. A. Molina¹, S. Moreno¹

Resumen

Vanoy-Villamil M. N., J. G. Carriazo, R. A. Molina & S. Moreno: Modificación de una bentonita sódica mediante intercalación-pilarización y delaminación con oligómeros de Cr O Sn. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 365-372, 2010. ISSN 0370-3908.

El presente trabajo muestra la modificación de una arcilla natural tipo bentonita sódica (proveniente del Valle del Cauca, Colombia) mediante pilarización y por delaminación, siguiendo un proceso tradicional de síntesis y uno asistido por microondas, empleando como agentes pilarizantes soluciones acuosas polihidroxocatónicas de cromo (III) o estaño (IV). Los sólidos modificados se caracterizaron por difracción de rayos-X (DRX), reducción a temperatura programada (TPR) y fluorescencia de rayos-X (FRX). Los resultados indican que el material de partida fue efectivamente modificado mediante la intercalación de especies voluminosas (oligómeros) de cromo o estaño, obteniéndose sólidos delaminados en el último caso. Los análisis de TPR revelan la presencia de Cr (III) y Sn (IV) en los sólidos modificados, verificando la efectiva incorporación de las especies deseadas.

Palabras clave: arcillas pilarizadas, arcillas delaminadas, polihidroxocaciones de cromo, polihidroxocaciones de estaño.

Abstract

This work shows the modification of a natural clay type sodium Bentonite (from Valle del Cauca, Colombia) by pillaring and delamination processes, following two different procedures of synthesis: traditional and assisted by microwaves; using polyhydroxocationic aqueous solutions of chromium(III) or tin(IV) as pillaring agents. The modified solids were characterized by X-ray diffraction (XRD), temperature programmed reduction (TPR) and X-ray fluorescence. The results indicate that the starting material was effectively modified by means of the intercalation of

¹ ESCA, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá-Colombia.

* Correo electrónico: jcarriazog@unal.edu.co.

voluminous chromium or tin species (oligomers), obtaining delaminated solids in the last case. The TPR analyses reveal the presence of Cr(III) and Sn(IV) in the modified solids, verifying the effective incorporation of the required species.

Key words: pillared clays, delaminated clays, chromium polyhydroxocations, tin polyhydroxocations.

Introducción

La intercalación-pilarización de arcillas conlleva a un incremento considerable en el área superficial de los materiales naturales de partida aumentando considerablemente la porosidad de los sólidos, gracias a la separación de las láminas del mineral de arcilla debido a la incorporación de agentes pilarizantes (oligómeros o polioxocaciones de metales) (Gil *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2000; Kloprogge, 1998). Las arcillas pilarizadas son preparadas mediante intercambio iónico de los cationes interlaminares del mineral de arcilla por oligómeros o polihidroxocaciones metálicos simples o mixtos, los cuales bajo un tratamiento térmico experimentan procesos de deshidratación/deshidroxilación, generando especies estables térmicamente (Gil *et al.*, 2000). La distribución de pilares en la superficie del mineral da como resultado una serie de sistemas de canales, que en dos dimensiones son comparables con las zeolitas (Gyftopoulou *et al.*, 2005); y en consecuencia, según las dimensiones de estos sistemas y debido a las propiedades químicas de la superficie, son materiales apropiados para ser empleados como catalizadores ácidos en la conversión o craqueo de moléculas de hidrocarburos pesados, ejerciendo un efecto de tipo selectivo, controlando las velocidades de difusión de reactantes y productos o también la formación de intermediarios.

Múltiples investigaciones se han realizado en arcillas pilarizadas con polihidroxocaciones de metales como Cr (Yurdakoc *et al.*, 2008; Gyftopoulou *et al.*, 2005; Roulia, 2005; Volzone y Cesio, 2003; Volzone, 2001, Gil *et al.*, 2000), Sn (Gyftopoulou *et al.*, 2005; Gil *et al.*, 2000, Hannus, *et al.*, 1995), Al, Fe, Zr (Carriazo *et al.*, 2007-a; Carriazo *et al.*, 2005; Gil *et al.*, 2000, Kloprogge, 1998), entre otros, y sobre arcillas pilarizadas con especies policatiónicas mixtas de Al/Cr, Fe/Cr, generando un gran volumen de literatura sobre el tema, con lo cual se conoce una serie de parámetros de control sobre el proceso de intercalación-pilarización de minerales de arcilla. Las arcillas pilarizadas y las arcillas delaminadas, en general, presentan enormes aplicaciones en procesos de catálisis heterogénea, como catalizadores o como soportes catalíticos, tanto en reacciones de importancia ambiental como en reacciones industriales de petroquímica o de química fina (Centi y Perathoner, 2008).

La importancia de las arcillas modificadas con cromo o estaño radica en su enorme potencial de aplicación en catálisis ácida, en un amplio rango de reacciones como: conversión (isomerización) catalítica de hidrocarburos (Gyftopoulou *et al.*, 2005; Storaro *et al.*, 1997), conversión de parafinas cíclicas en aromáticas (Pinnavaia *et al.*, 1987) que es un proceso importante en el reformado de combustibles, isomerización y polimerización de olefinas (Varma, 2002; Pinnavaia *et al.*, 1987) y conversión de etilbenceno a estireno (Varma, 2002; Vicente *et al.*, 2002), entre otras (Tomul y Balci, 2009, Sowmiya *et al.*, 2007).

El uso de cromo y estaño para producir polihidroxocaciones radica en su carácter de ácidos duros con relación carga/radio-iónico (Z/r) elevada, que permite catalogarlos como cationes fuertemente ácidos. Esta información, junto a su tendencia de formar estructuras voluminosas, hace atractivo el empleo de estos metales en procesos de intercalación de minerales de arcilla con el fin de ser empleados como catalizadores en reacciones de catálisis ácida.

Finalmente, el objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados parciales de un proyecto de síntesis de sólidos con potencial catalítico, mediante la modificación de minerales de arcilla por intercalación con polihidroxocaciones de cromo y de estaño, empleando una arcilla montmorillonita colombiana (bentonita del Valle del Cauca), con el propósito emplear posteriormente los sólidos modificados como catalizadores para la isomerización de hidrocarburos en una segunda fase del proyecto. Por tanto, en esta primera parte se presenta únicamente la síntesis y caracterización de los sólidos.

Parte experimental

Material de partida

Se partió de una bentonita sódica proveniente del Valle del Cauca-Colombia, comercializada por la empresa Bentocol, caracterizada a profundidad en trabajos anteriores (Carriazo *et al.*, 2007-b) y denominada "B" de ahora en adelante, la cual se sometió a separación por tamaño de partículas por sedimentación, siguiendo la ley de Stokes, para obtener la fracción $\leq 2 \mu\text{m}$. Posteriormente, el material

separado se trituró y se tamizó (malla No.100, ASTM), para luego ser homoionizado con una solución de NaCl 1M. El mineral homoionizado se lavó y centrifugó hasta que la conductividad fuera similar a la del agua destilada. El sólido resultante se secó a 60°C, se trituró, se tamizó (malla No.100) y se guardó para ser empleado posteriormente en el proceso de intercalación.

Por otra parte, una solución intercalante de cromo se preparó por goteo lento de una solución de NaOH 0.2M sobre una solución de CrCl₃.6H₂O 0.1M con agitación vigorosa, alcanzando una relación molar de OH/Cr igual a 2. La solución se dejó envejeciendo a 60°C durante un día (Volzone & Cesio, 2003; Volzone, 2001). De otro lado, una solución de estaño fue preparada a partir de SnCl₂.2H₂O disuelto en agua regia (para oxidar el Sn(II) a Sn(IV)), después se llevó a sequedad y se le adicionó lentamente una solución de NH₄Cl 0.5M con agitación vigorosa, se llevó a sequedad nuevamente y se purificó vía recristalización, generando así el hexacloroestannato(IV) de amonio, (NH₄)₂[SnCl₆], con el cual se preparó una solución acuosa de concentración 0.1M (solución intercalante de Sn).

Intercalación de la bentonita

Volúmenes adecuados de cada una de las soluciones intercalantes preparadas anteriormente (dos porciones de solución de Cr y dos de solución de Sn) se adicionan gota a gota (por separado) sobre cuatro recipientes con la arcilla en dispersión acuosa al 2% p/v, bajo agitación vigorosa, a temperatura ambiente y conservando la relación de 20 miliequivalentes de metal (Cr o Sn) por cada gramo de arcilla. Luego de la adición se continuó con la agitación por 1h a temperatura ambiente. Una de las dos porciones de arcilla intercalada con cada metal fue puesta en reflujo por varias horas (método tradicional) y la otra se irradió con microondas (método asistido por microondas). La Tabla 1 resume las condiciones empleadas en la síntesis.

Finalmente, después del proceso de intercalación, el material resultante fue centrifugado y lavado con agua destilada, varias veces hasta que la conductividad fuera cercana a la del agua destilada inicial. Posteriormente los sólidos se calcinaron a 400°C, con rampa de calentamiento, empleando atmósfera de aire estática para los materiales modificados con Sn, y un flujo lento de N_{2(g)} para los materiales modificados con Cr.

Caracterización de los sólidos

Todos los sólidos se trituraron y tamizaron (malla No. 100, ASTM) antes de las caracterizaciones físicas o químicas.

Fluorescencia de Rayos-X (FRX). Los elementos mayoritarios presentes en los sólidos se determinaron en un espectrómetro de rayos X Phillips MagiX Pro PW 2440 equipado con un tubo de Rodio, con una potencia máxima de 4 kW. Las muestras fueron homogeneizadas y preparadas en forma de perlas fundidas (discos de 37mm de diámetro) con relación muestra/fundente de 1/10. Como fundente se utilizó una mezcla de tetraborato de litio y metaborato de litio; como antiadherente se añadió yoduro de litio.

Difracción de Rayos-X (DRX). Los perfiles de difracción de rayos X y los espaciados basales (reflexión d₀₀₁) fueron obtenidos en un equipo SIETRONICS XRD SCA, (radiación Ka de Cu, l=1,54056Å), con geometría 2q, en un rango de 2-20 °2q, con una velocidad de barrido de 1°/min. Los análisis se realizaron a temperatura ambiente.

Reducción a Temperatura Programada (TPR). Los ensayos de reducción a temperatura programada (TPR) se realizaron en un equipo Chembet 300 (Quantachrome), con detector de conductividad térmica (TCD) y usando un reactor de cuarzo. Se empleó hidrógeno (99,995% de pureza, Agafano-Colombia) como gas reductor y argón (99,998%

Tabla 1. Condiciones para la intercalación de la arcilla*

Sólido	Relación OH/metal	Meq. Metal/g de arcilla.	% arcilla (p/v)	Tiempo microondas (160Watts)	Tiempo de reflujo
BCr1	2	20	2	-	40h
BCr2	2	20	2	10min	-
BSn1	-	20	2	-	20h
BSn2	-	20	2	10min	-

* BCr1: bentonita intercalada con especies de cromo por el método tradicional; BCr2: intercalada con especies de cromo por el método con microondas. BSn1 y BSn2: bentonita intercalada con especies de estaño mediante método tradicional y por microondas, respectivamente.

de pureza, Agafano-Colombia) como gas de purga y arrastre. La muestra fue previamente desgasificada a 400°C durante 1 h en flujo de Ar. El análisis se desarrolló con velocidad de calentamiento de 10°C/minuto, con mezcla de H₂/Ar 10%v/v (3,1 mmol H₂/cm³) y velocidad de flujo de 0,27mL (STP)/s (Carriazo *et al.*, 2007-b).

Resultados y discusión

Fluorescencia de Rayos-X (FRX):

La tabla 2 muestra la modificación efectiva de los sólidos mediante la incorporación de Cr y de Sn. El ligero aumento en la relación Si/Al en los sólidos sintetizados, con respecto a la bentonita de partida, probablemente esté relacionado con la posible pérdida de Al (dealuminización) del sólido inicial durante el tratamiento de síntesis, un efecto que ya es conocido en el campo de investigación sobre arcillas o zeolitas.

Tabla 2. Resultados de análisis químico por FRX de la arcilla natural y los sólidos modificados.

Sólido	Relación Si/Al	Cr/Si	Sn/Si
B	2.3	-	-
BCr1	2.5	0,34	-
BCr2	2.5	0,30	-
BSn1	3.1	-	1,7
BSn2	3.1	-	-

Difracción de Rayos-X (DRX)

El difractograma obtenido para la bentonita sódica (B-natural, figura 1) verifica las señales características de una esmectita (montmorillonita), con un espaciado basal d_{001} de 13.5Å y otras señales menores, en acuerdo con lo reportado en literatura (Carriazo *et al.*, 2007-b).

La Figura 1 muestra los difractogramas de la bentonita modificada con cromo, en los cuales se aprecia el desplazamiento de la señal d_{001} (13.5Å para la arcilla natural) hacia espaciados basales mayores en los sólidos calcinados (14.5Å y 17.9Å), lo que indica que el material fue efectivamente modificado por pilarización. Es importante resaltar que en la bentonita modificada con cromo por el método tradicional, no calcinada (BCr1*), no está presente la señal esmectítica característica, mostrando una línea suave y continua típica de minerales de arcilla delaminados. Esto revela la presencia de especies bastante voluminosas en el sólido BCr1*, que separan enormemente las láminas del mineral. Sin embargo, después de calcinar este sólido para

formar el sólido BCr1, se observa un reordenamiento de la estructura, formando una arcilla pilarizada y generando espaciados del orden de 14.5Å y 17.9Å

Debido a la forma ancha y asimétrica de la señal en 4.9°2θ (17.9Å) para BCr1 y BCr2, puede asumirse la inserción, vía pilarización, de una serie de especies voluminosas de cromo con tamaño variado. En efecto, la literatura reporta que las soluciones de OH/Cr contienen especies triméricas (Cr₃(OH)₄⁵⁺) principalmente, seguido por tetra (Cr₄(OH)₆⁶⁺), mono (Cr(H₂O)₃³⁺) y dímeros (Cr₂(OH)₂⁴⁺) (Volzone, 2001), y algunos sugieren que controlando muy rigurosamente las condiciones de síntesis, se puede generar el crecimiento de los polihidroxocaciones de cromo a tamaños muy superiores (Drljaca y Spiccia, 1996), y en efecto se han reportado espaciados interlaminares de hasta 23.4Å (Gyftopoulou *et al.*, 2005).

Los resultados anteriores revelan perfiles de DRX similares para los sólidos pilarizados con cromo mediante los dos métodos empleados en el presente trabajo. En suma, los resultados indican que las intercalaciones vía método tradicional y vía método asistido por microondas no presentan diferencias apreciables, aparte del menor tiempo empleado en el proceso asistido, lo cual constituye una ventaja enorme sobre el método tradicional.

Por otra parte, las arcillas modificadas con estaño muestran perfiles típicos de delaminación (Figura 2), en donde desaparecen las señales fundamentales del mineral de arcilla y se muestra una señal con caída suave y continua que deriva en la línea base. Esto se debe a que en el proceso de intercalación se introducen especies muy grandes, lo cual genera una gran separación de las láminas del mineral de forma permanente.

Reducción a temperatura programada (TPR)

En general, el análisis por TPR permite, mediante el consumo de hidrógeno a determinadas temperaturas, obtener información sobre los estados de oxidación de las especies metálicas presentes en la muestra y sobre la posible interacción de dichas especies con el soporte. La Figura 3 muestra los perfiles de TPR para los sólidos modificados con oligómeros de estaño, en los cuales se observa una mayor intensidad de los picos de reducción de las arcillas modificadas con respecto a la bentonita natural, lo que indica un mayor consumo de H₂ como fuente reductora, probablemente debido a la introducción de cantidades considerables de estaño (la Tabla 2 indica la incorporación de cantidades mayores de este metal), como también a su estado de oxidación mayor (IV) y a que, como consecuencia de la delaminación, hay una mayor cantidad de óxidos

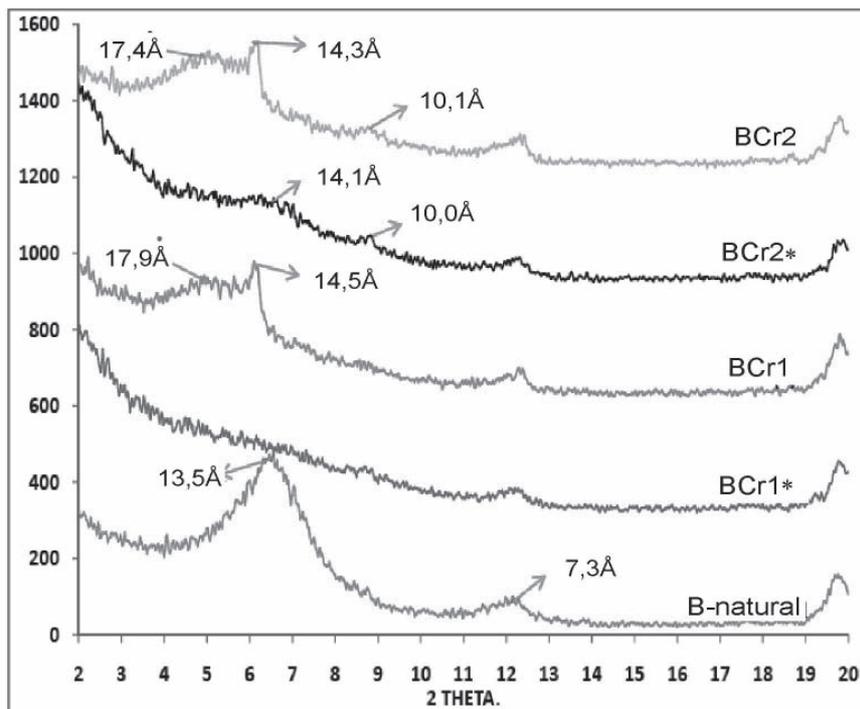


Figura 1. Difractogramas de rayos-X de la bentonita natural (sódica) y de los sólidos intercalados con cromo (el * indica que el material no esta calcinado).

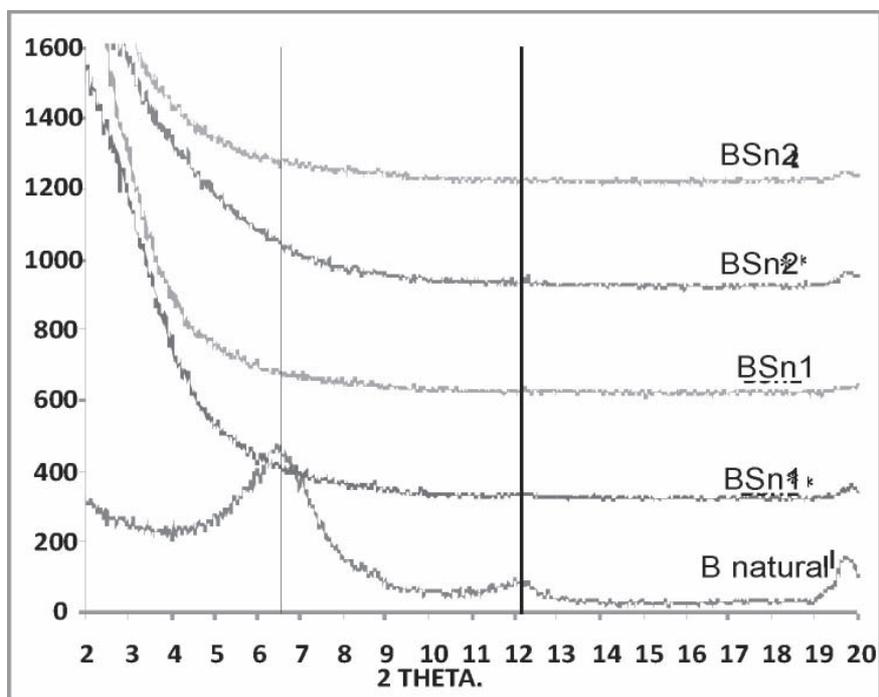


Figura 2. Difractogramas de rayos-X de la bentonita natural y los sólidos modifica- dos con estaño (el * indica que el material no esta calcinado).

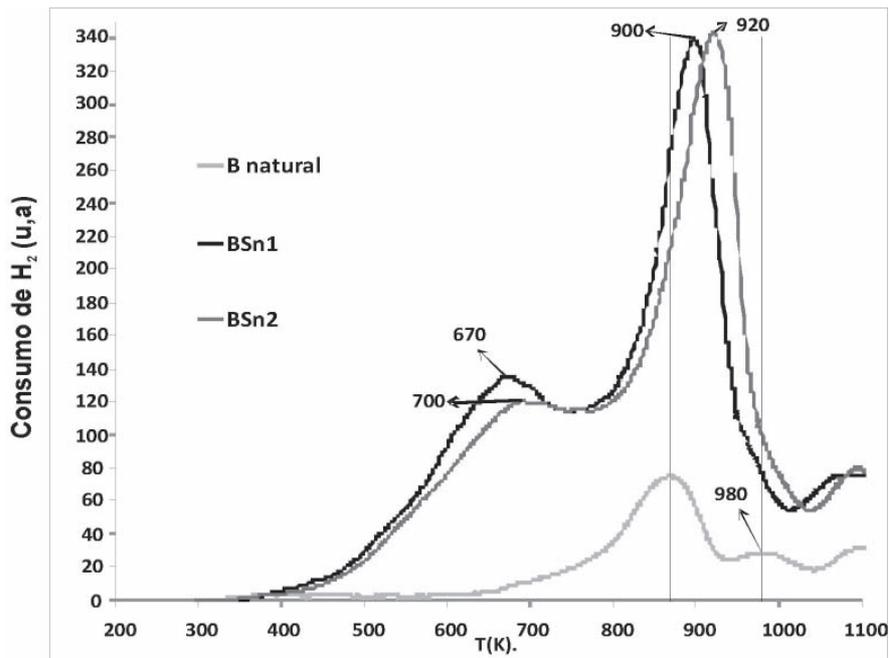


Figura 3. Perfiles de TPR para bentonitas modificadas con estaño.

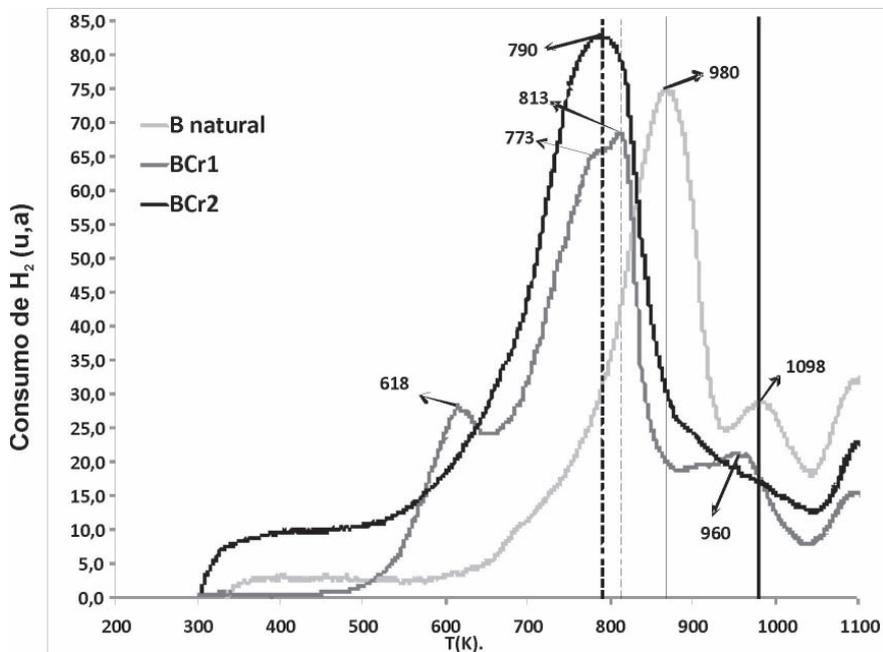


Figura 4. Perfiles de TPR para bentonitas modificadas con cromo.

de metales propios de la bentonita expuestos y accesibles a ser reducidos. En la bentonita natural la señal en 869K probablemente corresponde a la reducción de magnetita (Fe_3O_4) a wüstita (FeO), mientras que la señal a 980K, podría ser el resultado de la reducción de wüstita (FeO) hasta

hierro metálico (Fe^0) (Carriazo *et al.*, 2007-b). En las arcillas modificadas con estaño (BSn1 y BSn2) se observa una señal en 670K, la cual puede asignarse a la reducción de estaño (IV) a estaño (II) (Jones y McNicol, 1996). El pico observado entre 900 y 920K, con mayores consumos de

H₂, probablemente sea el resultado de las contribuciones de la reducción de Sn(II) a estaño metálico (Sn⁰), sumado a los consumos de hidrógeno por parte de las especies propias de la superficie de la arcilla, principalmente especies de hierro.

Los perfiles de TRP para las arcillas modificadas con cromo (BCr1 y BCr2) (figura 4), muestran un corrimiento de las señales de reducción de las especies de hierro provenientes de la arcilla (situadas en 869K y 980K en la bentonita natural) hacia menores valores de temperatura (alrededor de 790K y 960K, respectivamente), lo que indica una mayor facilidad para reducir las especies de hierro, como consecuencia de la pilarización de los sólidos que, como es de total conocimiento, conduce al aumento de microporosidad debido a la separación de las láminas por la inserción de pilares (Gil *et al.*, 2008; Gil *et al.*, 2000). Por otra parte, la señal que aparece en 618K para el sólido BCr1, corresponde a la posible reducción de Cr³⁺ a Cr²⁺ y la señal en 773K posiblemente a la reducción de Cr²⁺ a Cr⁺ (Jones y McNicol, 1996). En el sólido BCr2 no se aprecian las señales que indican la posible reducción de las especies de cromo, debido probablemente al solapamiento de éstas con la señal de reducción de la magnetita. Adicionalmente, la reducción de Cr³⁺ a Cr²⁺ para este sólido podría presentarse con menor consumo de H₂, con lo cual se podría suponer que existe mayor dificultad para reducir estas especies de cromo, indicando así posibles diferencias, probablemente en cuanto a textura de los materiales o en cuanto al tipo de interacción entre el Cr³⁺ y las demás especies del mineral soporte, lo cual realmente es difícil de comprobar en el presente trabajo.

Finalmente, tanto para la síntesis de los sólidos con Cr como para la de los sólidos con Sn, se observan perfiles similares de TRP para los materiales preparados por el método tradicional y para los materiales obtenidos mediante irradiación con microondas, lo cual indica que este último método de síntesis efectivamente provee una ruta altamente favorable con disminución enorme de tiempo (10 minutos en vez de 20 ó 40 horas, tabla 1), proporcionando sólidos con características semejantes en procesos de oxidorreducción.

Conclusión

Los resultados del presente trabajo verifican la modificación efectiva de una arcilla colombiana mediante la intercalación-pilarización con especies polioxocatiónicas de cromo, y la modificación por delaminación del mismo mineral mediante la inserción de especies polioxocatiónicas voluminosas de estaño. Adicionalmente, los perfi-

les de DRX y de TPR indican que los dos métodos empleados para la síntesis conllevan a la obtención de sólidos con características similares, poniendo en evidencia la ventaja del empleo de microondas con enorme disminución del tiempo requerido, tanto para la modificación con especies de Cr como para la modificación con especies de estaño. Finalmente, los ensayos de TPR evidencian los posibles estados de oxidación de Cr(III) y Sn(IV) en los sólidos finales.

Agradecimientos

Los autores del presente artículo agradecen a la Universidad Nacional de Colombia por el soporte financiero a través del proyecto VRI-DIB 20201007579.

Referencias

- Carriazo J., Centeno M. A., Odriozola J. A., Moreno S., Molina R. (2007-a) Effect of Fe and Ce on Al-pillared bentonite and their performance in catalytic oxidation reactions. *Applied Catalysis A*, 317, 120-128.
- , Molina R., Moreno S. (2007-b). Caracterización estructural y textural de una bentonita colombiana. *Revista Colombiana de Química*, 36(2), 213-225.
- , Guélou E., Barrault J., Tatibouët J.-M., Molina R., Moreno S. (2005). Synthesis of pillared clays containing Al, Al-Fe or Al-Ce-Fe from a bentonite: characterization and catalytic activity. *Catalysis Today*, 107-108, 126-132.
- Centi G., Perathoner S. (2008). Catalysis by layered materials: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*, 107, 3-15.
- Drljaca A., Spiccia L. (1996). Early stages of the hydrolysis of chromium (III) in aqueous solution-XI. Kinetics of formation of hexamer from trimer and tetramer from monomer and trimer *Polyhedron*, 15, 2875-2886.
- Gil A., Korili S. A., Vicente M. A. (2008). Recent advances in the control and characterization of the porous structure of pillared clay catalysts. *Catalysis Reviews-Science and Engineering*, 50, 153-221.
- , Gandía L., Vicente M. A. (2000). Recent advances in the synthesis and catalytic applications of pillared clays. *Catalysis Reviews-Science and Engineering*, 42, 145-212.
- Gyftopoulou M.E., Millan M., Bridgwater A.V., Dugwell D., Kandiyoti R., Hriljac J.A. (2005). Pillared clays as catalysts for hydrocracking of heavy liquid fuels. *Applied Catalysis A*: 282, 205-214.
- Hannus I., Palinko I., Lazar K., Nagy J.B., Kiricsi I. (1995). The chemical state of Sn in Sn-montmorillonite; A multinuclear MAS NMR and ¹¹⁹Sn Mossbauer spectroscopic study. *Journal of Molecular Structure*, 349, 179-182.
- Jones A., McNicol B. (1996). *Temperature-Programmed Reduction for Solid Materials Characterization*. New York, Marcel Dekker, Inc., p. 101, 144.

- Kloprogge J. T.** (1998). Synthesis of smectites and porous pillared clay catalysts: A review. *Journal of Porous Materials*, 5, 5-41.
- Pinnavaia T. J., Tzou M. S., Landau S. D.** (1987). US Patent 4'665.045.
- Rouliá M.** (2005). Synthesis and characterization of novel chromium pillared clays. *Materials Chemistry and Physics*, 91, 281-288.
- Sowmiya M., Sharma A., Parsodkar S., Mishra B. G., Dubey A.** (2007). Nanosized sulfated SnO₂ dispersed in the micropores of Al-pillared clay as an efficient catalyst for the synthesis of some biologically important molecules. *Applied Catalysis A*, 333, 272-280.
- Storaro L., Ganzerla R., Lenarda M., Zanoni R., López A. H., Olivera-Pastor P., Castellón E.** (1997). Catalytic behavior of chromia and chromium-doped alumina pillared clay materials for the vapor phase deep oxidation of chlorinated hydrocarbons. *Journal of Molecular Catalysis A*, 115, 329-338.
- Tomul F., Balci S.** (2009). Characterization of Al, Cr-pillared clays and CO oxidation. *Applied Clay Science*, 43, 13-20.
- Varma, R. S.** (2002). Clay and clay-supported reagents in organic synthesis. *Tetrahedron*, 58, 1235-1255.
- Vicente M. A., Meyer A., González E., Bañares -Muñoz M. A., Gandía L. M., Gil A.** (2002). Dehydrogenation of ethylbenzene on alumina-cromia pillared saponitas. *Catalysis Letters*, 78, 99-103.
- Volzone C., Cesio A. M.** (2003). Changes in OH-Cr-montmorillonite after heating in air and nitrogen atmospheres. *Materials Chemistry and Physics*, 79, 98-102.
- Volzone C.** (2001). Pillaring of different smectite members by chromium species (Cr-PILCs). *Microporous and Mesoporous Materials*, 49, 197-202.
- Yurdakoç M., Akçay M., Tonbul Y., Ok F., Yurdakoç K.** (2008). Preparation and characterization of Cr- and Fe-pillared bentonites by using CrCl₃, FeCl₃, Cr(acac)₃ and Fe(acac)₃ as precursors. *Microporous and Mesoporous Materials*, 111, 211-218.

Recibido: septiembre 15 de 2009.

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010.

¿ES *SAYORNIS NIGRICANS* (AVES: TYRANNIDAE) UN BUEN INDICADOR DE CALIDAD AMBIENTAL EN LA ZONA URBANA DE CALI, COLOMBIA?

Por

Angélica Hernández¹, Felipe A. Estela² y Patricia Chacón de Ulloa¹

Resumen

Hernández, A., F. A. Estela & P. Chacón de Ulloa: ¿Es *sayornis nigricans* (aves: Tyrannidae) un buen indicador de calidad ambiental en la Zona Urbana de Cali, Colombia? Rev. Acad. Colomb. Cienc. **34** (132): 373-380, 2010. ISSN 0370-3908.

Para determinar si el Atrapamoscas Guardapuentes es un buen indicador de la calidad ambiental de ríos en zonas urbanas, se estudió la especie a lo largo de la ribera del río Cali. Se registró el tipo de perchas, sustratos y frecuencia de forrajeo, se estimó el tamaño del territorio defendido por cada pareja y se caracterizó el hábitat preferido. Adicionalmente se hicieron muestreos de la artropofauna terrestre para conocer la oferta alimenticia. Los resultados sugieren que la especie no debe ser usada como indicadora de la integridad de hábitats ribereños urbanos, ya que su actividad no se ve limitada por la calidad de los mismos, su dieta es generalista y responde a una oferta determinada.

Palabras clave: atrapamoscas guardapuentes, bioindicador, artropofauna, río Cali, historia natural.

Abstract

Study monitored the Black Phoebe along the Cali River to determine suitability as a bio-indicator of water quality in urban areas. Recorded type of perch, forage substrates, and forage frequency, estimated size of territory defended by each mated pair, and characterized preferred habitat. Arthropod samples were collected to assess food availability. The results suggest that the Black Phoebe should not be used as an indicator of the biotic integrity of rivers in urban settings. Its activities are not restricted by the quality of its environment, as it has a flexible diet and responds well to a variety of offerings.

Key words: black phoebe, bio-indicator, arthropod-fauna, Cali river, natural history.

¹ Dirección postal: Universidad del Valle. Cali, Colombia. A.A. 25360. Correo electrónico: ahernandezpalma@gmail.com, pachacon@univalle.edu.co

² Dirección postal: Asociación Calidris. Cali, Colombia. A.A. 25360. Correo electrónico: felipe.estela@gmail.com

Introducción

El acelerado y desordenado crecimiento de las poblaciones humanas es una de las causas del deterioro y pérdida de zonas naturales (Rivera-Gutiérrez, 2006). A medida que éstas se ven más y más afectadas, surge la necesidad de monitorear, evaluar, manejar y tratar de remediar el daño ecológico; pero debido a la complejidad de los ecosistemas resulta imposible hacerlo de una manera directa (Landres *et al.*, 1988). Debido a esto, en los últimos años se han desarrollado métodos alternativos para cuantificar dichos cambios. Éstos consisten en el uso de especies indicadoras, cuya densidad, presencia – ausencia, o supervivencia de la progenie son usados para medir las condiciones del ecosistema en que viven (Hilty & Merenlender, 2000).

Actualmente se conoce que la contaminación acuática influye sobre organismos como peces y macroinvertebrados, pero también las aves se ven afectadas ya que dependen de los ecosistemas lóticos para obtener su alimento (Ormerod *et al.*, 1991). Desde la década de 1970 se han desarrollado estudios a nivel global, en varias especies de aves con hábitos acuáticos y semiacuáticos. Tal es el caso de el Mirlo Acuático Europeo (*Cinclus cinclus*), el Mirlo Acuático Americano (*Cinclus mexicanus*) y la Reinita Acuática (*Seiurus motacilla*), los cuales han demostrado ser especies claves para la determinación de la calidad de cuerpos de agua lóticos (Shaw, 1978; Tyler y Ormerod, 1985; Ormerod *et al.*, 1985a; Ormerod *et al.*, 1985b; Ormerod *et al.*, 1991; Sorace *et al.*, 2002; Feck & Hall, 2004; Wayland *et al.*, 2006; Mattson & Cooper, 2006). En el Neotrópico, a pesar de la gran biodiversidad de aves y de fauna en general, son muy escasos o nulos, hasta donde tenemos conocimiento, los estudios que exploran el uso potencial de las aves acuáticas o semiacuáticas como bioindicadores.

En este estudio se examinó cómo se ve afectada por la calidad del ambiente en el que vive, el Atrapamoscas Guardapuentes (*Sayornis nigricans* Swainson 1827), una especie común que presenta hábitos semiacuáticos y raramente se encuentra lejos del agua. El Guardapuentes se distribuye ampliamente en el continente americano desde el oeste de los Estados Unidos hasta el sur de Argentina; sus requerimientos de hábitat parecen ser agua al aire libre, ausencia de vegetación densa y, si es posible, prolongaciones como cables, barrancos, piedras o ramas donde se pueda posar para cazar su alimento (Hilty & Brown, 1986). Éste lo encuentra tanto en el aire, en la superficie del agua o sobre sustratos sólidos dentro del río (Del Hoyo *et al.*, 2004). La especie también habita en zonas urbanas, donde aprovecha puentes y muros sobre los ríos, para establecer sus territorios y anidar (Hilty & Brown, 1986).

Debido a su dependencia de los ríos y ecosistemas riparios para obtener su alimento, se predice que la presencia de *S. nigricans* a lo largo de un río proveerá información acerca de las condiciones ambientales del lugar. El Guardapuentes debería responder a deterioros de la calidad del agua y del ambiente, ya que se alimenta principalmente de macroinvertebrados acuáticos y artrópodos que viven cerca de la superficie del agua y en la vegetación riparia (Hilty & Brown, 1986). Si las características ecológicas del Guardapuentes están asociadas con cambios ambientales, entonces podría ser considerado como una especie bioindicadora.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se encuentra ubicada en la cuenca baja del río Cali, dentro de la zona urbana de Santiago de Cali (Departamento del Valle del Cauca, Colombia), 1000 m de altitud (3°27' N y -76°31' O). Según la clasificación de Holdridge (1967), corresponde a un Bosque Seco Tropical, con precipitación anual cercana a los 1500 mm y biotemperatura de 24°C.

El río Cali nace en la vertiente oriental de la cordillera Occidental colombiana, en el Parque Natural Nacional Los Farallones de Cali, y desemboca en el río Cauca. La cuenca del río tiene una superficie total aproximada de 18 252 ha. (Varela, 1994). El río entra a la ciudad por el occidente, en una zona netamente residencial, y a medida que avanza hacia su desembocadura recibe descargas de aguas residuales, así como también los vertimientos de origen industrial que aportan varias fábricas ubicadas en el perímetro urbano de la ciudad, lo cual hace que se presente un gradiente de contaminación a lo largo de su curso por la ciudad (Zúñiga de Cardozo, 1985; Zúñiga de Cardozo *et al.*, 1994).

En cuanto a la zona riparia, en general existe vegetación arbórea a lo largo del cauce, aunque no es muy densa. La infraestructura vial sobre el río incluye 16 puentes de carácter vehicular y tres de carácter peatonal que son aprovechados por el Guardapuentes para establecer sus territorios y construir sus nidos (Hernández, 2008); además presenta muros de contención en cada orilla pero únicamente hasta la porción media de su cauce en la ciudad, en donde cambia completamente convirtiéndose principalmente en límites de vegetación.

Se seleccionaron cuatro puentes a ubicados a lo largo de un transecto de 12.5 km aproximadamente (Figura 1); cada puente se consideró como una estación de muestreo. Se utilizó como medida de contaminación, los valores del

Índice de Calidad de Agua ICA-NSF calculados por el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) del Municipio de Santiago de Cali, en un estudio realizado entre noviembre de 2005 y agosto de 2006, el cual demuestra que el río Cali disminuye su calidad de agua a medida que avanza hacia su desembocadura en el río Cauca (DAGMA, <<http://www.cali.gov.co/corporativo.php?id=2158>> Consulta: 10 noviembre 2008) (Figura 1).

Monitoreo del Guardapuentes

Entre marzo y agosto de 2007 se muestrearon las cuatro estaciones de muestreo, entre las 06:45 y las 11:30 horas. En cada jornada se observó uno de los dos individuos del Guardapuentes por periodos de 15 minutos, anotando las

perchas que utilizaba, los sustratos sobre los que forrajeaba y el número de veces que lo hacía en cada uno. Se aplicó una prueba de chi-cuadrado (Zar, 1996) para determinar si el tipo de percha utilizada era independiente de la estación de muestreo.

Se buscaron correlaciones entre la frecuencia de alimentación en el agua y en el aire y los valores de precipitación en la zona de estudio, los cuales correspondieron a la estación La Teresita localizada en vecindad de la primera estación. También se registraron los diferentes comportamientos de los individuos con el fin de obtener datos acerca de la historia natural de la especie y se colectaron muestras de excretas para identificar sus presas preferidas.

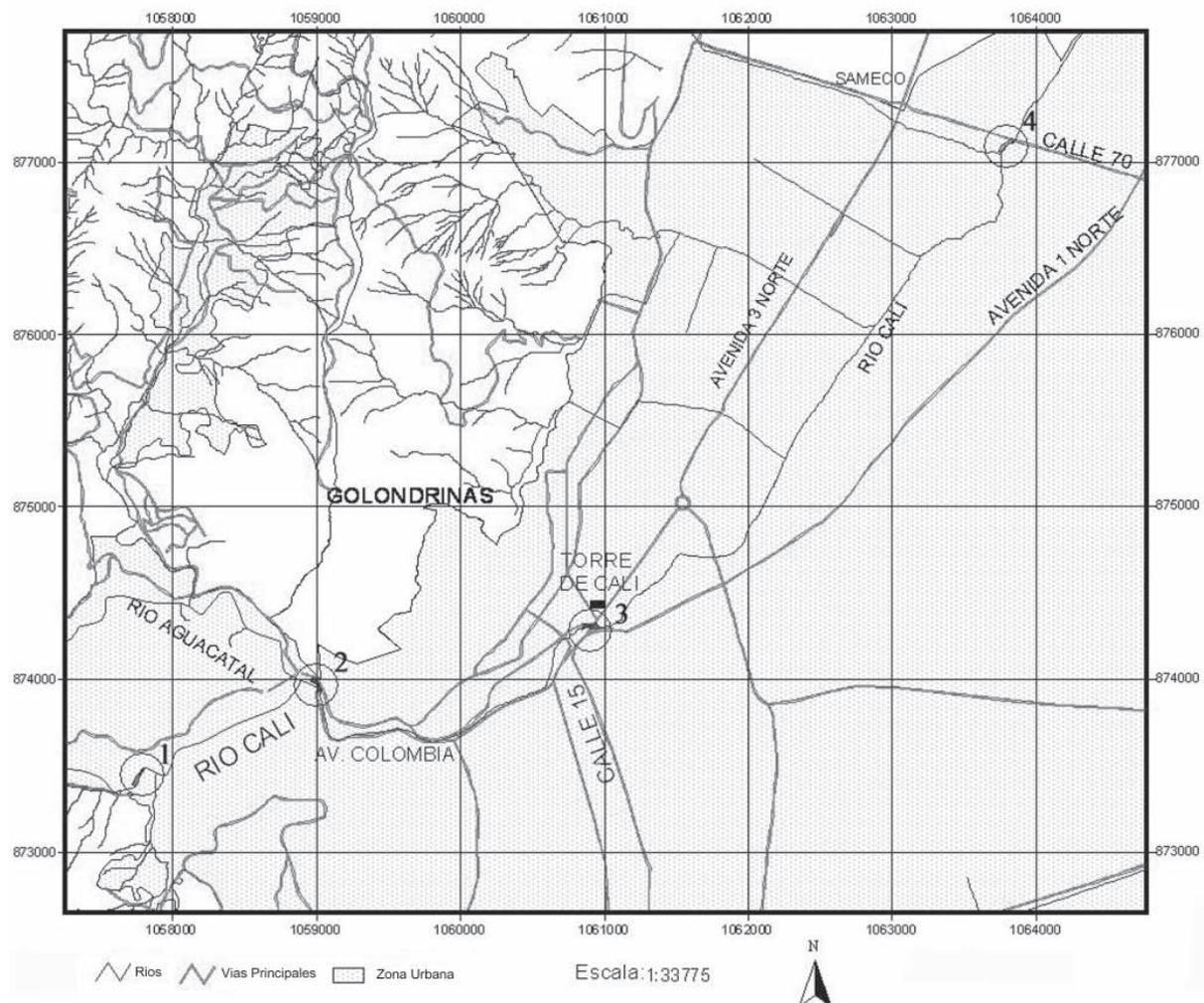


Figura 1. Mapa de la zona de Estudio donde se ubican las estaciones de muestreo y su respectivo valor del Índice de Calidad de Agua (ICA), que varía entre 0-100 siendo cien agua de excelente calidad. 1. Zoológico de Cali (ICA: 67.3); 2. Normandía (ICA: 43.0); 3. Calle 15 (ICA: 42.5); 4. Puente Calle 70 (ICA: 41.2).

Para establecer los límites del territorio utilizado por cada pareja, se registraron los sitios de percha más alejados del puente que utilizaban los individuos. Al concluir todas las jornadas de muestreo se estableció, con base en las observaciones previas y la ayuda de un Geoposicionador Global (GPS), modelo GeoExplorer 3, el área del territorio en cada sitio de muestreo. Los datos proporcionados por el GPS se graficaron utilizando el programa GPS Pathfinder Office 2.90 y posteriormente se montaron sobre un mapa de la ciudad de Cali, utilizando el programa ArcView GIS 3.2.

Muestreo de artrópodos

Se realizó entre mayo y agosto de 2007 junto con las jornadas de observación del ave. Para esto se utilizó una jama aérea con la cual se hicieron diez pases aleatorios en cuatro lugares diferentes de la vegetación riparia, procedimiento aplicado en cada estación de muestreo. Los artrópodos colectados se fijaron en alcohol al 80% y se llevaron al laboratorio donde se determinaron hasta el nivel de orden y algunos hasta familia (Triplehorn y Johnson, 2005; Wolf 2006).

Caracterización del hábitat

Se trabajó con base en los parámetros utilizados por Naranjo & Ávila (2003), por lo cual se midieron las siguientes variables en cada estación de muestreo: 1) profundidad del agua, medida desde una de las orillas, 2) velocidad de la corriente, calculada con base en el cronometraje del tiempo tomado por un corcho en recorrer 10 m previamente marcados, 3) número de piedras con diámetro aproximado superior a 50 cm y que sobresalieran del cauce, 4) ancho del lecho del río, y 5) altura del puente. Cada una se midió tres veces en los extremos y en el centro del territorio defendido por cada pareja.

Resultados

Monitoreo del Guardapuentes

Se dedicaron 2466 minutos de observación en 24 jornadas en todas las estaciones de muestreo, repartidas así: ocho en el Zoológico, seis en Normandía, cinco en la Calle 15, y cinco en el Puente 70. Se identificaron dos sustratos (aire y agua) y cuatro perchas principales utilizadas por la especie (piedras, borde de río, vegetación riparia y construcciones). El 43% de su tiempo se encuentra en el agua y el resto se encuentra en el aire (57%). El porcentaje de ocupación del sustrato acuático se incrementó a lo largo de las estaciones, mientras que el del sustrato aéreo disminuyó (Figura 2). La utilización de las

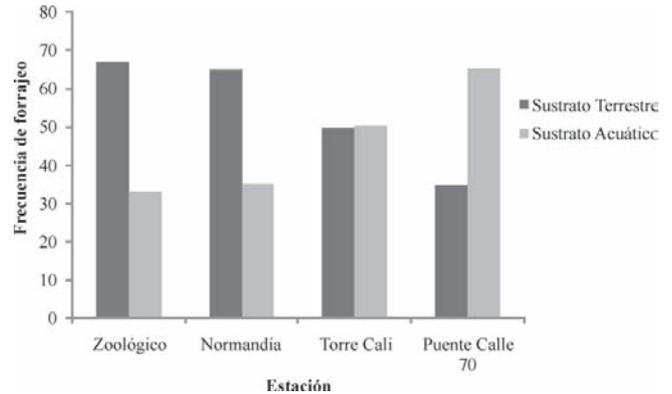


Figura 2. Comparación de la frecuencia de forrajeo del Guardapuentes en dos sustratos, en las cuatro estaciones de muestreo.

perchas dependió significativamente de la estación de muestreo (χ^2 : 1908,87; g.l. 9; $P <<< 0,001$) sin embargo, las piedras constituyeron un recurso muy utilizado en todas las estaciones (Figura 3).

Se encontró una relación directamente proporcional entre la precipitación en la zona de estudio y la frecuencia de forrajeo en el aire (Figura 4a). Lo contrario ocurrió con la frecuencia de forrajeo en el agua, la cual disminuyó con los aumentos de precipitación (Figura 4b).

Oferta alimenticia

En total se colectaron 15 órdenes (14 de insectos, y uno de arácnidos), 164 morfoespecies, y 4611 individuos. Del total de órdenes registrados, el 87% se halló en la primera estación de muestreo mientras que en las dos últimas hubo una disminución del 20% (Tabla 1). La oferta en términos de abundancia fue variable (731.5 individuos \pm 292,0) alcanzando los valores más altos en la segunda y tercera estación y reduciéndose a una tercera parte en la última

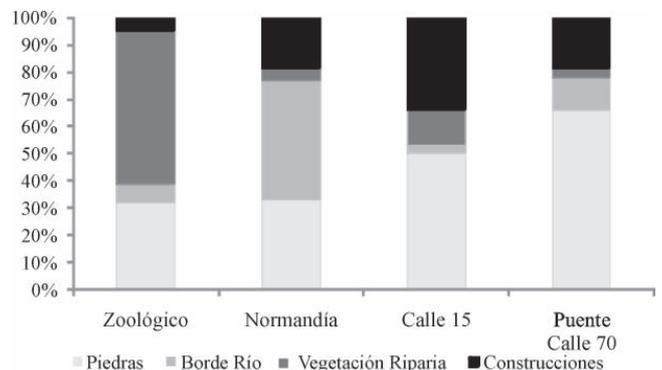


Figura 3. Porcentaje de tiempo utilizado en cada percha en las estaciones de muestreo.

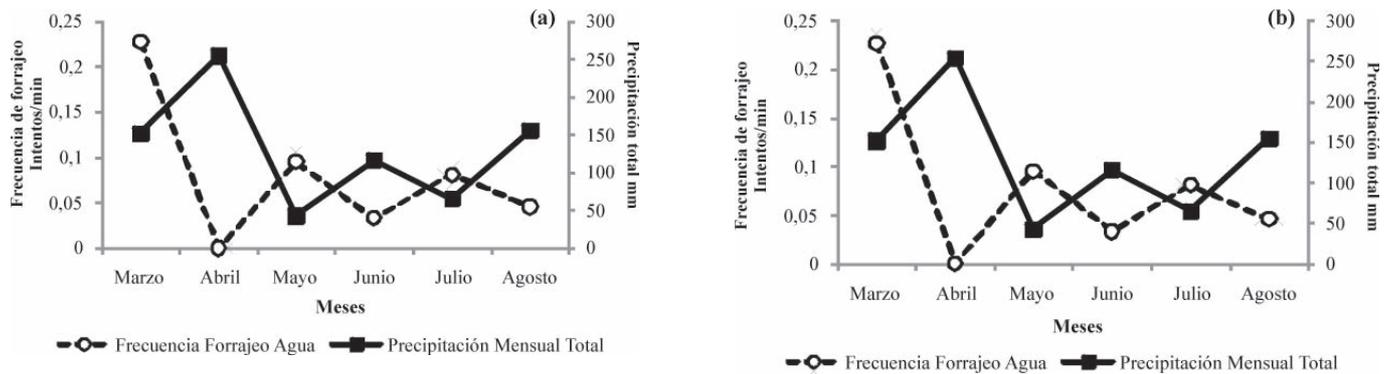


Figura 4. Relación entre la precipitación en la zona de estudio y la frecuencia de forrajeo del Guardapuentes en el aire (a) y en el agua (b).

Tabla 1. Cuantificación de artrópodos colectados mediante jama aérea en las cuatro estaciones de muestreo

Estación	No. de órdenes	No. de individuos	No. de morfoespecies
Zoológico	13	938	96
Normandía	12	1.363	115
Calle 15	10	1.784	108
Puente Calle 70	10	525	92
Promedio ± desviación estándar	11,3 1,5	731,5 292,0	102,8 10,6

estación. La riqueza de morfoespecies no mostró marcada variación entre las estaciones.

Durante las jornadas de monitoreo del Guardapuentes se observó que la especie se alimenta principalmente de insectos que captura tanto en el agua (superficie y columna de agua) como en el aire y en la vegetación riparia. En las muestras de excretas colectadas durante la época reproductiva (julio – agosto de 2007), se lograron identificar alas de moscas (Sarcophagidae y Muscidae) y también se observaron restos de escleritos, probablemente de coleópteros. Además, se encontraron restos de apéndices como patas y antenas, pertenecientes a otros órdenes de insectos y arácnidos.

Área del territorio y preferencias de hábitat

El Guardapuentes nunca abandona su territorio, el cual se compone de una porción del lecho del río, el puente (construcción) y la vegetación circundante. El área promedio del territorio de la especie fue de 2600 m² (± 27,1 D.E.); en la estación del Puente Normandía se registró el menor valor (2200 m²) (Figura 5) y el mayor valor correspondió al Puente Calle 70 (2800 m²). Las variables medidas en relación con la caracterización del hábitat no presentaron va-

riaciones significativas entre las estaciones de muestreo, a excepción del número de piedras con diámetro superior a 50 cm, el cual disminuyó drásticamente en la estación Puente Calle 70 en la que no se registró ninguna de ese tamaño (Tabla 2). Sin embargo, en esta última estación siempre se observó una extensión amplia dentro del lecho del río compuesta por pequeñas piedras, lo que daba como resultado una “playa” en la que los individuos forrajeaban constantemente, tanto en el agua como en su superficie.

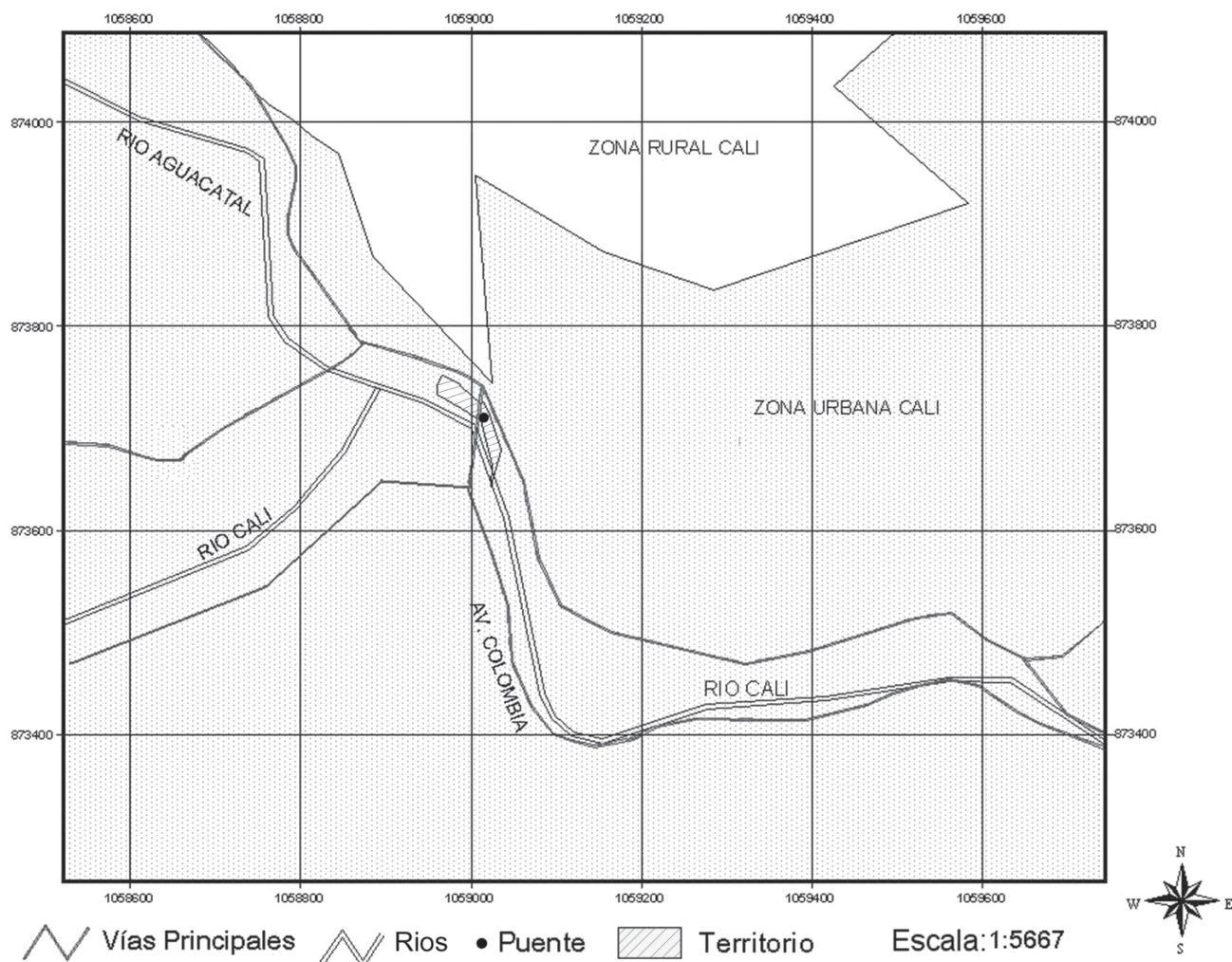
Observaciones sobre la historia natural del Guardapuentes

La especie conserva en su territorio entre dos y cinco nidos antiguos, los cuales utiliza como sitios de descanso y dormitorios durante la época no reproductiva. En la reproducción, uno de los dos individuos adecua uno de estos nidos para utilizarlo nuevamente, lo cual sugiere que la especie reutiliza los nidos construidos anteriormente.

Habitualmente nacen dos crías en cada temporada reproductiva (julio - agosto de 2007), sin embargo los padres sólo alimentan a una, que es la que sobrevive. En ésta actividad participan los dos padres, aunque uno siempre es más activo.

Tabla 2. Comparación de las variables descriptivas de las estaciones de muestreo

Variable	Estación			
	Zoológico	Normandía	Calle 15	Puente Calle 70
Altura puente (m)	2,8	3,5	5,8	6,3
Profundidad río (m)	0,4	0,6	0,4	0,3
Velocidad corriente (m/s)	0,7	0,5	0,9	0,9
Número piedras (D > 50 cm)	56	75	56	0
Ancho lecho río (m)	15,6	11,0	8,4	11,7

**Figura 5.** Área del territorio defendido por *Sayornis nigricans* en la Estación de Normandía (2200 m²).

En cuanto a las relaciones interespecíficas, se observó hostigamiento por parte de las hembras del Chamón Parásito (*Molothrus bonariensis*), sin embargo no es posible afirmar si el cleptoparasitismo es exitoso en esta especie. No se registraron enfrentamientos con otras especies.

Discusión

Sustratos de forrajeo, hábitat y calidad de agua

En general, el Guardapuentes utiliza ambos sustratos de forrajeo (agua y aire) de una forma similar, aunque su

frecuencia de uso depende de la estación de muestreo. En la primera y segunda estación, la especie utiliza más las perchas aéreas mientras que en la cuarta estación, las perchas acuáticas son las más preferidas. Estos resultados no cumplen con lo esperado ya que, según la literatura (Ormerod y Tyler, 1993; Sorace *et al.*, 2002; Feck y Hall, 2004), lo más probable sería que la especie interactuara más con el ambiente acuático en los lugares en que la calidad del agua fuera mejor. Sin embargo se debe tener en cuenta que, según los resultados de la caracterización del hábitat y de la oferta alimenticia: 1) la profundidad del agua en la estación Puente Calle 70 es menor, 2) en ésta estación se presenta una “playa” de piedras pequeñas dentro del lecho del río, y 3) la oferta de artrópodos terrestres es la más baja. Por lo tanto, es posible que el Guardapuentes responda a dichas condiciones, aprovechando un lugar (playa) y un ambiente ideal (aguas poco profundas) para la captura de insectos acuáticos ahí.

Área del territorio y oferta alimenticia

Estudios anteriores sobre área del territorio y la oferta de alimentos en especies con hábitos similares a los del Guardapuentes, demuestran que éstas variables cambian según las condiciones del ambiente (Vickery, 1991; Ormerod & Tyler, 1993; Feck & Hall, 2004). Así, el tamaño del territorio se relaciona inversamente con la oferta de alimento, ya que a menor abundancia de presas las aves deben forrajear sobre mayores distancias para obtener los recursos necesarios (Feck & Hall, 2004).

Para el caso de esta investigación, el área del territorio defendido por cada pareja no mostró variaciones significativas entre las estaciones de muestreo, no obstante se observó una tendencia a aumentar el área del territorio defendido en la última estación (Puente Calle 70). Sin embargo, Davis (1982) encontró que *Megaceryle alcyon*, una especie de Martín Pescador de los Estados Unidos, presenta territorios que están inversamente relacionados con la abundancia de alimento, durante la época no reproductiva; confirmando así los resultados encontrados en los estudios ya mencionados. Pero durante la temporada reproductiva, el área de los territorios no coincide con la oferta de alimento, debido a que los sitios apropiados para anidar son un factor limitante. Lo anterior se puede relacionar con el Guardapuentes, ya que éste se ve principalmente limitado, dentro de la zona urbana, por la presencia de construcciones humanas sobre el cauce de los ríos (generalmente puentes).

Uso potencial del Guardapuentes como indicador de calidad ambiental

Según los resultados obtenidos, el Guardapuentes no se ve afectado por la contaminación de una forma negati-

va; su distribución no está limitada por la calidad del agua del río en el que habita, sino por la disponibilidad de sitios para anidar, y probablemente por la estructura del río. No todos los puentes parecen ser adecuados para esta especie, ya que a lo largo del río se encontraron algunos que no estaban habitados, a pesar de ser aparentemente similares en estructura a los otros que sí lo estaban, como es el caso del puente del Peñón (Avenida 4 Oeste con 1^{era}), y los de las calles 34, 44 y 52 Norte.

Respecto a la estructura del río, la especie parece necesitar aguas poco profundas y piedras grandes que le sirvan como percha. Esto se basa en el hecho en que el río Cali presenta una porción bastante extensa entre la Clínica de los Remedios (Calle 26) y la Calle 70, en donde cambia completamente su estructura, convirtiéndose en un río profundo (más de un metro), sin límites construidos o muros de contención, y carente de piedras en su lecho. En ésta porción la especie se encuentra ausente, hasta que el río retoma las características que presentaba en sus inicios en la zona urbana. Además, la especie no se distribuye sobre el río Cauca, a pesar de que en él se hallan puentes grandes que podría utilizar para construir sus nidos.

Con base en esta investigación, se puede concluir que el Guardapuentes no debe ser usado como un indicador de calidad ambiental. Esto se debe a que no posee las características de un buen indicador: su distribución no se ve restringida por la calidad del ambiente, sino por la estructura del río y la presencia de sitios apropiados para anidar, por lo tanto su presencia-ausencia y abundancia no son parámetros válidos para emitir juicios acerca de la calidad del agua. Además otras características de la especie como el tamaño de su territorio o los sustratos de forrajeo que utiliza tampoco son medidas válidas que permitan hacer afirmaciones acerca del estado de un ecosistema, ya que el Guardapuentes no es especialista, sino que responde y se adapta a una oferta determinada. Por lo tanto, las amenazas que reducen las abundancias de sus presas (acuáticas o aéreas), no parecen tener impacto sobre la especie. Sin embargo, sería recomendable muestrear un mayor número de estaciones, ya que se contaría con un grupo de datos más extenso, y probablemente se lograría hacer afirmaciones más acertadas sobre al respecto.

Adicionalmente resultaría conveniente ampliar la escala de estudio, extendiendo esta investigación a toda la cuenca del río Cali, e incluso a otros ríos presentes en la zona urbana de Santiago de Cali (Meléndez, Cañaveralejo, Lili, Aguacatal y Pance), incluyendo un análisis del éxito reproductivo de la especie a lo largo de un marcado gradiente de contaminación, con el fin de indagar otros

aspectos de la ecología de la especie que se vean afectados por la contaminación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Valle y a la Asociación Calidris por el apoyo logístico en la realización de este trabajo. A la Fundación Zoológica de Cali por permitir el uso de sus instalaciones, y a la Policía Metropolitana de Cali por la colaboración en las jornadas de campo. A la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) por proveer los datos de precipitación. A los evaluadores por sus valiosos y enriquecedores comentarios. A Carmen Elisa Posso y al personal de la sección de Entomología de la Universidad del Valle, por la ayuda en el trabajo de laboratorio.

Bibliografía

- Del Hoyo, J., A. Elliott & DA. Christie** (eds.). 2004. Handbook of the birds of the World. Vol. 9. Cotingas to Pipits and Wagtails. Lynx Editions. Barcelona.
- Davis, WJ.** 1982. Territory size in *Megaceryle alcyon* along a stream habitat. *Auk* 99: 353-362.
- Feck, J. & RO. Hall Jr.** 2004. Response of American dippers (*Cinclus mexicanus*) to variation in stream water quality. *FreshWater Biology* 49: 1123-1137.
- Hernández, A.** 2008. Uso Potencial de *Sayornis nigricans* (Aves: Tyrannidae) como Indicador de Calidad Ambiental en una Zona Urbana de Santiago de Cali. Tesis de pregrado, Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Cali- Colombia.
- Hilty, S. L. & WL. Brown.** 1986. A guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press. Princeton, USA.
- Hilty, J. & A. Merenlender.** 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation* 92: 185-197.
- Holdridge, LR.** 1967. Life Zone Ecology. 1st edition. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- Landres, PB., J. Verner & JW. Thomas.** 1988. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Biological Conservation* 2: 316-328.
- Mattsson, BJ. & RJ. Cooper.** 2006. Louisiana Waterthrushes (*Seiurus motacilla*) and habitat assessments as cost-effective indicators of instream biotic integrity. *Freshwater Biology* 51: 1941-1958.
- Naranjo, LG. & VJ. Ávila.** 2003. Distribución habitacional y dieta del Pato de Torrentes (*Merganetta armata*) en el Parque Regional Natural Ucumari en la Cordillera Central de Colombia. *Ornitología Colombiana* 1: 22-28.
- Ormerod, SJ., MA. Boilstone & SJ. Tyler.** 1985 a. Factors influencing the abundance of breeding dippers *Cinclus cinclus* in the catchment of the river Wye, mid-Wales. *Ibis* 127: 332-340.
- _____, **SJ. Tyler & JM. Lewis.** 1985 b. Is the breeding distribution of dippers influenced by stream acidity? *Bird Study* 32: 32-39.
- _____, **JO'Halloran., SD. Gribbin & SJ. Tyler.** 1991. The ecology of dippers *Cinclus cinclus* in relation to stream acidity in Upland Wales: breeding performance, calcium physiology and nestling growth. *The Journal of Applied Ecology* 28: 419-433.
- _____, **& SJ. Tyler.** 1993. Birds as indicators of changes in water quality. Págs. 179-216 en: R. W. Furness y J. J. D. Greenwood (eds.) *Birds as monitors of environmental change*. Chapman & Hall. London, England.
- Rivera-Gutiérrez, HF.** 2006. Composición y estructura de una comunidad de aves en un área suburbana en el suroccidente colombiano. *Ornitología Colombiana* 4: 28-38.
- Shaw, G.** 1978. The breeding biology of the dipper. *Bird Study* 25: 149-160.
- Sorace, A., P. Formichetti., A. Boano., P. Andreani., C. Gramegna & L. Mancini.** 2002. The presence of a river bird, the dipper, in relation to water quality and biotic indices in Central Italy. *Environmental Pollution* 118: 89-96.
- Triplehorn, CA. & NF. Johnson.** 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. 7th edition. Thomson Brooks/Cole. Belmont, California.
- Tyler, SJ. & SJ. Ormerod.** 1985. Aspects of the breeding biology of the dippers *Cinclus cinclus* in the southern catchment of the river Wye, Wales. *Bird Study* 33: 164-169.
- Varela, A.** 1994. Evaluación de la cuenca del río Cali con énfasis en los conflictos por el uso del suelo en aspectos de carácter legal y agroforestal. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira-Valle.
- Vickery, J.** 1991. Breeding density of dippers (*Cinclus cinclus*), Grey wagtails (*Motacilla cinera*) and Common Sandpipers (*Actitis hypoleucos*) in relation to the acidity of streams in south-west Scotland. *Ibis* 133: 178-185.
- Wayland, M., J. Kneteman & R. Crosley.** 2006. The American dipper as a bioindicator of selenium contamination in a Coal Mine-affected stream in west-central Alberta, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 123: 285-298.
- Wolff, M.** 2006. Insectos de Colombia, Guía Básica de Familias. Laboratorio de Colecciones Entomológicas-GIEM. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Zar, JH.** 1996. Biostatistical Analysis. 3rd Edition. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
- Zúñiga de Cardozo, MC.** 1985. Estudio de la ecología del río Cali, con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Revista Asociación de Ingenieros Sanitarios de Antioquia -AINSA* 8: 91-105.
- Zúñiga de Cardozo, MC., AM. Rojas de Hernández & C. Serrato.** 1994. Interrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 20: 124-130.

Recibido: octubre 5 de 2009.

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010.

LA AVIFAUNA DE LA PARTE MEDIA DEL RÍO APAPORIS, DEPARTAMENTOS DE VAUPÉS Y AMAZONAS, COLOMBIA

Por

F. Gary Stiles¹

Resumen

Stiles, F. G. : La avifauna de la parte media del río Apaporis, departamentos de Vaupés y Amazonas, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **34** (132): 381-390, 2010. ISSN 0370-3908.

Durante tres semanas de marzo-abril del 2009, hice una evaluación rápida de la avifauna de la parte oriental de la Reserva Indígena Yaigojé-Apaporis alrededor de varias comunidades a lo largo del río Apaporis, una zona sin estudios ornitológicos previos. Registré un total de 225 especies de aves de 58 familias, incluyendo la recolección de 65 especímenes de 52 especies. Obtuve los primeros registros de 21 especies para la región del medio Apaporis, 7 de los cuales representan extensiones de sus distribuciones conocidas; para 12 especies se rellenó brechas grandes en sus distribuciones previamente conocidas y encontré la primera indicación de reproducción de una especie previamente conocida sólo como migratorio austral en el país. Al parecer, la época reproductiva de muchas especies estaba apenas comenzando o por comenzar, mientras la de la muda anual del plumaje estaba terminando o recién finalizado. La mayoría de las especies registradas es ampliamente distribuida en la Amazonia, pero hay varias subespecies de afinidades guyanesas. La avifauna de esta región debe incluir por lo menos 400 especies, lo cual justifica plenamente su protección y estudio.

Palabras clave: Amazonia, aves, Colombia, inventario, distribución, río Apaporis.

Abstract

During three weeks in March-April 2009, I made a rapid evaluation of the avifauna of the eastern sector of the Yaigojé-Apaporis Indigenous Reserve, around various communities along the río Apaporis, an area lacking in previous ornithological studies. I recorded a total of 225 species of birds in 58 families and collected 65 specimens representing 52 species. These included 21 first records for the middle Apaporis region, seven of which also represented significant range extensions; records for 12 species helped fill large gaps in their known distributions and for one species I obtained the first evidence for breeding in Colombia, where previously known only as an austral

¹ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia. Correo electrónico: fgstiles@unal.edu.co

migrant. For the avifauna in general, the period of the annual molt was ending and the breeding season was just beginning during the expedition. Most of the species recorded are widely distributed in the Amazon basin, but many subspecies show Guianan affinities. This avifauna surely includes at least 400 species, which amply justifies its protection and further study.

Key words: Amazonia, Apaporis river, avifauna, Colombia, distribution, inventory.

Aunque existen inventarios más o menos detallados de la avifauna para algunos sitios en la Amazonia colombiana, aún existen brechas grandes en las distribuciones conocidas de muchas especies y para varias regiones, la información es prácticamente inexistente. Una de éstas es la de la parte media del río Apaporis; varias de los signos de interrogación en los mapas de distribución de la guía de aves colombianas de **Hilty & Brown** (1986) caen precisamente en este sector. Existen inventarios relativamente completas, basados en trabajos de largo plazo, para la estación Caparú cerca de la boca de este río, más de 100 km al sureste (**Defler**, 1994) y para el Parque Nacional Natural de Chiribiquete, unos 200 km río arriba (**Stiles et al.** 1995, **Álvarez, et al.** 2003), y para Araracuara sobre el río Caquetá, unos 150 km hacia el suroccidente (**Cuadros**, 1993, más una serie de 325 ejemplares coleccionada en agosto-septiembre 1977 por H. Romero en la colección del ICN) - pero la avifauna de la extensa región entre estos sitios ha permanecido desconocida. Ante la amenaza de una posible concesión minera de consecuencias ambientales y culturales severas, las comunidades indígenas de esta región solicitaron al Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial la declaración de un nuevo Parque Nacional Natural para la protección de la región. Un requisito para tal declaración era un aval de la Academia de Ciencias Exactas, físicas y Naturales de Colombia, para lo cual era precisa una evaluación de la flora y fauna de la región. Para la producir esta evaluación, la Unidad Administrativo Especial de Parques Nacionales Naturales solicitó la colaboración de científicos del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional y del Instituto Sinchi de Estudios Amazónicos para la realización de un inventario rápido de la flora y fauna de la parte media del río Apaporis entre el 14 de marzo y el 4 de abril del 2009; a mí correspondió el inventario de la avifauna.

Materiales y métodos

Área de estudio: los sitios de trabajo de la expedición estaban ubicados a lo largo del río Apaporis, excepto Jotabeyá sobre la quebrada del mismo nombre, un afluente del río. Para fines de registrar las aves, define los siguientes hábitats (véase Anexo 1 para sus asociaciones con las aves): AE: aéreo-sobrevolando varios hábitats terrestres; BAA: bosque acha-

parrado sobre arena blanca; BB: bordes de bosque; BG: bosque de galería; BS: bosque secundario; BTF: bosque alto de tierra firme; COM: alrededor de las comunidades, cerca de habitaciones humanas; RCH: rastrojos y chagras; RIB: aves ribereñas, incluyendo las orillas y aguas abiertas; y SA: sabana sobre arena blanca. La topografía, el clima, las formaciones vegetales y la flora de esta región han sido discutidos en detalle por **Cárdenas-López et al.** (2010).

Itinerario: (véase Figura 1).

14 marzo: vuelo de SATENA Bogotá-Villavicencio-Mitú

15 marzo: vuelo en avioneta de Mitú a Piedra Ñi, donde abordamos dos lanchas para el viaje, bajando el río Pirá-Paraná hasta Bocas del Pirá en el río Apaporis (10 horas incluyendo el paso del Raudal Casave, llegando de noche).

16 marzo: viaje sobre el río Apaporis de 5 horas a la comunidad de La Playa, donde pasamos la noche.

17 marzo: viaje sobre el río Apaporis hasta la comunidad de Jirijirimo, incluyendo el paso del Raudal de La Playa con una caminata de 1½ hr con nuestros equipos; llegando abajo de los raudales de Jirijirimo, nos tocaba otra caminata de 1½ hr con nuestros morrales hasta la comunidad de Jirijirimo, llegando al anochecer.

18-22 marzo: trabajo de campo en Jirijirimo (0°03'S, 70°57'W).

23 marzo: regreso por el río Apaporis a La Playa, y llegando por la tarde.

24 marzo: trabajo de campo en La Playa (0°22'S, 70°49'W).

25 marzo: viaje por el Río Apaporis a Bocas del Pirá, llegando en 4½ horas. Reempacamos el equipaje para Jotabeyá.

26 marzo: salida a las 1030 para Jotabeyá, llegando a las 1215; comienza el trabajo de campo.

27-30 marzo: trabajo de campo en Jotabeyá. (0°37'S, 70°11'W).

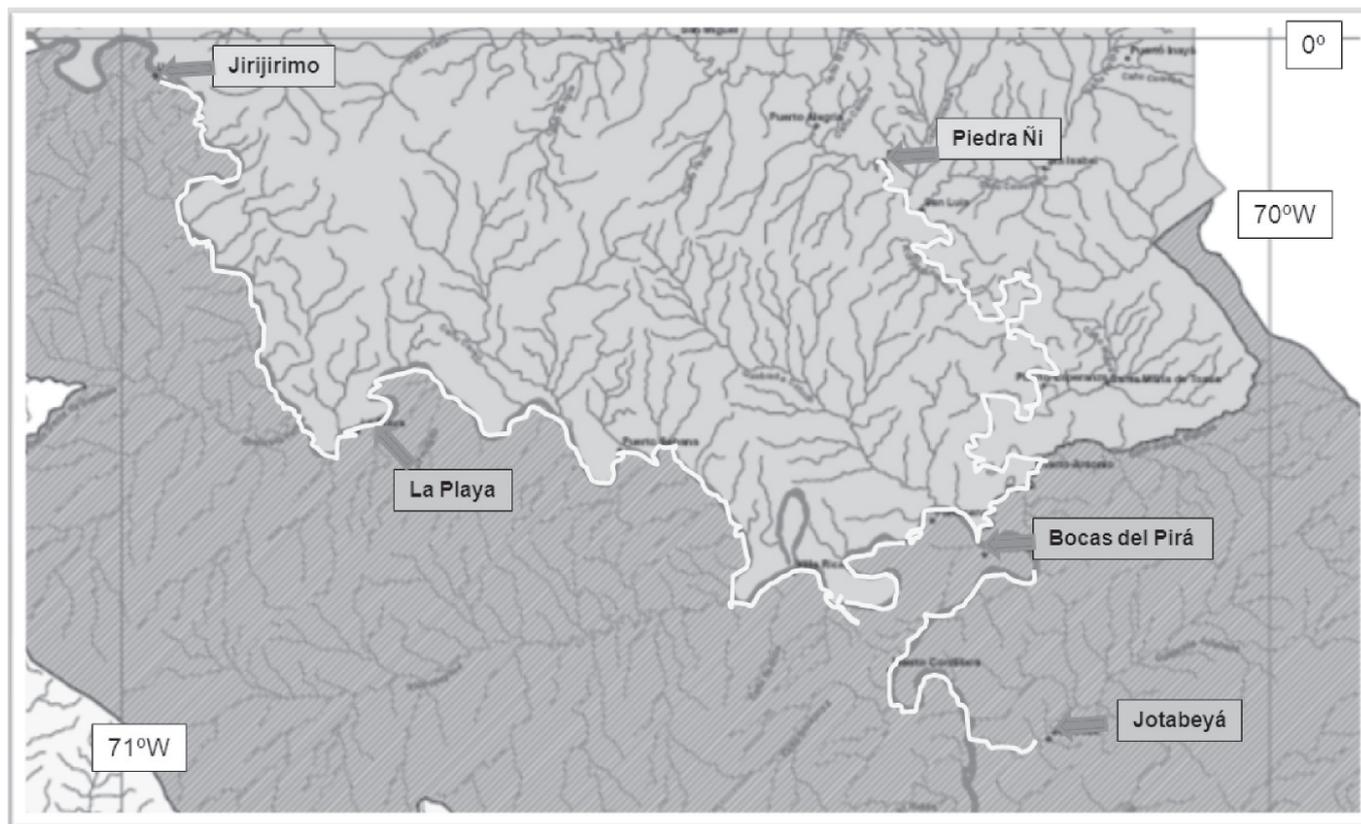


Figura 1. Recorrido de la expedición ICN-Sinchi al Resguardo Indígena Yaigojé-Apaporis, 15 marzo-3 abril del 2009, indicando los sitios de trabajo con las aves (ver texto para las fechas y coordenadas de los sitios. Las tierras del resguardo están indicadas en color verde.

31 marzo: empacamos y salimos de Jotabeyá, llegando a Bocas del Pirá a las 09:30; en la tarde con los botánicos visité un parche de “sabana” (bosque achaparrado sobre arena blanca en la cima de un filo).

1 abril: trabajo de campo en Bocas del Pirá. (0°26’S, 70°14’W), empacamos en la noche.

2 abril: salida 0730 para Piedra Ñi por el Río Pirá, pasando el raudal Casave y llegando al anochecer; pernoctamos en una casa comunitaria vacía.

3 abril: vuelo por avioneta a Mitú, llegando después de mediodía; reunión con capitanes indígenas del río Pirá en la noche.

4 abril: vuelo de mediodía de SATENA para Bogotá. El equipaje, incluyendo las colecciones, llegó el 6 de abril a Bogotá.

Trabajo de campo: Como se nota, prácticamente la mitad del tiempo era dedicada al transporte entre los sitios de trabajo en lanchas pequeñas por los ríos Pirá y Apaporis,

lo cual restringió el trabajo ornitológico efectivamente a cinco días en la comunidad de Jirijirimo, cuatro días en Jotabeyá y un día cada uno en La Playa y Bocas del Pirá. Traté de muestrear en la gama de hábitats presentes en cada sitio, distribuyendo mi esfuerzo de la manera más representativa posible dado el tiempo corto disponible. De todas formas, es bien conocido que un muestreo representativo en bosques de dosel alto (como eran la mayoría de los bosques de la zona) requiere semanas, si no meses de trabajo de campo, de tal forma que en efecto se hizo una evaluación rápida más que un inventario relativamente completo. Los métodos empleados fueron caminatas de observación (hasta una distancia de 3-5 km de las comunidades) para obtener el número más alto de registros mediante avistamientos y registros auditivos (cf. **Stiles & Rosselli, 1998**); y captura de aves del sotobosque con redes de niebla. Cuando era posible, coleccioné aves del dosel en particular con escopeta; también coleccioné las especies más representativas e interesantes capturados en las redes pero la mayoría de las aves capturadas fue examinada para indicios de muda o reproducción, medida

y soltada. Dediqué las horas más lluviosas de las tardes y noches a la preparación de los especímenes obtenidos. Durante las horas en lancha, llevé un registro lo más completo posible de las aves observadas en los ríos y sus orillas y bosques aledaños o sobrevolando estas áreas.

Para un análisis biogeográfico preliminar de la avifauna, determiné las subespecies de los ejemplares coleccionados con referencia a la colección del Instituto de Ciencias Naturales y las siguientes referencias bibliográficas: **Meyer de Schauensee** 1948-1952, 1964; **Restall et al.**, 2006; **Hilty** 2007; y los volúmenes pertinentes **del Hoyo et al.**, 1994-2005 y **Cory & Hellmayr**, 1918-1937. Le asigné a cada subespecie una categoría de afinidad biogeográfica: AA = ampliamente distribuida en la Amazonia colombiana; AO = principalmente limitada al occidente de la Amazonia colombiana, la zona del piedemonte; AC = Amazonas central, alejada al piedemonte pero extendiendo hacia el sur; AE = el este de la Amazonia colombiana con distribución extendiendo hacia Venezuela y la Orinoquia pero no llegando hasta el río Amazonas al sur, ni a las Guayanas; y GU = como el anterior pero sí extendiendo hasta las Guayanas. Las subespecies de las categorías AE y GU pueden ser consideradas de afinidades guyanesas con distribuciones limitadas al sector occidental o la mayoría de las tierras derivadas del antiguo Escudo Guyanés.

También hice comparaciones detalladas de las listas de especies encontradas en las diferentes localidades de esta expedición para evaluar el grado de similitud entre sitios con el índice de Sorensen, que asume valores entre 0 (ninguna especie en común entre sitios) y 1 (todas las especies compartidas entre sitios). Usé este mismo índice para comparar la lista total de la expedición con los inventarios de **Defler** (1994) para Caparú y **Alvarez et al.** (2003) para Chiribiquete para obtener una medida del grado de homogeneidad de la avifauna de toda la región del Apaporis, y para evaluar qué tan completa era la lista que acumulé en esta expedición.

Resultados

Durante esta expedición logré registrar un total de 226 especies de 48 familias observadas, capturadas y/o escuchadas (Anexo 1). Con un esfuerzo de muestreo de 437 horas-red (1 hora-red = una red de 12m abierto durante una hora) capturé un total de 271 individuos de 70 especies en las redes, de las cuales coleccioné 57 ejemplares; coleccioné 7 ejemplares más con escopeta y uno me fue presentado por otro miembro de la expedición. En total obtuve 65 ejemplares representando 52 especies (Anexo 1). Algunos ejemplares representaban extensiones de distribuciones

para las especies respectivas y para muchas especies, se llenó un vacío de información corológica importante. Para unas cinco o seis especies, existían menos de cinco registros previos para el país (Tabla 1).

Las afinidades biogeográficas de las aves coleccionadas eran diversas (Tabla 2). Más de la mitad (28 subespecies) resultaron ser ampliamente distribuida en la Amazonia colombiana y las regiones aledañas, pero un componente importante (21 especies, 14 AE y 7 GU) tenían afinidades guyanesas, mostrando la importancia de esta avifauna en el país. Esta influencia guyanesa se extiende hasta Chiribiquete al occidente al sur hasta Araracuara, según las determinaciones de las subespecies coleccionadas por Romero en este último sitio. El río Caquetá podría representar el límite sur para la mayoría de subespecies de esta avifauna en Colombia, ya que muchas de las especies en cuestión tienen subespecies diferentes en el trapecio amazónico de Leticia. Para una especie (*Thryothorus coraya*) no pude determinar la subespecie con seguridad porque los ejemplares colombianos (en particular una serie de Araracuara de Romero) parecen combinar en diferentes ejemplares las características de *caurensis*, supuestamente limitada al Vaupés, y *griseipectus* hacia el sur y oeste, por lo tanto incluí el ejemplar de la expedición en la segunda. No hubo subespecies con afinidades sureñas y sólo una con afinidades del piedemonte (*Myiophobus f. flavicans*), la cual aparente representa una extensión reciente de su distribución. Una subespecie (*Chrysuronia oenone josephinae*, AC) es distinta a la del piedemonte (*C. o. oenone*) desde Colombia hasta en Perú central con una brecha de 50-100+ km entre las distribuciones de las dos a lo largo de este ámbito y podría representar una especie distinta, dada las diferencias muy marcadas en el plumaje de las dos formas.

Como era de esperar, registré los mayores números de especies en Jirijirimo y Jotabeyá, los sitios en que tuvimos más días de muestreo (141 y 136 especies, respectivamente); anoté 109 especies para Bocas del Pirá (en parte porque tuvimos partes de tres días allá además del día completo) y 84 especies en La Playa (en donde tuvimos una mañana lluviosa). Sin haber tenido oportunidad de muestrear más que parte de la comunidad y los bordes del aeropuerto, apenas registré 40 especies en Piedra Ñi (Anexo 1). En general, los números de especies en común entre sitios y los índices de similitud calculados entre sitios eran proporcionales a los números totales de especies de los sitios; los dos sitios con avifaunas más similares (índice de Sorensen 0.736) eran precisamente Jirijirimo y Jotabeyá (Tabla 3), lo cual indica que la avifauna era bastante homogénea entre todos los sitios muestreados. En las observaciones a lo largo de los

Tabla 1. Registros de interés de aves de la expedición Instituto de Ciencias Naturales-Instituto Sinchi y la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales a la Reserva Indígena Yaigojé-Apaporis, 14 marzo-4 abril 2009.

Especie	Tipo de registro
<i>Ictinia plumbea</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Ictinia mississippiensis</i>	Migratorio boreal en migración ³ ; 1° registro regional ¹
<i>Ortalis guttata</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Patagioenas speciosa</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Orthopsittaca manilata</i>	1° registro regional ¹ ; extensión leve hacia el NE ⁴
<i>Amazona amazonica</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Amazona festiva</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Derophtus accipitrinus</i>	1° registro regional ¹ ; pocos registros para el país
<i>Megascops choliba</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Chordeiles minor</i>	Migratorio boreal en migración ³ ; 1° registro regional ¹
<i>Chaetura egregia</i>	1° registro regional ¹ ; distribución en el país poco conocida
<i>Campylopterus largipennis</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Discosura langsdorffi</i>	5° registro para el país, 2ª localidad con colección científica
<i>Myrmotherula cherriei</i>	Extensión de distribución conocida hacia el S ⁴
<i>Cotinga maynana</i>	1° registro regional ¹ ; extensión leve hacia el N ⁴
<i>Xenopipo atronitens</i>	Rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Elaenia flavogaster</i>	1° registro regional ¹ ; rellena gran brecha en la distribución conocida ²
<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	1° registro regional ¹ ; extensión hacia el S y E ⁴
<i>Myiophobus fasciatus</i>	1° registro regional ¹ y para la región amazónica
<i>Lathrotriccus euleri</i>	Extensión hacia el E ⁴ y 1° registro de reproducción en el país
<i>Poecilotriccus latirostre</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Cyanocorax heilprini</i>	Extensión de distribución conocida hacia el S ⁴
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Migratorio boreal en migración ³ ; 1° registro regional ¹
<i>Dendroica petechia</i>	Migratorio boreal en migración ³ ; 1° registro regional ¹
<i>Sporophila castaneiventris</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Volatinia jacarina</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²
<i>Ammodramus aurifrons</i>	1° registro regional ¹ ; rellena brecha en la distribución conocida ²

1= No registrada por Alvarez et al. (2003) en Chiribiquete, ni por DeFler (1994) en Caparú; primer registro para el parque propuesto

2 = Previamente registrada en la región amazónica y de esperar en la región del parque según Hilty & Brown (1986), pero sin registros previos

3 = Ausencia de registros previos en la región posiblemente debido a falta de observaciones durante la época migratoria de la especie

4 = Extensiones de distribución con referencia de la información y mapas en Hilty & Brown (1986).

Tabla 2. Subespecies de los especímenes de aves coleccionados en el medio Apaporis, con sus afinidades geográficas; para definiciones, véase el texto

Especie y subespecie	Afinidades
<i>Pyrrhura melanura melanura</i>	AA
<i>Caprimulgus nigrescens</i>	AA
<i>Phaethornis malaris insolitus</i>	AE
<i>Phaethornis ruber nigricinctus</i>	AA
<i>Threnetes leucurus cervinicauda</i>	AA
<i>Heliothryx aurita aurita</i>	AA
<i>Discosura langsdorffi</i>	AA
<i>Hylocharis cyanus viridiventris</i>	AE
<i>Thalurania furcata nigrofasciata</i>	AE
<i>Chrysuronia oenone josephinae</i>	AC
<i>Galbula dea bruniceps</i>	AA
<i>Galbula albirostris albirostris</i>	GU
<i>Melanerpes cruentatus</i>	AA
<i>Automolus infuscatus badius</i>	AE
<i>Hyloctistes subulatus subulatus</i>	AA
<i>Sittasomus griseicapillus amazonus</i>	AA
<i>Glyphorhynchus spirurus rufigularis</i>	AE
<i>Thamnophilus murinus murinus</i>	AA
<i>Thamnomanes caesius glaucus</i>	AA
<i>Myrmotherula cherriei</i>	AE
<i>Myrmotherula menetriesii pallida</i>	AA
<i>Myrmotherula longipennis longipennis</i>	AA
<i>Formicivora grisea rufiventris</i>	AE
<i>Hypocnemoides melanopogon occidentalis</i>	AA
<i>Hypocnemis cantator flavescens</i>	AE
<i>Hypocnemis hypoxanthus hypoxanthus</i>	AA
<i>Dichrozona cincta cincta</i>	AA
<i>Cercomacra cinerascens cinerascens</i>	AA
<i>Pernostola rufifrons minor</i>	AE
<i>Myrmoborus myotherinus ssp.</i>	AE
<i>Rhegmatorhina cristata</i>	AE
<i>Phlegopsis erythroptera</i>	AA
<i>Willisornis poecilonota duidae</i>	GU
<i>Hylophylax naevius consobrinus</i>	AE
<i>Formicarius colma nigrifrons</i>	AA
<i>Schiffornis turdina amazona</i>	AA
<i>Xenopipo atronitens</i>	GU
<i>Heterocercus flavivertex</i>	AE
<i>Platyrinchus platyrhynchus platyrhynchus</i>	GU
<i>Poecilotriccus latirostre mituensis</i>	GU
<i>Lophotriccus galeatus</i>	GU
<i>Onychorhynchus coronatus castelnaui</i>	AA
<i>Neopipo cinnamomea cinnamomea</i>	AA
<i>Lathrotriccus euleri bolivianus</i>	AA?
<i>Myiophobus fasciatus fasciatus</i>	AO?
<i>Neochelidon tibialis griseiventris</i>	AA
<i>Thryothorus coraya griseipectus(?)</i>	AA
<i>Microbatas collaris collaris</i>	AA
<i>Tachyphonus cristatus orinocensis</i>	AE
<i>Tachyphonus surinamus brevipes</i>	AA
<i>Cyanocompsa cyanoides rothschildi</i>	AA
<i>Arremon taciturnus taciturnus</i>	GU

ríos, obtuve registros de 45 especies y era notorio los bajos números de aves acuáticas en general, posiblemente debido a que las orillas boscosas ofrecieron poca diversidad de sitios de forrajeo. Interesantemente, fue muy evidente que las pocas aves piscívoras observadas (garzas, martines pescadores, pato aguja y águila pescadora, gaviotines) se concentraron en las cercanías de los raudales y chorros. Observé más aves en los bosques aledaños a los ríos por el río Pirá que por el río Apaporis, probablemente porque aquel río era menos ancha y las orillas, más cercanas a la lancha (y porque era más fácil para aves del bosque cruzar de un lado para otro). Debido a que en los sitios terrestres se observaron pocas aves acuáticas, los valores de similitud de las avifaunas de los sitios y de los ríos eran más bajas (ca. 0.25-0.30, véase Tabla 3) que entre los sitios terrestres.

Dentro de los bosques, observé que la mayor diversidad de aves se concentraba en las bandadas mixtas en las cuales hasta 20 o más especies volaban juntos por los niveles medios y altos, cada uno forrajeando de su propia manera. En tales ocasiones lamenté más la falta de una escopeta confiable, pero logré registrar varias especies en las bandadas que no noté afuera de ellas. De todas formas, el número de tales bandadas observadas era relativamente bajo: aproximadamente una bandada por dos o tres horas de caminatas. En total, la avifauna del bosque era bastante más rica en especies que la avifauna de los rastrojos, chagras y comunidades. Era interesante la ausencia de muchas especies de zonas abiertas o alteradas en otras áreas del país, incluso en Amazonas (v. gr., Leticia y alrededores). No registré especies como el chulo (*Coragyps atratus*), la garza de ganado (*Bubulcus ibis*), tiránidos como el bichofué (*Pitangus sulphuratus*), colibríes como *Amazilia fimbriata* y *Glaucis hirsuta*, la mirla *Turdus ignobilis*, entre otras; la diversidad de pequeños semilleros fue relativamente baja con apenas una especie del género *Sporophila* más *Volatinia jacarina* y *Oryzoborus angolensis*. Esto seguramente se debe a que los claros eran pequeños y aislados, con ausencia de potreros u otras zonas abiertas extensas. El gorrión *Ammodramus aurifrons* sólo fue registrado en las comunidades más grandes con zonas abiertas más extensas, Piedra Ñi y Bocas del Pirá.

Un área especial fue la sabana sobre arena blanca de Jirijirimo: debido a su tamaño reducido (ca. 6 ha) y aislamiento, yo estaba muy interesado en saber si algunas aves de tales sabanas más extensas de otras partes de la región (v. gr., Chiribiquete, Araracuara) la habían logrado colonizar. Encontré dos especies características de estos ambientes: el saltarín *Xenopipo atronitens* y el hormiguerito *Myrmotherula cherriei* en esta sabana, pero varias otras

Tabla 3. Índices de similitud de Sorensen¹ entre localidades de muestreo durante la expedición a la Reserva INDÍGENA Yaigojé-Apaporis, 14 marzo-4 abril del 2009. Arriba del diagonal: los índices de Sorensen entre pares de localidades; el ámbito de este índice va de 0 (ninguna especie en común) y 1.0 (todas las especies en común entre las dos localidades). Abajo del diagonal: números de especies en común entre pares de localidades. Última línea: números de especies registradas en cada localidad.

Localidades ²	RPA	BPI	LPL	JIR	JOT
RPA	----	0.284	0.262	0.246	0.297
BPI	22	----	0.632	0.640	0.686
LPL	17	61	----	0.542	0.582
JIR	23	84	61	----	0.736
JOT	27	80	64	102	----
Nº especies	46	109	84	141	136

1. Este índice se calcula como $S = 2C/(A+B)$ en donde A y B son los números de especies de localidades A y B, respectivamente, y C= el número de especies registradas en ambas localidades.

2. Localidades: RPA=ríos Pirá y Apaporis; BPI=Bocas del Pirá; LPL=La Playa; JIR=Jirijirimo; JOT=Jotabeyá.

estaban ausentes (v. gr., *Chordeiles rupestris*, *Tachyphonus phoeniceus*, *Elaenia ruficeps*). Otro registro interesante de esta sabana fue un macho del tiránido *Lathrotriccus euléri* en condiciones reproductivos; antes se conocía esta especie en Colombia sólo en condición de migratorio austral no reproductivo. Alrededor de esta sabana encontré la urraca *Cyanocorax heilprini*, la cual representaba una extensión hacia el sur de su distribución conocida, pero debido a una falta de la escopeta prestada, no pude coleccionar una especie de *Hemitriccus* que pudo haber representado otra extensión importante. Desafortunadamente, debido a que decidimos reducir en un día el período de muestreo en Jotabeyá, no tuve oportunidad de muestrear en detalle la caatinga a una hora y media de la comunidad en esta localidad.

Según los habitantes de la zona, la época en que realizamos los muestreos correspondía con el final del verano y el comienzo de la época lluviosa. Encontré que entre las aves capturadas y coleccionadas, muchas especies estaban terminando la muda o en plumaje fresco, con una proporción apreciable de especies con los órganos reproductivos en desarrollo y un número menor de especies con estos órganos muy desarrollados indicando que sus respectivas temporadas de anidación ya habían comenzado (Anexo 4). En general, muy pocas de las especies mostrando indicios de reproducción estaban mudando plumas, y casi todas éstas estaban apenas comenzando la reproducción (con gónadas parcialmente desarrolladas). Sin embargo, encontramos nidos de apenas una especie (dos de la paloma *Geotrygon montana*, ambos con pichones recién eclosionados). Esto permite concluir que para la avifauna en general, la época de la muda anual estaba llegando a su fin y la época de reproducción estaba comenzando. Encontramos individuos juveniles ya crecidas de varias especies, seguramente producidos en la época reproductiva ante-

rior, con la excepción de un volantón del carpintero *Melanerpes cruentatus* (no capturamos adultos, por lo tanto no fue posible evaluar la muda en esta especie). El número de especies cantando, especialmente al amanecer, fue notoriamente bajo y después de la media mañana, el bosque estaba notablemente silencioso. Sin embargo, noté actividad moderada de canto en los leks (asambleas de cortejo) de tres especies: *Lipaugus vociferans*, *Pipra erythrocephala* y *Neopelma chrysocephala*, lo cual sugiere que para éstas, la reproducción estaba comenzando.

Discusión

En términos generales, se puede concluir que la avifauna de la región es muy diversa y la comunidad de especies del interior del bosque es bastante bien conservada. En particular, capturamos una buena variedad de los hormigueros seguidores de las 'marabundas' de hormigas guerreras (*Pithys albifrons*, *Rhegmatorhina cristata*, *Phlegopsis erythroptera*, *Gymnopithys leucaspis*), que son entre las especies que desaparecen más rápidamente con la fragmentación del bosque (Bierregard & Lovejoy 1989). Esto nos indica que en términos generales, los bosques estaban relativamente intactos. Sin embargo, hubo ciertas excepciones: dentro de una hora o más de las comunidades, noté una escasez o ausencia de aves grandes y comestibles como paujiles, pavas, tentes, tinamúes grandes etc., indicando que la presión de cacería de subsistencia está teniendo un impacto sobre sus poblaciones; la misma escasez se notó en los micos. La comunidad de aves frugívoras fue submuestreada debido a que en el tiempo disponible no encontré árboles con frutos que atraían una diversidad de especies, y en general los números de especies como loros (frugívoros del dosel) y saltarines (frugívoros del sotobosque) eran más bajos que los esperados. Esto puede representar un fenómeno estacional, pero para

Tabla 4. Indicios de muda y reproducción en las aves capturadas y/o coleccionadas Durante la expedición a Jirijirimo, 14 marzo-4 abril del 2009

X=la condición de todos o casi todos los individuos examinados
x=la condición de una minoría de individuos examinados

Especie	Muda		Reproducción		
	Plumaje fresco sin muda	Con muda en alas, cuerpo	Sin indicios; gónadas sin desarrollar	Posiblemente comenzando: gónadas. Parcialmente desarrolladas	Gónadas muy desarrolladas o parches de cría, nidos etc.
<i>Geotrygon montana</i>		X			X
<i>Pyrrhura melanura</i>	X			X	
<i>Caprimulgus nigrescens</i>		X	X		
<i>Threnetes leucurus</i>		X	X		
<i>Phaethornis malaris</i>	X		x	X	
<i>P. bourcierii</i>	X		X		
<i>P. ruber</i>	x	X	X		
<i>Heliothryx aurita</i>		X	X		
<i>Discosura langsdorffi</i>	X			X	
<i>Chrysuronia oenone</i>		X	X		
<i>Thalurania furcata</i>	X		X	x	
<i>Galbula dea</i>		X	X		
<i>G. albirostris</i>	X		X		
<i>Dendrocincla fuliginosa</i>		X	X		
<i>D. merula</i>	X		X		
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	X			X	
<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	X	x	X		
<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>		X	X		
<i>Hyloctistes subulatus</i>		X	X		
<i>Xenops minutus</i>	X	x	X		
<i>Thamnophilus murinus</i>		X	X		
<i>Thamnomanes caesius</i>		X		X	
<i>Myrmotherula cherriei</i>	X			X	
<i>M. longipennis</i>	X		X		
<i>M. menetriesii</i>	X		X		
<i>Hypocnemis cantator</i>	X		X		
<i>H. hypoxanthus</i>	X		X		
<i>Myrmoborus myotherinus</i>	X			X	
<i>Cercomacra cinerascens</i>		X	X		
<i>Dichrozona cincta</i>	X		X		
<i>Hypocnemoides melanopogon</i>		X	X		
<i>Pernostola rufifrons</i>	X			X	
<i>Rhegmatorhina cristata</i>	X	x			X
<i>Phlegopsis erythroptera</i>		X		X	
<i>Willisornis poecilonota</i>	X			X	
<i>Hylophylax naevius</i>	X		X		
<i>Formicarius colma</i>	X				X
<i>Schiffornis turdina</i>	X		X		
<i>Heterocercus flavivertex</i>	X			X	
<i>Xenopipo atronitens</i>		X			X
<i>Lepidothris coronata</i>	X	x			X
<i>Pipra erythrocephala</i>	X				X
<i>Mionectes oleagineus</i>	X	x	X		
<i>Poecilatriccus latirostre</i>	X			X	
<i>Lophotriccus galeatus</i>	X				X
<i>Onychorhynchus coronatus</i>		X	X		
<i>Lathrotriccus eulerei</i>	X				X
<i>Myiophobus fasciatus</i>	X				X
<i>Neopipo cinnamomea</i>	X			X	
<i>Platyrinchus platyrhynchos</i>	X		X		
<i>Neochelidon tibialis</i>	X				X
<i>Thryothorus coraya</i>	X				X
<i>Turdus albicollis</i>		X	X		
<i>Microbates collaris</i>		X	X		
<i>Ramphocelus carbo</i>		X	X		
<i>Tachyphonus surinamus</i>	X				X
<i>T. cristatus</i>		X	X		
<i>Cyanocompsa cyanoides</i>	X				X
<i>Oryzoborus angolensis</i>	X		X		
<i>Arremon taciturnus</i>	X				X

Tabla 5. Una comparación entre los números de especies en los grupos ecológicos de familias de aves registradas en Chiribiquete (Alvarez et al. 2003), las localidades de Jirijirimo (esta expedición; véase Tabla 1) y Caparú (Defler 1994).

Grupo ecológico	Números de especies en:			Familias
	CHI	JIR	CAP	
Aves acuáticas	21	13	27	Phalacrocoracidae, Anhingidae, Ardeidae, Threskiornithidae, Anatidae, Pandionidae, Heliornithidae, Eurypygiae, Rallidae, Jacanidae, Charadriidae, Scolopacidae, Laridae, Alcedinidae
Aves de caza	15	4	13	Tinamidae, Cracidae, Odontophoridae, Psophiidae
Rapaces diurnas	16	11	15	Accipitridae, Falconidae
Aves "aéreas"	13	13	13	Cathartidae, Apodidae, Hirundinidae
Aves nocturnas	8	8	9	Strigidae, Steatornithidae, Nyctibiidae, Caprimulgidae
Aves nectarívoras	17	13	11	Trochilidae, Fam. <i>Incertae sedis (Coereba)</i>
Insectívoras diurnas no Passeriformes	28	13	28	Cuculidae, Galbulidae, Bucconidae, Picidae
Frugívoras – omnívoras no Passeriformes	34	25	26	Columbidae, Psittacidae, Trogonidae, Momotidae, Capitonidae, Ramphastidae
Suboscines insectívoras del interior del bosque	70	40	61	Dendrocolaptidae, Furnariidae, Thamnophilidae, Formicariidae, Grallariidae, Conopophagidae
Suboscines insectívoras del dosel y bordes	50	30	33	Tyrannidae, Tityridae, Familia <i>incertae sedis (Piprites)</i>
Suboscines frugívoras del sotobosque	8	7	7	Pipridae
Passeriformes frugívoras-omnívoras del dosel y bordes	35	25	37	Cotingidae, Corvidae, Turdidae, Thraupidae, Fringillidae (<i>Euphonia</i>)
Passeriformes insectívoras-omnívoras	24	16	16	Mimidae, Troglodytidae, Polioptilidae, Vireonidae, Parulidae, Icteridae
Passeriformes granívoras-frugívoras	8	6	4	Cardinalidae, Emberizidae
Nº especies por sitio	347	226	300	

documentarlo sería necesario repetir los muestreos en otra época del año. Se notó una escasez de flores dentro del bosque en general y la mayoría de las observaciones de colibríes y otras aves nectarívoras se obtuvieron alrededor de las comunidades, en donde hubo floración masiva de los árboles de guamo (*Inga* sp.) y algunas plantas de rastrojo (notablemente una especie de *Costus* en Jirijirimo). El tiempo también era corto para poder muestrear bien las aves del dosel, lo cual siempre es muy dispendioso en bosques de dosel alto como los que estudiamos. Sería muy interesante realizar otro muestreo en junio o julio para obtener una visión más completa de la composición y ciclo anual de la avifauna.

Para estimar el número de especies en el área propuesta como Parque Nacional Natural, comparé mi lista con las de la Estación Biológica Caparú en el extremo sur-oriente del área (Defler, 1994) y la del Parque Nacional Natural Chiribiquete (Stiles et al. 1995, Alvarez et al. 2003) hacia las cabeceras del Apaporis. Estas listas, de 300 y 347 especies respectivamente, son el producto de varios años de trabajo en cada sitio y pueden considerarse como inventarios relativamente completos. Sin embargo, como la lista de Chiribiquete se basa tanto en observaciones extensivas como en una colección bastante considerable, es probable que sea algo más completa que la de Caparú,

basada solamente en observaciones ya que varias especies son difíciles de detectar o identificar visual o auditivamente. Para poner en perspectiva los resultados ornitológico de esta expedición, comparé mi lista de especies con estas listas. Los índices de similitud de Sorensen son: entre Chiribiquete y Jirijirimo (aquí incluyendo todas las cinco localidades estudiadas) = 0.612; entre Jirijirimo y Caparú = 0.621; y entre Chiribiquete y Caparú = 0.689. Dado que son más completas, era de esperar que las listas de Chiribiquete y Caparú fuera más similares; no alcanzan el nivel de similitud que obtuve entre las localidades de Jirijirimo y Jotabeyá porque tanto Chiribiquete como Caparú tienen hábitats no compartidos entre sí. En Chiribiquete, es notable la presencia de hábitats de "tepu" como sabana y matorral casmófito (ver Stiles et al. 1995), mientras Caparú tiene extensas áreas de bosque inundable y una mayor gama de hábitats acuáticas en particular.

Una comparación más detallada entre grupos ecológicamente afines de familias permite precisar más los grupos para los que el muestreo de la expedición fue más o menos adecuado (Tabla 5). Registré una baja riqueza de aves acuáticas, especialmente en comparación con Caparú: me faltaba muestreo en los rebalses y caños y en el Lago Itara entre La Playa y Bocas del Pirá. Para las aves de caza, se requiere poder muestrear a mayores distancias de

Jirijirimo y Jotabeyá en particular; la diferencia notable entre la lista de la expedición y las de Chiribiquete y Caparú se debe a la ausencia de comunidades indígenas permanentes en estos sitios, con la presión de cacería que conllevan tales comunidades. Para las aves de bosque (suboscines insectívoras y no passeriformes en particular) y las rapaces diurnas, simplemente se requiere más tiempo para poder llegar a encontrar una riqueza similar a las de Chiribiquete y Caparú, ya que la acumulación de especies en estos grupos siempre es lenta. Para las aves frugívoras del dosel y bordes de bosque, es también preciso tener más tiempo para encontrar árboles con frutos abundantes para ellas. En cambio, mi inventario resultó bastante comparable con los de los otros sitios para aves “aéreas”, nocturnas y frugívoros del sotobosque (saltarines) (Tabla 5).

Las listas de Chiribiquete y Caparú también me permiten estimar con más detalle la riqueza de la avifauna del Parque Nacional propuesta. Combinando las listas de Chiribiquete, Caparú y nuestra expedición da un total de 450 especies. Como Caparú está dentro de los límites del parque propuesto, a las 300 especies de su lista se le puede agregar las 62 especies más anotadas en esta expedición pero no para Caparú dando un total mínimo de 362 especies ya registradas dentro del parque. Sin embargo, además hay 73 especies registradas en Caparú y Chiribiquete pero no por mí en esta expedición, muchas de las cuales seguramente están presentes en una o más de las localidades que visitamos. Por esto, estimo que un inventario completo de la avifauna del parque debería incluir por lo menos unas 400 especies. Una de éstas, el Aguila Arpia (*Harpia harpyja*) es la única especie del parque propuesto en una categoría de riesgo (Casi Amenazada) según **Renjifo et al.** (2002). Una conclusión provisional sería que dentro de los límites del parque propuesto existe una avifauna muy diversa, la conservación de la cual que seguramente justificaría la declaración del parque. Sin embargo, todavía falta mucho trabajo de campo para llegar a un inventario relativamente completo de esta avifauna.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la gente de la Unidad Administrativo Especial del Servicio de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) y la Fundación GAIA por la oportunidad de realizar este trabajo y por el apoyo financiero y logístico del mismo; en especial, gracias a Edgar Castro por lidiar con todas las dificultades en el campo con un grupo tan atípico. Los miembros de la expedición me proporcionaron apoyo y compañerismo en todo momento. Agradezco a José López (Curupira) por la gran ayuda prestada en el campo y en la preparación de especímenes. De forma muy

especial doy las gracias a la gente de la región por su hospitalidad y apoyo, particularmente a los capitanes Vicente y César de Jirijirimo y Jotabeyá respectivamente. También merece mención por su acompañamiento y apoyo Fernando Makuna, capitán de Providencia, quien nos ayudó como intérprete y embajador en muchas ocasiones. Por su hospitalidad, consejos (y el préstamo de sus botas) agradezco mucho a don Leo de Bocas del Pirá. Julio Betancur me proporcionó un artículo sobre la flora ya en imprenta y me ayudó con el mapa.

Literatura citada

- Alvarez, M., Umaña, AM., Mejía, GD., Cajiao, J., P. von Hildebrand & Gast, F.** 2003. Aves del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, Amazonia – Provincia de la Guyana, Colombia. *Biota Colombiana* 4: 49-63.
- Bierregard, RO., Jr. & Lovejoy, TE.** 1989. Effects of forest fragmentation on Amazonian understory bird communities. *Acta Amazonica* 19: 215-241.
- Cárdenas-López, D., Betancur, J. Salinas, NR, Zuluaga, A. & Clavijo, L.** 2010. De Jirijirimo a Caparú: una expresión de la diversidad vegetal en el río Apaporis. Colombia Amazónica: en imprenta.
- Cory, CB. & Hellmayr, CE.** 1918-1938. Catalogue of birds of the Americas and adjacent islands. Zool. Series, Field Mus. Nat. Hist. vol. 13, ptes. 1-11.
- Cuadros, T.** 1993. Distribución ecológica de la avifauna de Araracuara (Amazonas). *Rev. Del I.C.N.E.* 4(2):15-30.
- Defler, SB.** 1994. Las aves de la Estación Caparú, una lista preliminar de especies. *Trianea* 3: 379-400.
- Del Hoyo, J., Sargatal, J., Elliott, A. & Christie, DE. (eds.).** 1994-2005. Handbook of Birds of the World, vols. 1-11. Lynx Edicions, Barcelona, España.
- Hilty, SL.** 2003. Birds of Venezuela, second edition. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- _____ & **Brown, WL.** 1986. A guide to the Birds of Colombia. Princeton University Press, Princeton, NJ., USA.
- Meyer de Schauensee, R.** 1948-1952. The birds of the republic of Colombia. *Caldasia* 5(22-26): 251-1212.
- _____. 1964. A guide to the birds of Colombia. Livingston Press, Narberth, PA, USA.
- Renjifo, LM., Franco-Maya, AM., Amaya-Esquivel, JD., Kattan, GH. & López-Lanús, B. (eds.).** 2002. Libro Rojo de Aves de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.
- Stiles, FG. & Rosselli, L.** 1998. El inventario de aves del bosque altoandino: una comparación de dos métodos. *Caldasia* 19: 28-42.
- _____, **Tellería, JL. & Díaz, M.** 1995. Observaciones sobre la ecología, composición taxonómica y zoografía de la avifauna de la Sierra de Chiribiquete, Depto. del Caquetá, Colombia. *Caldasia* 17: 481-500.

Recibido: enero 27 de 2010.

Aceptado para su publicación: septiembre 12 de 2010.

Psittacidae	Loros, pericos y guacamayas										
<i>Ara macao</i>	Guacamaya bandera	BTF,BB,AE	1	1	1	1	1	1	VA	Generalmente parejas; volando alto o en árboles altos	
<i>Orthopsittaca manilata</i>	Guacamaya de morichal	AE	1						V	Una pareja sobrevoló el río Pirá	
<i>Brotogeris cyanoptera</i>	Periquito aliazul	BB	1						V	Una bandada sobrevoló el río Pirá cerca de San Luis	
<i>Pyrrhura melanura</i>	Perico colirrojo	SA,BTF					1		VRC	Uno capturado en sabana volando bajo	
<i>Pionus menstruus</i>	Cotorra cabeciazul	BB,RCH,AE	1	1	1	1	1	1	V	Ind. solitarios hasta grupos de 3-4 frecuentes	
<i>Pyrrhura barrabandi</i>	Cotorra cabecinegra	AE				1			V	Una pareja sobrevoló una chagra en La Playa	
<i>Pionites melanocephalus</i>	Cotorra pechiblanco	BTF,AE	1					1	V	Parejas sobrevolando ríos y el Quebradón Jotabeyá	
<i>Amazona farinosa</i>	Loro real	BTF,AE	1		1	1	1	1	VA	Grupos de hasta 15 en el dosel o sobrevolando	
<i>A. amazonica</i>	Loro cariamarillo	AE	1				1		VA	Como el anterior pero menos común	
<i>A. festiva</i>	Loro rabirrojo	AE	1		1				VA	Parejas sobrevolando en dos ocasiones	
<i>Derophtus accipitrinus</i>	Loro gavilán	BB					1		VA	Una pareja volando entre árboles altos	
Cuculidae	Cuculillos, garrapateros										
<i>Piaya cayana</i>	Cuco ardilla	BB			1			1	VA	Su canto distintivo casi nunca se escuchó	
<i>Crotophaga ani</i>	Garrapatero común	RCH		1	1	1	1	1	VA	Común alrededor de todas las comunidades	
Strigidae	Búhos y lechuzas										
<i>Megascops choliba</i>	Lechucita común	BS,BB			1	1	1		VA	Cantando de noche exc. en Jotabeyá	
<i>M. watsonii</i>	Lechucita selvático	BTF					1	1	A	Cantando antes del amanecer en bosque alto	
<i>Pulsatrix perspicillata</i>	Búho de anteojos	BB				1			A	Cantando antes del amanecer, borde de bosque alto	
Nyctibiidae	Bienparados										
<i>Nyctibius griseus</i>	Bienparado común	BB		1			1		A	Cantando de noche, esp. en Jirijirimo	
Caprimulgidae	Gallinaciegas, chotacabras										
<i>Chordeiles minor*</i>	Añapero migratorio	AE	1					1	V	Grupos migratorios volando alto al anochecer	
<i>Nyctiprogne leucopyga</i>	Añapero ribereño	BG,AE	1	1				1	VA	Parejas sobrevolando ríos al anochecer	
<i>Nyctidoromus albicollis</i>	Guardacaminos común	BB,RCH			1	1	1	1	VA	Cantando esporádicamente alrededor de comunidades	
<i>Caprimulgus nigrescens</i>	Chotacabras negruzco	SA					1		VC	Descansando de día en sabana	
Apodidae	Vencejos										
<i>Streptoprocne zonaris</i>	Vencejo Collarejo	AE					1	1	V	Una bandada grande en Jirijirimo	
<i>Chaetura cinereiventris</i>	Vencejo ceniciento	AE	1	1	1	1	1	1	V	Muy común; grupos de hasta 30	
<i>C. egregia (?)</i>	Vencejo amazónico	AE				1	?	?	V	Volando con el anterior; ident. tentativa	
<i>C. brachyura</i>	Vencejo colicorto	AE				1			V	2-3 volando alto	
<i>Tachornis squamata</i>	Vencejo de morichal	AE,BP	1	1	1	1		1	V	Cerca de canaguchales	
Trochilidae	Colibríes										
<i>Threnetes leucurus</i>	Eremitaño coliblanco	BB,RCH			1		1		VRC	Común Jirijirimo, visitando <i>Costus</i>	
<i>Phaethornis malaris</i>	Eremitaño piquicurvo	BTF,BB,BS	1		1	1	1	1	VRC	No abundante pero por todas partes; sotobosque	
<i>P. bourcierii</i>	Eremitaño picudo	BS,BTF,BB			1	1	1	1	VRC	Poco común, sotobosque	
<i>P. ruber</i>	Eremitaño rojizo	BS,BB			1	1	1	1	VRC	Común Jirijirimo, menos en otros sitios	
<i>Florisuga mellivora</i>	Jacobino nuquiblanco	BB,BS	1	1	1	1	1	1	VR	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Anthracothonax nigricollis</i>	Mango pechinegro	RCH	1						V	Visitando flores de <i>Palicourea</i> , borde del aeropuerto	
<i>Heliophryx aurita</i>	Hadita oriental	BB				1		1	VC	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Discosura langsdorffi</i>	Cola de lira tronador	BB					1	1	VR	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Heliodoxa aurescens</i>	Brillante pechirrojo	BB				1			V	Cazando insectos, encima de borde de chagra	
<i>Campylopterus largipennis</i>	Ala de sable gris	BB					1	1	V	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Chrysornis oenone</i>	Zafiro colidorado	BB		1	1	1	1	1	VRC	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Hylocharis cyanus</i>	Zafiro barbiblanco	BB						1	VRC	Visitando flores de <i>Inga</i> , bordes de comunidades	
<i>Thalurania furcata</i>	Ninfa morada	BTF,BB,BS	1	1	1	1	1	1	VRC	Visitando flores de <i>Inga</i> , también en sotobosque	
Trogonidae	Quetzales y trogones										
<i>Pharomachrus pavoninus</i>	Quetzal amazónico	BTF						1	A	Escuchado en bosque alto cerca de quebrada	
<i>Trogon viridis</i>	Trogón coliblanco	BTF,BB	1		1	1	1	1	VA	Común, cantando del dosel	
<i>T. violaceus</i>	Trogón violáceo	BTF						1	VA	Mucho en común que <i>T. viridis</i>	
Momotidae	Barranqueros										
<i>Momotus momota</i>	Barranquero amazónico	BTF,BG		1	1	1	1	1	VA	Cantando al amanecer cerca de quebradas	

Alcedinidae	<i>Megasceryle torquata</i>	Martín pescador mayor	RIB	1		VA	Ind. solitarios, bocas de quebradas
	<i>Chloroceryle amazona</i>	Martín pescador marraquero	RIB	1		V	Ind. o parejas esparcidas
	<i>C. americana</i>	Martín pescador chico	RIB	1		V	Más en quebradas; escaso
Galbulidae	<i>Galbula dea</i>	Jacamar negro	BTF	1		VC	Cazan insectos en el dosel
	<i>G. albivestris</i>	Jacamar pío de oro	BTF	1		VRC	Sotobosque, borde de claro
Bucconidae		Pájaros bobos, bucos	BTF	1		VRC	Sotobosque, borde de claro
<i>Chelidoptera tenebrosa</i>		Bobo mirasol	BG,BB,BTF	1	1	VA	Saliendo a cazar de perchas altas y abiertas
Captonidae	<i>Monasa morphoeus</i>	Monjita carblanca	BTF	1	1	VA	Grupos en dosel, a veces con bandadas
	<i>Capito auratus</i>	Barbudo dorado	BTF	1	1	VA	Cantando desde el dosel
Ramphastidae		Tucanes		1	1	V	Poco común; dosel y bordes
	<i>Pteroglossus azara</i>	Tucanito pío de marfil	BTF,BB	1	1	V	2, bosque borde de sabana
	<i>P. plurinctus</i>	Tucanito de dos bandadas	BTF,BB	1	1	VA	Común; cantando del dosel
	<i>Ramphastos tucanus</i>	Tucán silbador	BTF,BB	1	1	VA	Mucho menos común, también del dosel
	<i>R. vitiellus</i>	Tucán pechiblanco	BTF,BB	1	1	VA	Uno cruzó el río Pirá
Celeus elegans		Carpineros	BTF	1	1	V	
Picidae				1	1	V	
<i>Celeus elegans</i>		Carpinero marfillo	BTF	1	1	VA	Dosel medio, a menudo con bandadas
<i>C. garrimicus</i>		Carpinero buchipecoso	COM	1	1	VA	En árboles de la comunidad
<i>Colaptes punctigula</i>		Carpinero real	BB,BS,RCH	1	1	VAC	En grupos, árboles muertos aislados
<i>Melanerpes formicivorus</i>		Carpinero real	BB,RCH	1	1	V	Frecuente cerca de comunidades
<i>Dryocopus lineatus</i>		Carpinero marcial	BTF,BS	1	1	VA	Poco común en general
<i>Campephilus melanoleucos</i>		Carpinero cuellirrojo	BTF	1	1	VA	Generalmente alto en el dosel
Dendrocolaptidae		Trepatorncos		1	1	VR	Generalmente con bandadas mixtas
<i>Dendrocincla merula</i>		Trepatorncos barbblanco	BTF	1	1	VR	
<i>D. fuliginosa</i>		Trepatorncos pardo	BS,BB	1	1	VAR	Uno en bosque secundario
<i>Steliosoma griseicapillus</i>		Trepatorncos oliváceo	BTF	1	1	RC	Con bandada mixta
<i>Glyphorhynchus sphenurus</i>		Trepatorncos pío de cuña	BTF,BS,BB	1	1	VRC	Común en todos los sitios
<i>Dendrocolaptes certhia</i>		Trepatorncos ocellado	BTF	1	1	VA	Regularmente con bandadas mixtas
<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>		Trepatorncos ocellado	BTF	1	1	VR	Regulamente con bandadas mixtas
<i>X. guttatus</i>		Trepatorncos silbador	BTF	1	1	V	A veces con bandadas, a veces solo
Furnariidae		Hojasqueros, horneros		1	1	VR	A veces con bandadas, a veces solo
<i>Xenops munus</i>		Xenops común	BTF,BS,BB	1	1	VR	A veces con bandadas, a veces solo
<i>Automolis infuscatus</i>		Horasquero gorgiblanco	BTF	1	1	VRC	Con bandadas mixtas, niveles medios
<i>Hylocistis subulatus</i>		Hojasquero estrado	BTF	1	1	VRC	Con bandadas mixtas
Thamophilidae		Hojasqueros típicos		1	1	VA	Cantando en sotobosque denso cerca de quebradas
<i>Thamophilus murinus</i>		Baratá ratón	BTF	1	1	VARC	Cantando frecuentemente, a veces con bandadas
<i>T. amazonicus</i>		Baratá amazónico	BS,BTF,BB	1	1	VR	Cantando en bosque secundario bajo
<i>Thamnomimus caesus</i>		Homíguero cinéreo	BTF	1	1	VARC	Parejas o grupos con bandadas; ruidoso
<i>T. ardesiacus</i>		Homíguero gris azulado	BTF	1	1	VA	Como el anterior pero menos común, menos ruidoso
<i>Mymothenia chertrei</i>		Homíguero de Chertie	SA	1	1	RC	Pareja en matorral de sabana
<i>M. striolata</i>		Homíguero amazónico	BTF	1	1	V	Con bandada mixta en bosque
<i>M. menestesi</i>		Homíguero marfillo	BTF	1	1	VC	En parejas, con bandadas mixtas
<i>M. longipennis</i>		Homíguero allargado	BTF	1	1	VRC	En parejas, grupos de hasta 4 con bandadas
<i>M. obscura</i>		Homíguero carblanco	BTF	1	1	V	Con bandadas mixtas, borde y bosque
<i>M. axillaris</i>		Homíguero flanguliblanco	BTF	1	1	V	Con bandadas mixtas en bosque
<i>Epinecrophylla haematona</i>		Homíguero loncastaño	BTF	1	1	V	Con una bandada mixta
<i>Formicivora grisea</i>		Homíguero Canoro	BTF	1	1	VRC	Capturado en bosque cerca de la sabana
<i>Hypocnemis cantator</i>		Homíguero Cejiamarillo	BTF	1	1	VRC	Capturado en sotobosque
<i>H. hypoxanthus</i>		Homíguero cejiamarillo	BTF	1	1	VRC	Con bandadas mixtas, sotobosque alto
<i>Dichrozona cincta</i>		Homíguero bandado	BTF	1	1	RC	Capturado cerca del piso en bosque alto

<i>Cercomacra tyrannina</i>	Hormiguero negruzco	BS,RCH	1	1	1	1	1	VAR	Muy común en rastrojo alto y chagras viejas
<i>C. cinerascens</i>	Hormiguero nagüiblanco	BTF,BS		1		1	1	VAC	Cantando desde marañas del sotobosque alto
<i>Myrmoborus myotherinus</i>	Hormiguero carinegro	BTF					1	VAR	Capturado en sotobosque cerca de quebrada
<i>Hypocnemoides melanopogon</i>	Hormiguero barbinegro	BS			1			VRC	Capturado en bosque secundario bajo
<i>Percnostola rufifrons</i>	Hormiguero cabecinegro	BTF			1	1	1	VRC	Sotobosque, poco común
<i>Pithys albifrons</i>	Hormiguero penachudo	BTF		1		1	1	VR	Común en sotobosque
<i>Gymnopithys leucaspis</i>	Hormiguero rufalbo	BTF		1		1	1	VAR	Localmente común en sotobosque
<i>Rhegmatorhina cristata</i>	Hormiguero colorado	BTF				1	1	VRC	En parejas en sotobosque
<i>Phlegopsis erythroptera</i>	Hormiguero pavo	BTF				1	1	VRC	En parejas en sotobosque, con <i>Rhegmatorhina</i>
<i>Willisornis poecilonota</i>	Hormiguero dorsiescamado	BTF,BS		1	1	1	1	VARC	Común en sotobosque en general
<i>Hylophylax naevius</i>	Hormiguero dorsimanchado	BTF				1	1	VRC	Sotobosque, generalmente en parejas
Formicariidae	Hormigueros terrestres								
<i>Formicarius colma</i>	Gallito nuquirrufo	BTF				1	1	VRC	Capturado o visto cerca del piso del bosque
Grallariidae	Hormigueros zancudos								
<i>Myrmothera campanisona</i>	Myrmothera campanero	BTF		1		1	1	A	Cantando frecuentemente del piso del bosque
Pipridae	Saltarines								
<i>Tyrannetes stolzmannii</i>	Saltarín grillo	BTF		1	1	1	1	VA	Cantando incesantemente, sotobosque alto
<i>Neopelma chrysocephalum</i>	Saltarín zumbador	BTF		1				VA	Un lek a lo largo de un filo en bosque alto
<i>Heterocercus flavivertex</i>	Saltarín collarejo	VAR				1		RC	Capturado en varillal
<i>Dixiphia pipra</i>	Saltarín cabeciblanco	BTF			1	1	1	VR	Poco común en sotobosque
<i>Lepidothrix coronata</i>	Saltarín coroniceleste	BTF,BS		1	1	1	1	VAR	Común pero poco canto; a veces con bandadas
<i>Pipra erythrocephala</i>	Saltarín cabecidorado	BTF,BS	1	1	1	1	1	VR	Un lek activo en Jotabeyá; poco común en otros sitios
<i>Xenopipo atronitens</i>	Saltarín negro	SA				1	1	VRC	Común en la sabana de Jirijirimó
Tityridae	Tityras y cabezones								
<i>Schiffornis turdina</i>	Schiffornis turdino	BTF				1		ARC	Capturado en bosque alto
<i>Piprites chloris</i> (fam. <i>Incertae sedis</i>)	Piprites oliva	BTF				1		V	2-3 con bandada mixta
Cotingidae									
<i>Cotinga cayana</i>	Cotinga real	BTF,BS		1			1	V	En dosel, en árboles con frutos; pareja cruzó Q. Jotabeyá
<i>Cotinga maynana</i>	Cotinga turquesa	BTF						V	Pareja en dosel alto al lado del río Pirá
<i>Xipholena punicea</i>	Cotinga pompadour	BTF, BG	1	1			1	V	En árboles grandes con frutos, o en ramas expuestas
<i>Lipaugus vociferans</i>	Guardabosque gritón	BTF			1		1	VA	Leks con actividad relativamente baja en bosque alto
<i>Querula purpurata</i>	Cuaba	BTF					1	A	Grupo escuchado en dosel del bosque
Tyrannidae	Mosqueros, atrapamoscas								
<i>Zimmerius gracilipes</i>	Tiranuelo amazónico	BTF,BS			1	1	1	V	A veces con bandadas, a veces solo: dosel
<i>Tyrannulus elatus</i>	Tiranuelo coronado	BS,RCH	1	1	1	1	1	VA	Alrededor de comunidades
<i>Mionectes oleagineus</i>	Mosquerito ocráceo	BTF,BS		1	1	1	1	VAR	En sotobosque por todas partes
<i>Elaenia flavogaster</i>	Elaenia copetona	RCH	1	1	1			VA	Alrededor de comunidades, poco común
<i>Poecilotricus latirostre</i>	Espatullilla rubicunda	RCH	1	1	1	1	1	VRC	Común en vegetación baja y densa
<i>Hemitriccus</i> sp.	Picochato sp.	VAR					1	VA	Cantando temprano, no se pudo coleccionar
<i>Lophotriccus galeatus</i>	Tiranuela penachudo	BS,BTF				1	1	VRC	Vegetación emarañado, esp. cerca de quebradas
<i>Platyrinchus platyrhynchos</i>	Picopala canelo	BTF					1	RC	Capturado en sotobosque
<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	Picoplano azufrado	BS,RCH		1	1			V	Alrededor de comunidades, poco común
<i>T. poliocephalus</i>	Picoplano menor	BTF				1	1	V	Con bandadas mixtas, niveles medios del bosque
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	Mosquero real	BTF,BS					1	VRC	Capturado en sotobosque en borde de claro
<i>Myiobius barbatus</i>	Mosquerito barbudo	BTF			1	1	1	V	Con bandadas mixtas, niveles medios del bosque
<i>Neopipo cinnamomea</i>	Mosquerito canelo	BTF					1	RC	Capturado en sotobosque cerca de quebrada
<i>Myiophobus fasciatus</i>	Mosquerito pechirrayado	RCH		1				VRC	Rastrojo cerca de la comunidad
<i>Lathrotriccus euleri</i>	Mosquerito de Euler	SA					1	VRC	Capturado en matorral de sabana; anidando?
<i>Empidonax alnorum</i> *	Mosquerito matorralero	RCH,SA					1	VR	Matorral, rastrojo: ind. solitarios
<i>Contopus virens</i> *	Pibí oriental	RCH,BB	1	1	1	1	1	V	Grupos sueltos - "olas" migratorias
<i>Ochthornis littoralis</i>	Pitajo ribereño	RIB	1				1	V	Parejas esparcidas en los bordes de los ríos
<i>Conopias parva</i>	Suelda diadema	BB		1				V	Posado alto, borde de chagra vieja
<i>Attila spadiceus</i>	Attila lomiamarilla	BTF,BS					1	VA	Cantando al amanecer del dosel
<i>Miarchus ferox</i>	Mosquero garrochero	RCH	1		1			VA	Cerca de comunidades, zonas abiertas

<i>Ramphocelus carbo</i>	Picoplata vinotinto	RCH, BS	1	1	1	1	1	1	VAR	Abundante, en grupos que a veces siguen las bandadas
<i>Tachyphonus surinamus</i>	Parlotero rabiamarillo	BTF, BS, BB			1	1	1	1	VRC	Poco común pero encontrado en muchos sitios
<i>T. cristatus</i>	Parlotero crestado	BB						1	VRC	Visto con bandada en Jotabeyá
<i>Tersina viridis</i>	Tángara golondrina	BS, BB, RCH				1	1	1	V	En bandadas que perchan alto y bajan para comer frutos
<i>Cissopis leveriana</i>	Algodonero	BB						1	V	Uno observado, borde de chagra
Cardinalidae	Picogrueros, cardenales									
<i>Cyanocopsa cyanooides</i>	Picogruero azulado	BTF					1	1	VRC	En parejas y cantando, sotobosque cerca de quebradas
Emberizidae	Semilleros									
<i>Oryzoborus angolensis</i>	Semillero ventricastaño	RCH			1	1	1	1	VR	Poco común en áreas abiertas
<i>Sporophila castaneiventris</i>	Espiguero ventricastaño	RCH		1	1	1	1	1	VR	Común en chagras y pastizales
<i>Volatinia jacarina</i>	Semillero saltapalito	RCH, SA, COM		1	1	1	1	1	VR	El semillero más común en general
<i>Arremon taciturnus</i>	Pinzón pectoral	BS			1			1	VRC	Sotobosque oscuro de bosque secundario denso
<i>Ammodramus aurifrons</i>	Sabanero zumbador	COM		1	1				VR	En áreas abiertas de las comunidades más grandes
Números totales de especies por sitio:			46	40	109	83	141	136		

HABITATS: AE: aéreo-sobrevolando hábitats terrestres; BAA: bosque achaparrado sobre arena blanca; BB: bordes de bosque; BG: bosque de galería; BS: bosque secundario; BTF: bosque alto de tierra firme; COM: alrededor de comunidades, habitaciones humanas, zonas abiertas etc.; RCH: rastros y chagras; RIB: hábitats de río- bordes rocosos o barrocos, barras de arena, agua abierta, troncos y ramas saliendo del agua, etc.; SA: sabana sobre arena blanca.

TIPOS DE REGISTROS: V = visual; A = auditivo; R = capturado en redes; C = coleccionado.

OTROS SIMBOLOS: * = migratorio boreal, anida en Norteamérica (muchos en su migración primaveral hacia el norte); ** = migratorio austral, anida en el sur de Sudamérica (muchos en su migración otoñal hacia el norte).

ECOLOGY OF NON – MARINE OSTRACODA FROM LA FE RESERVOIR (EL RETIRO, ANTIOQUIA) AND THEIR POTENTIAL APPLICATION IN PALEOENVIRONMENTAL STUDIES

By

Andrea Torres Saldarriaga¹, José Ignacio Martínez¹

Abstract

Torres Saldarriaga, A., J. I. Martínez: Ecology of non – marine ostracoda from La Fe reservoir (El Retiro, Antioquia) and their potential application in paleoenvironmental studies. *Rev. Acad. Col. Cienc.* **34** (132): 397-409, 2010. ISSN 0370-3908.

Littoral macrophytes from the La Fe reservoir (El Retiro, Antioquia) were sampled for ostracoda during June and September of 2008. This allowed the identification of four genera and six species of ostracoda belonging to the Cyprididae and Candonidae families, where *Chlamydotheca* and *Cypridopsis* were found to be the dominant genera. *Chlamydotheca unispinosa* was the most abundant species in the assemblage. Furthermore, the environmental variables: temperature, electric conductivity, dissolved oxygen, and pH were also measured, in order to establish their relation to ostracoda taxa, using Canonical Correspondence Analysis (CCA). Results confirm the cosmopolitan character of *Cypridopsis vidua* and evidence the importance of plant substrate on the occurrence and distribution of the Cyprididae family. The possible application of the recorded ostracoda assemblage in paleoenvironmental interpretations is discussed.

Key words: La Fe reservoir, non – marine ostracoda, Neotropics, ostracoda ecology, environmental and paleoenvironmental indicators.

Resumen

El muestreo de las macrófitas asociadas a la zona litoral entre los meses de junio y septiembre de 2008 del embalse La Fe (El Retiro, Antioquia), permitió el reconocimiento de cuatro géneros y seis especies de ostrácodos no marinos pertenecientes a las familias Cyprididae y Candonidae, siendo *Chlamydotheca* y *Cypridopsis* los géneros dominantes en la asociación. *Chlamydotheca unispinosa* fue la especie con abundancia más alta en toda la asociación. Además, las variables ambientales temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH se midieron in situ para

¹ Área Ciencias del Mar, Dpto. Geología, Universidad EAFIT. Crr. 49 No 7 sur 50, Medellín. Correo electrónico: atorress@eafit.edu.co

establecer su relación con la ocurrencia de las especies de ostrácodos a partir de un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Con base en los resultados obtenidos se confirma el carácter cosmopolita de *Cypridopsis vidua* y la importancia del sustrato vegetal en la ocurrencia y distribución de la familia Cyprididae. Finalmente, se discute la posible aplicación de la asociación de ostrácodos encontrados en interpretaciones paleoambientales.

Palabras clave: Embalse La Fe, ostrácodos no marinos, Neotrópico, ecología de ostrácodos, indicadores ambientales y paleoambientales.

1. Introduction

Non-marine ostracoda are found in all continental environments, both lotic and lentic (e.g. **Holmes & Chivas**, 2002a). However, its distribution is limited to zoogeographical regions (Fig.1), being the Palearctic (PA) the region with the highest number of genera and species occur when compared to the Neotropics (NT), which is one of the regions with the lowest diversity of ostracoda. This pattern is possibly biased by the incomplete exploration of many areas (**Martens et al.**, 2008). The strategic geographical location of northern South America and the high biological diversity product of a great variety of ecosystems and microclimates make Colombia a key region for paleoenvironmental and paleoclimate studies of a regional and global significance. Non-marine ostracoda have shown to be useful in paleoecological and ecological interpretations elsewhere in South America (e.g. **Wirmann & Mourguiart**, 1995; **Mourguiart et al.**, 1998; **Whatley & Cusminsky**, 1999, **Higuti**, 2006; **Laprida**, 2006), North America (**Curry**, 1999) and Europe (**Mezquita et al.**, 1999a; **Mezquita et al.**, 2005,

Kiss, 2007). By comparison, studies of non-marine ostracoda in Colombia are scarce and are focused on taxonomic aspects (**Roessler**, 1985, 1986a, 1986b, 1990a and 1990b). This is why, little is known about ostracoda ecology and its possible applications to environmental studies. Therefore, this study intends to contribute to the knowledge of the non-marine neotropical ostracoda ecology at La Fe reservoir, and the relation of ostracoda assemblages with some measured environmental variables.

The ecology of other micro-organism groups, such as the thecamoebians (testaceous Rhizopods; **Escobar et al.**, 2005a), and insect larvae (**Roldán & Ramírez**, 2008), have been studied in La Fe reservoir which make this water body a natural laboratory and a modern analogue for paleolimnological studies.

2. Artificial reservoirs: Habitat for non-marine ostracoda

One suitable environment for the establishment and diversification of non-marine ostracoda are reservoirs.

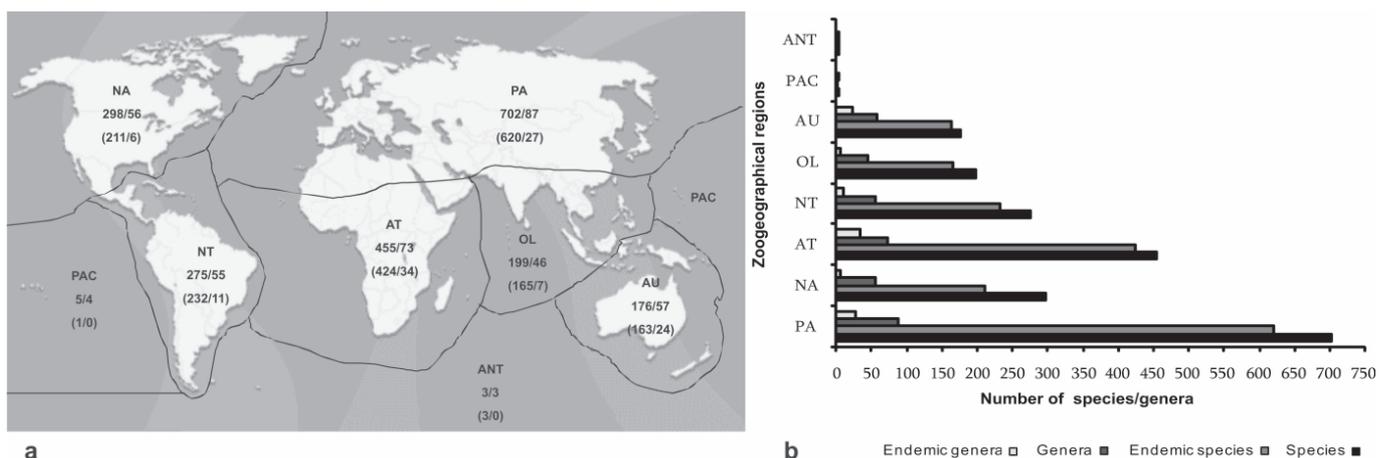


Figure 1. Non-marine ostracoda diversity in the world. a) Values indicate species and genera and in parentheses endemic species and genera. Zoogeographical regions: PA = Palearctic, NA = Neoartctic, AT = Afrotropical, NT = Neotropical, OL = Oriental, AU = Australasian, PAC = Pacific Oceanic Islands and ANT = Antarctic. Note that PAC and ANT regions apparently show the lowest diversity (modified from **Martens et al.**, 2008). b) The largest number of endemic genera is shown in Australia (AU) and the Afrotropical region (AT), whereas the number of endemic species is generally high for all regions.

These environments, similarly to natural lakes, offer different environmental conditions that influence the occurrence and distribution of animals and plants. The environmental conditions of reservoirs are highly dependent on the physicochemical properties of rivers and streams that feed them, the surrounding geology, reservoir age, depth, area and use, among others (Roldán & Ramírez, 2008). Furthermore, their paleolimnological study provides the basis for their management (Escobar *et al.*, 2005b).

The water body covered by this study is La Fe reservoir located in the municipality of El Retiro (southeastern Antioquia) at an approximate 2175 masl (Fig. 2). The catchment area overlies a series of metamorphic rocks and the Antioquia Batholith (González, 2001) and directly receives the water of Las Palmas stream in the north, and Potrerros, La Miel and Espíritu Santo streams in the west.

3. Methods

Sampling of littoral macrophytes was performed during June, August and September of 2008. Sampling stations were located using a Garmin GPS, where rooted and floating

vegetation was at the littoral zone of the reservoir and at streams mouths. Some macrophytes have a seasonal occurrence and in some cases are removed because of reservoir maintenance (e.g. *Egeria densa*). This explains the difference in the number of stations between sampling months.

Samples were collected with a 85 μm zooplankton mesh net and stored in plastic bags. Measurements of four environmental variables (temperature, pH, electric conductivity and dissolved oxygen) were taken in situ using a portable Metrom 740 pH, Handylab LF1 conductivity and ICM 31520 oxygen meters. In the laboratory samples were washed with tap water using 355 and 63 μm sieves. The retained material was examined under a stereomicroscope in 0.8 ml aliquots to extract the ostracoda and make the count of species. Samples were not fixed in the field to avoid changes in their valves, bleaching and softening. This was done in the laboratory using 70% ethanol. The identification of ostracoda was based on the internal and external characteristics of the valves and taxonomic keys (e.g. Moore, 1961; van Morkhoven, 1963; Roessler, 1985, 1986a, 1986b; Laprida, 2006; Higuti, 2006).

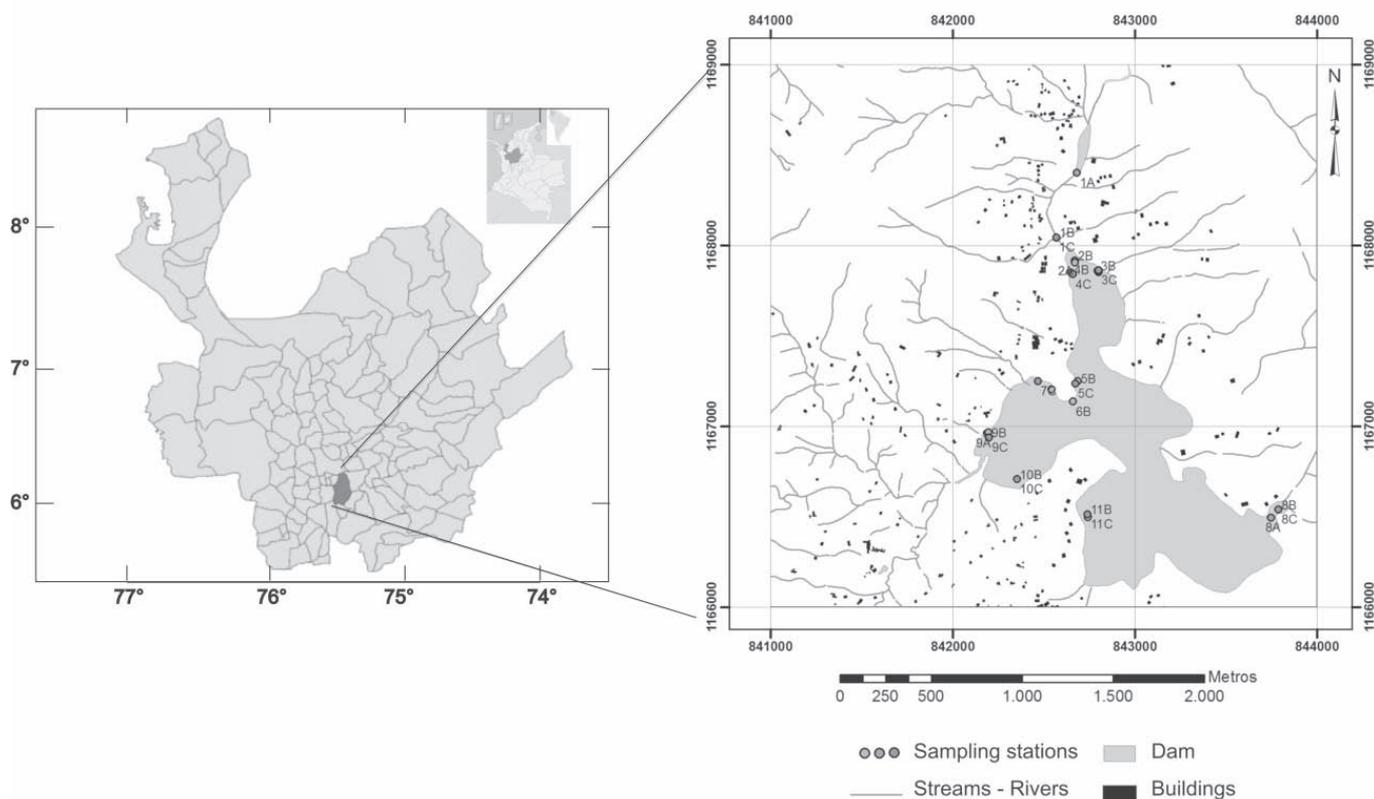


Figura 2. Location map of La Fe reservoir (Retiro, Antioquia). The inset shows sampling locations.

For the description and species identification, individual specimens of ostracoda were separated based on their morphology, and fixed again in 70% ethanol for 4 days to avoid valve disarticulation and to extract their soft parts. Slides of all specimens were prepared with glycerol and examined under a petrographic microscope for a detailed description.

Ostracoda count, their relative percentage abundances, and physicochemical data were submitted to Canonical Correspondence Analysis using MVSP (Multi-Variate Statistical Package) which allows relating the species composition with the environmental descriptors (**Legendre & Legendre**, 1998).

4. Results

4.1 Environmental variables

Electrical conductivity, pH, water temperature, and dissolved oxygen were the environmental variables measured in the mixed layer of the water column, i.e. between 0 and 50 cm. Electrical conductivity shows the lowest recorded values in June. Maximum values of 192.6 and 144.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ were recorded at stations 1 and 9, close to the streams mouths in August, whereas maximum values of 167.0 and 128.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ was recorded in September. In general, pH values recorded in La Fe reservoir were between 6.5 and 7.5 for all sampling months, and therefore within the range of pH reported by **Roldán & Ramírez** (2008) for Colombian reservoirs. 19.3°C was the lowest temperature recorded at station 1 in June, whereas 24.8°C and 24.4°C were the highest values measured at stations 10 and 11 in September. Dissolved oxygen values showed no significant spatial variations during the sampled months. 4.4 and 4.2 mg/l were the lower values of dissolved oxygen at stations 1 and 3, respectively, during the August sampling campaign.

4.2 Ostracoda diversity at La Fe reservoir

Four genera and six species of ostracoda, with the conspicuous dominance of *Chlamydotheca* and *Cypridopsis* genera, and *C. colombiensis*, *C. unispinosa* and *C. vidua* species (Plate I), were recorded during June and September of 2008. The remaining species, *Strandesia bicuspis* show high abundances, whereas *Candona* sp 1 and *Cypridopsis* sp 1 (Plate I) show low abundances in few stations.

Cypridopsis sp 1 represented 85.82% of the assemblages at station 1, whereas *C. vidua* was the most abundant species with a relative abundance of 91.92% at

station 9 during June (Fig 3a). It is remarkable that *Cypridopsis* species were recorded with high abundance at stations close to the streams mouths. *Chlamydotheca unispinosa*, *S. bicuspis* and *C. vidua* were recorded in high abundances at stations 3, 4, 8 and 9, respectively, during August (Fig. 3b). *Strandesia bicuspis* was recorded for the first time in La Fe reservoir in August and the remaining species were recorded for single stations with low abundances.

On the other hand, *C. colombiensis*, *C. vidua* and *C. unispinosa* were the most abundant species at stations 4, 5 and 8, respectively, during September. The high abundance of *C. unispinosa* in all sampled stations is conspicuous, whereas *S. bicuspis* was recorded again at station 4 with a lower abundance than in August (Fig. 3c).

Favor insertar Fig.3 Aquí

Cypridopsis vidua showed an increasing abundance pattern in a N-S direction in all sampling months when compared to *C. unispinosa* and *C. colombiensis* which were recorded with variable abundance at all stations. *Candona* sp 1 occurred in few samples with low abundance which might be related to the sampling method used considering that *Candona* sp 1 is mostly a benthic species and sediment samples were not collected. Therefore, its occurrence in some samples might be accidental and due to sediment mixing by the dragging of the plankton net.

4.3 Distribution of plant species

Aquatic plants provide adequate resources for the development of a variety of macro-invertebrates. It includes all, floating, submerged or emergent vegetation that grow along the littoral area of rivers, lakes and reservoirs (**Roldán & Ramírez**, 2008). In La Fe reservoir the development of macrophytes during the sampled months were present mainly in the western margin of the reservoir. The plants found include *Egeria densa*, *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides indica*, *Nymphaea caerulea* and some *Ludwigia* species. Although, there were no clear evidences to relate the occurrence of the ostracoda species with a specific macrophyte type, *Nymphaea caerulea* and *E. densa* were the only macrophyte taxa at station 4 where *S. bicuspis* was reported. Similarly, *E. crassipes* was the only macrophyte taxon at station 1, close to the Las Palmas stream mouth, where *Cypridopsis* sp 1 was the dominant species. *Ludwigia* macrophyte species were common at stations 3, 6 and 7, where *Chlamydotheca* and *Cypridopsis* genera were dominant. *Nymphoides indica* was characteristic at station 9 where *C. vidua* was recorded in high abundance.

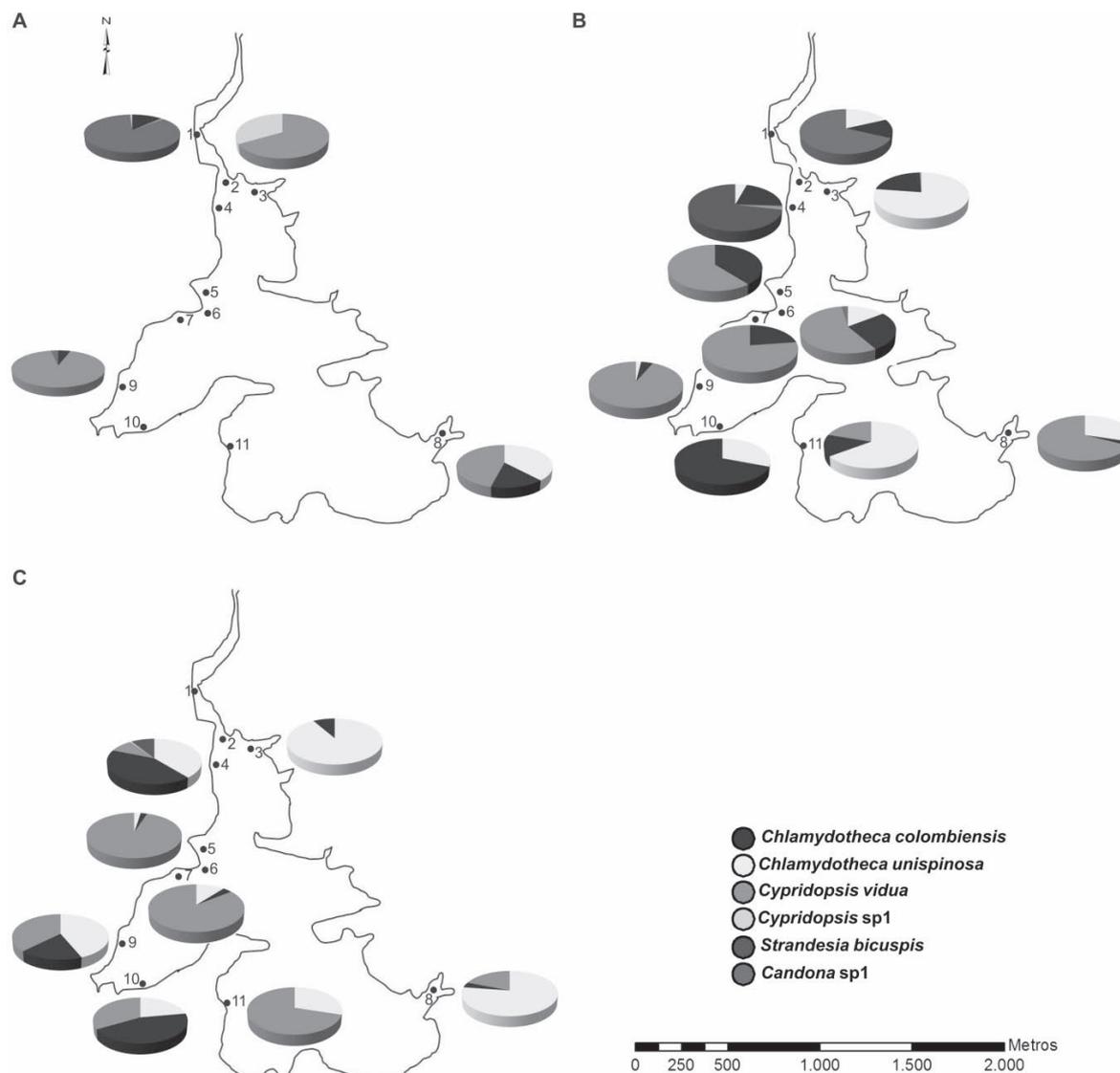


Figure 3. La Fe reservoir map showing the ostracoda distribution and relative percentage abundances at sampled stations in June (A), August (B) and September (C) of 2008. Note: a) the predominance of the *Cypridopsis* genus, b) the pattern distribution of *C. vidua* in direction N-S, and the first occurrence of *S. bicuspis* at station 4, c) the dominance of the *Chlamydotheca* genus.

4.4 Environmental preferences of ostracoda species from La Fe reservoir

Of the six species of ostracoda recorded in La Fe reservoir, *C. vidua* presented a constant occurrence during all sampled months. The highest diversity was recorded at station 4. The CCA diagram (Fig. 4), shows that all species occur close to the center, except for *Cypridopsis* sp 1, suggesting that all species have similar environmental preferences. The species – environment correlation was 0.87 for axis 1 and 0.50 for axis 2. In axis 1, the most

important environmental variable in the species ordering is temperature with a -0.90 canonical coefficient, whereas in axis 2 it is dissolved oxygen with a canonical coefficient of 0.83.

According to the CCA diagram, *C. unispinosa* is located in the center. Therefore, this species presents no apparent correlation with the measured variables. This might mean that *C. unispinosa* tolerates variations of the measured environmental variables along the sampling stations and, therefore, these variables do not explain its

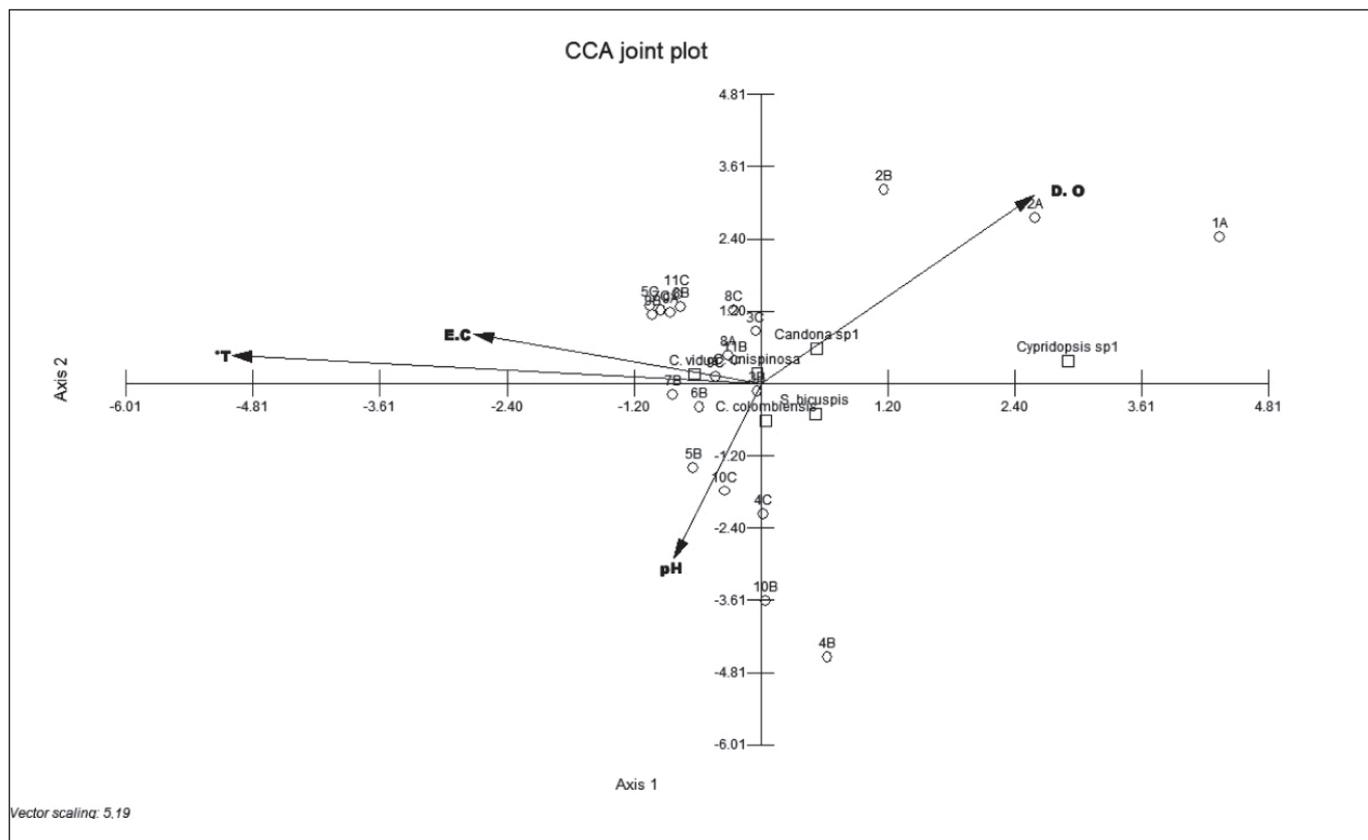


Figura 4. Canonical Correspondence (CCA) diagram showing the relation between the six ostracoda species and the four measured environmental variables (\rightarrow = environmental variables, \circ = stations, \square = species) in La Fe reservoir. D.O = dissolved oxygen, E.C = electrical conductivity, T = temperature.

occurrence. *Cypridopsis vidua* shows a positive correlation with electrical conductivity and water temperature which supports its characterization as a cosmopolitan species with a wide tolerance to these environmental conditions, i.e. occurring in a range of electrical conductivity between 14.7 and 167 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and temperature between 21.6 and 24.4°C (e.g. **Külköylüođlu**, 2004; **Külköylüođlu & Yilmaz**, 2006; **Dügel et al.**, 2008). On the other hand, the occurrence of *Chlamydotheca colombiensis* seems to be influenced by pH (between 6.05 and 9.16) according to the CCA diagram. However, its distribution within the reservoir is no clear. *Strandesia bicuspis* shows a negative correlation with temperature and a positive correlation with dissolved oxygen and pH. *Cypridopsis* sp 1 shows a negative correlation with temperature and a positive correlation with dissolved oxygen. Finally, *Candona* sp 1 shows a positive correlation with dissolved oxygen. However, because of its epibenthic mode of life (**van Morkhoven**, 1963), it is possible that the environmental variables measured in the mixed layer do not explain its occurrence in La Fe reservoir.

5. Discussion

The ostracoda community recorded at La Fe reservoir is mainly represented by the Cyprididae family, with only one species of the Candonidae family.

The western littoral zone of the reservoir, where floating and submerged vegetation dominated during the sampling period, was characterized by four ostracoda species: *C. vidua*, *C. unispinosa*, *C. colombiensis* y *S. bicuspis*, whereas the eastern littoral zone, where submerged plants were common, was characterized by *C. unispinosa* and *C. vidua*. *Candona* sp 1 was recorded in the north of the reservoir in proximity to Las Palmas stream, associated to the sediment substrate in shallow water. *Cypridopsis* sp 1 was recorded at station 1, influenced by Las Palmas stream, so this species appears to be more characteristic of lotic than lentic environments, thus suggesting that it was carried by the Potreros or Espiritu Santo streams to the reservoir where it occurred in low abundance at station 9. In none of the stations where lacustrine conditions are

dominant *Cypridopsis* sp 1 was recorded, so it is suggested that it is an “allocthonous” species.

The apparent correlation of the Cyprididae family with floating and submerged vegetation suggests that this type of substrate largely determines the ostracoda occurrence and distribution in La Fe reservoir. This relationship was also observed by **Wurdig & Freitas**, (1988), who found the same species of the Cyprididae family in the Emboada Lake (Rio Grande do Sul, Brazil) in close associating with plant substrate. Similarly, **Wurdig et al.** (1990), and **Albertoni & Wurdig** (1996), based on the meso and macrofauna composition analysis of Lago de Gentil (Rio Grande do Sul, Brazil), suggest that aquatic vegetation provides optimal conditions for the establishment of ostracoda communities, i.e. for about 97.6% of the ostracoda assemblage.

Chlamydotheca unispinosa, the most abundant species that constitute 41.2% of the assemblage, showed no apparent correlation with the measured environmental variables. Therefore its occurrence might be related to the substrate type or to its ecological relationship within other ostracoda in the assemblage. In this sense, it is suggested that *C. unispinosa* percentage abundance decreases with the increase in abundance of other species (e.g. *C. vidua*) and vice versa. This pattern can also be attributed to the percentage abundance data which behaves like a closed statistical systems where variables are interdependent (e.g. **Woronow**, 1991; **Swan & Sandilands**, 1995; **Kucera & Malmgren**, 1998).

The second most important species in the reservoir, *C. vidua* which represents 29.8% of the total ostracoda assemblage, is considered cosmopolitan and shows a wide range of tolerance to different environmental variables (e.g. **Külköylüođlu**, 2004; **Külköylüođlu & Yilmaz**, 2006; **Yilmaz & Külköylüođlu**, 2006; **Laprida**, 2006; **Karan - nidaršie & Petrov**, 2007; **Külköylüođlu et al.**, 2007; **Dügel et al.**, 2008). An interpretation also noted in our CCA results, i.e a positive correlation with temperature and electrical conductivity. Although *C. vidua* showed a wide distribution within the reservoir, its highest abundance was found in samples taken at stations close to the streams mouths (mainly the Espiritu Santo stream). This species has a close dependence to plant substrate (**Wurdig & Freitas**, 1988; **Wurdig et al.**, 1990; **Yozzo & Steineck**, 1994; **Karan - nidaršie & Petrov**, 2007). However, it does not appear to have a preference for a macrophyte type, because it was found living associated to floating and submerged plants indistinctly. Its preference for macrophytes might be due to its small size (~ 0.6 mm), and the protection from

predators offered by plants. Also, its wide distribution may be related to its highly nektonic character because this species has longer natatory setae (**Wurdig et al.**, 1990; **Hunt et al.**, 2007), which facilitate its displacement between different habitats.

According to results obtained by the CCA diagram, *S. bicuspis* occurs in high abundances when the pH is slightly acid to neutral, temperatures are low and within the range recorded in La Fe reservoir, and conductivities are lower than 60 μ S/cm, thus suggesting that its range of tolerance is very narrow. Although, there is no clear evidence of the influence of the biotic variables in the ostracoda community, it is suggested that *S. bicuspis* percentage abundance might be high when the abundance of the other species of *Chlamydotheca* genus and *C. vidua* decrease. As pointed out before, this might also be an artifact of the percentage abundance data, i.e. a closed statistical system (e.g. **Woronow**, 1991; **Swan & Sandilands**, 1995; **Kucera & Malmgren**, 1998).

During the September sampling period, an increase in the percentage abundance of *C. colombiensis* and *C. unispinosa* was observed. Both species were found in the developed juvenile stage (~ 4 y 3 mm) at station 4, where macrophytes characterized by a greatest leaf area and density as *N. caerulea* and *E. densa* were dominant. These macrophyte types might be preferred by large species of ostracoda as a place of incubation because plants offer protection against predators and food resources (**Ramírez**, 1967; **Wurdig et al.**, 1990; **Albertoni & Wurdig**, 1996; **Higuti**, 2006; **Laprida**, 2006; **Kiss**, 2007).

5.1. Paleoecological application of La Fe reservoir ostracoda assemblage

Due to its calcareous nature only the ostracoda carapace is normally preserved in the sedimentary record. Therefore, its taxonomic identification in the paleontological record can be complex sometimes. Nonetheless the biological aspects of ostracoda are important in Quaternary paleoenvironment interpretations (e.g. **De Deckker**, 2002).

In the ostracoda assemblage found in La Fe reservoir, the *Chlamydotheca* genus dominates. **Roessler** (1985, 1986a, 1986b) recorded seven species and four subspecies of the *Chlamydotheca* genus from lentic environments in Colombia. *Chlamydotheca* genus characterized by its morphological diversity and larger size (between 3 and 4.6 mm) is amenable of taxonomic determinations in fossil specimens. Like *Chlamydotheca*, the *Strandesia* genus is restricted to lacustrine environments. **Roessler** (1990a, 1990b) recorded a high diversity of *Strandesia* species in

Colombia, which he found exclusively in temporary and permanent lentic environments. By contrast, the *Cypridopsis* genus shows a wide distribution within non – marine aquatic environments (Mourguiart & Montenegro, 2002). In La Fe reservoir two different species of *Cypridopsis* were recorded with similar morphological shell features, which could make difficult the specific identification of microfossils if soft parts are not preserved.

In La Fe reservoir the ostracoda community found has a low diversity, thus limiting the interpretation in terms of ecological tolerance. However, ostracoda morphology, moulting, evidence of carapace dissolution, and change in faunal composition can be indicative of salinity, temperature, nutrients level variation, water level change, and sedimentation rates (De Deckker, 2002). For these reasons, knowledge of living ostracoda ecology is basic for the assessment of fossil ostracoda assemblages preserved in sediments. This knowledge, when combined with ostracoda valve chemistry (e.g. Mg/Ca, Sr/Ca), leads to more precise paleoenvironmental interpretations (e.g. Holmes & Chivas, 2002b; Ito, 2002).

Because, fossil ostracoda assemblages recorded in this study characterize lentic conditions and occurs in shallow, warm to temperate and relatively oxygenated water characterized by frequent level variations associated to the littoral zone and high plant coverage, Holocene sedimentary lacustrine successions are potential targets for paleolimnological reconstruction based on them. This, however, would be only possible in alkaline environments and/or during sedimentary diagenesis. Otherwise, ostracoda shells would be dissolved.

6. Conclusions

From the study of the ostracoda assemblage ecology of La Fe reservoir it is concluded that:

1. A low diversity of ostracoda occurred during all sampled months and was represented by *Chlamydotheca*, *Cypridopsis*, *Strandesia* and *Candona* genera. Being *Chlamydotheca unispinosa* the most abundant species (41.3% of the assemblage).
2. *Chlamydotheca unispinosa* distribution within the reservoir might depend on its ecological relations with other ostracoda species and/or its preference to dense plant substrates which would offer protection and food to reproduction and development.
3. *Cypridopsis vidua* was the only species that showed a clear pattern of spatial distribution in a north – south

direction, thus confirming its wide tolerance to environmental variable changes according to its cosmopolitan character and high swimming ability.

4. Apparently, electrical conductivity and the abundance increase of *C. unispinosa* and *C. vidua* were the cause of the significant decrease of *S. bicuspis* through the August and September sampling campaigns.
5. *Cypridopsis* sp 1, occurred in high percentage abundance at station 1, located on Las Palmas stream. This suggests that *Cypridopsis* sp 1 is an “allocthonous” species whose eventual occurrence in lacustrine samples might be due to stream transport.
6. Even though, it is necessary more detail study to link the occurrence of ostracoda species to specific macrophyte type, there is a close dependence of the ostracoda to aquatic plant substrate.
7. Our study contributes to the knowledge of the diversity and ecology of ostracoda in the Neotropics and demonstrates the potential of its use in paleolimnological reconstruction of the Holocene.

7. Acknowledgments

We thank Professor Gladys Bernal at the Universidad Nacional de Colombia (Medellín) and Dr. Jaime Escobar (University of Florida) for their comments and suggestions, which helped to improve this work. Dr. Inés César at the Universidad de La Plata provided valuable literature and suggestions for samples preparation, whereas Dr. Carlos Jaramillo (Smithsonian Tropical Research Institute) provided the electron microscope photographs, Universidad EAFIT, Geology Department, helped with the laboratory and transport, and EPM (Empresas Públicas de Medellín) allowed and helped with the reservoir sampling.

8. References

- Albertoni, EF., Würdig, NL. 1996. Comunidade de ostracodes associada à macrófitas aquáticas na Lagoa do Gentil Tramandaí, RS. Acta Limnol. Brasil 8: 103-114.
- Curry, BB. 1999. An environmental tolerance index for ostracods as indicators of physical and chemical factors in aquatic habitats. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 148: 51-53.
- De Deckker, P. 2002. Ostracod Paleoecology. In: The Ostracoda: Applications in Quaternary Research. Geophysical Monograph (eds. Holmes, J.A & Chivas, A.R), Washington. 121-134.
- Dügel, M., Kulköylüođlu, O., Kilic, M. 2008. Species assemblages and habitat preferences of Ostracoda (Crustacea) in Lake Abant (Bolu, Turkey). Bel. J. Zool. 138(1): 50-59.

- Escobar, J., Martínez, JI., Parra, LN.** 2005a. Thecamoebians (Testaceous Rhizopods) from a tropical lake: La Fe reservoir, Antioquia, Colombia. *Caldasia* 27(2): 293-298.
- Escobar, J., Restrepo, JC., Martínez, JI.** 2005b. La paleolimnología como herramienta para el estudio y manejo de embalses. *Gestión y Ambiente* 8(2): 51-59.
- Ferguson, E. Jr.** 1964. Freshwater Ostracods From Florida with a Description of *Cypris floridensis* n. sp. *American Midland Naturalist*. 72(1): 129-132.
- González, H.** 2001. Memoria explicativa Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Ingeominas, Bogotá. 240 p.
- Holmes, JA., Chivas, AR.** (eds.) 2002a. The Ostracoda: Applications in Quaternary Research. Geophysical Monograph, Washington. 1-4.
- . 2002b. Ostracod shell chemistry – overview. In: Holmes, J.A & Chivas, A.R. (eds.). The Ostracoda: Applications in Quaternary Research. Geophysical Monograph. Washington. 185-204.
- Higuti, J.** 2006. Fatores reguladores da biodiversidade de ostracoda (Crustacea) no vale aluvial do Alto Rio Paraná. Doctoral Thesis. Universidade Estadual de Maringá, Brazil. 73 p.
- Hunt, G., Park, L.E., Labarbera, M.** 2007. A novel Crustacea Swimming Stroke Coordinated Four-Paddled Locomotion in the Cypridoidean Ostracode *Cypridopsis vidua* (Müller). *Biol. Bull.* 212: 67-73.
- Ito, E.** 2002. Mg/Ca, Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Chemistry Lacustrine Ostracode Shells From the North American Continental Interior. In: Holmes, J.A & Chivas, A.R (eds.). The Ostracoda: Applications in Quaternary Research. Geophysical Monograph. Washington. 267-278.
- Karan-nidaršić, T., Petrov, B.** 2007. Non- marine Ostracoda (Crustacea) of Banat district in Serbia. *Hydrobiologia* 585: 57-66.
- Kesling, RV., Crafts, FC.** 1962. Ontogenetic Increase in Archimedian Weigth of the Ostracod *Chlamydotheca unispinosa* (Baird). *The American Midland Naturalist* 68(1): 149-153.
- Kiss, A.** 2007. Factors affecting spatial and temporal distribution of Ostracoda assemblages in different macrophyte habitats of a shallow lake (Lake Fehér, Hungary). *Hydrobiologia* 585: 89-98.
- Külköylüođlu, O.** 2004. On the usage of ostracods (Crustacea) as bioindicator species in different aquatic habitats in the Bolu region, Turkey. *Ecological Indicators* 4: 139-147.
- . **Yilmaz, F.** 2006. Ecological requirements of Ostracoda (Crustacea) in three types of springs in Turkey. *Limnologica* 36: 172-180.
- . **Dügel, M., Kilic, M.** 2007. Ecological requirements of Ostracoda (Crustacea) in heavily polluted shallow lake, Lake Yenicađa (Bolu, Turkey). *Hydrobiologia* (585): 119-133.
- Kucera, M., Malmgren, BA.** 1998. Logration transformation of compositional data – a resolution of the constant sum constraint. *Marine Micropaleontology* 34: 117-120.
- Laprida, C.** 2006. Ostrácodos recientes de la llanura pampeana, Buenos Aires, Argentina: ecología e implicancias paleolimnológicas. *Ameghiniana* 43(1): 181-204.
- Legendre, P., Legendre, L.** 1998. Numerical Ecology. Second Edition. Elsevier Publishing. Amsterdam. 836 p.
- Martens, K., Schon, I., Meisch, C., Horne, DJ.** 2008. Global diversity of ostracod (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 185-193.
- Meisch, C., Mary-Sasal, N., Colin, JP., Wouters, K.** 2007. Freshwater Ostracoda (Crustacea) collected from the islands of Futuna and Wallis, Pacific Ocean, with a checklist of the non-marine Ostracoda of the Pacific Islands. *Bull. Soc. Nat. Luxemb.* 108: 89-103.
- Mezquita, F., Tapia, G., Roca, JR.** 1999a. Ostracoda from the Springs on the Eastern Iberian Peninsula: ecology, biogeography and palaeolimnological implications. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 148: 65-85.
- . **Roca, JR., Reed, JM., Wansard, G.** 2005. Quantifying species – environment relationships in non-marine Ostracoda for ecological and palaeoecological studies: Examples using Iberian data. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 225: 93-117.
- Moore, R.C.** 1961. Treatise on Invertebrate Paleontology. Geological Society of America & University of Kansas, p Q442.
- Mourguiart, PH., Montenegro, ME.** 2002. Climate Changes in the Lake Titicaca Area: Evidence From Ostracod Ecology. In: Holmes, J.A & Chivas, A.R (eds). The Ostracoda: Applications in Quaternary Research. Geophysical Monograph. Washington. 151-165 p.
- . **Corrège, T., Wirrmann, D., Argollo, J., Montenegro, ME., Pourchet, M., Carbonel, P.** 1998. Holocene paleohydrology of Lake Titicaca estimated from an ostracod-based transfer function. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 143: 51-72.
- Ramírez, FC.** 1967. Ostrácodos de las Lagunas de la Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de la Plata, Sección Zoología* 73: 5-54.
- Roldán, G., Ramírez, JJ.** 2008. Fundamentos de limnología Neotropical. Second Edition Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente, Acefyn. 421 p.
- Roessler, EW.** 1985. Estudios taxonómicos, ontogénicos, ecológicos y etológicos sobre ostrácodos de agua dulce en Colombia. V- Estudio taxonómico del género *Chlamydotheca* Saussure 1858, (Ostracoda, Podocopida, Cyprididae). Parte I. Aspectos morfológicos de una nueva especie colombiana del género *Chlamydotheca*. *Caldasia* 67: 329-354.
- . 1986a. Estudios taxonómicos, ontogénicos, ecológicos y etológicos sobre ostrácodos de agua dulce en Colombia. V- Estudio taxonómico del género *Chlamydotheca* Saussure 1858, (Ostracoda, Podocopida, Cyprididae). Parte II. El grupo *Chlamydotheca colombiensis* Roessler, 1985. *Caldasia* 68-70: 585-615.
- . 1986b. Estudios taxonómicos, ontogénicos, ecológicos y etológicos sobre ostrácodos de agua dulce en Colombia. V-

Estudio taxonómico del género *Chlamydotheca* Saussure 1858, (Ostracoda, Podocopida, Cyprididae). Parte III. El grupo *Chlamydotheca Iheringi* (Sars, 1901). *Caldasia* 68-70: 617-650.

———. 1990a. Estudios sobre los ostrácodos de agua dulce en Colombia. VI-IV Estudio taxonómico del grupo "*Strandesia Psittacea Psittacea* (Sars, 1901)". *Caldasia* 77: 215-229.

———. 1990b. Estudios taxonómicos, ontogénicos, ecológicos y etológicos sobre ostrácodos de agua dulce en Colombia (Ostracoda, Podocopida, Cyprididae). VI. Estudios taxonómico del género "*Strandesia* Stuhlmann 1888. Parte III. El grupo *Strandesia Elliptica* (Sars 1901)". *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 17(67): 795-804.

Swan, ARH., Sandilands, M. 1995. *Introduction to Geological Data Analysis*. Blackwell Science. 446 pp.

van Morkhoven, FP. 1963. *Post – Paleozoic Ostracoda: Their Morphology, Taxonomy and Economic Use, Generic Descriptions*. Elsevier Publishing, Amsterdam. Vol II, 478 p.

Whitley, RC., Cusminsky, GC. 1999. Lacustrine Ostracoda and Late Quaternary palaeoenvironments from the Lake Carilaufquen region, Rio Negro province, Argentina. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 151: 229-239.

Wirmann, D., Mourguiart, P. 1995. Late Quaternary Spatio-temporal Limnological Variations in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Quaternary Research* 43: 344-354.

Woronow, A. 1991. Enigmas and Solutions in the Analyses of Compositional Data. *Journal of Geological Education* 39: 299-302.

Würdig, NL., Freitas, SF. 1988. Distribuição espacial e temporal da comunidade de ostrácodos na Lagoa Emboada, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Limnol. Brasil* 2: 677-700.

———, Freitas, SF., Fausto, I. 1990. Comunidade de ostrácodos associada ao bentos e macrófitas aquáticas de Lagoa do Gentil, Tramandaí, Rio Grande do Sul. *Acta Limnol. Brasil* 3: 807-828.

Yilmaz, F., Kulköylüođlu, O. 2006. Tolerance, optimum ranges, and ecological requirements of freshwater Ostracoda (Crustacea) in Lake Aladađ (Bolu, Turkey). *Ecol Res.* 21: 165-173.

Yozzo, DJ., Steineck, PL. 1994. Ostracoda From Tidal Freshwater Wetlands at Stockport, Hudson River Estuary: Abundance, Distribution, and Composition. *Estuaries* 17 (3): 680-684.

Recibido: junio 21 de 2010.

Aceptado para su publicación: septiembre 14 de 2010.

9. Taxonomic notes

Phylum: Crustacea Pennant, 1777

Class: Ostracoda Latreille, 1806

Subclass: Podocopa G. W Müller, 1894

Order: Podocopida Sars, 1866

Superfamily: Cypridoidea Baird, 1845

Family: Cyprididae Baird, 1845

Genus: *Chlamydotheca* Saussure, 1858

Chlamydotheca colombiensis Roessler, 1985

Geographical distribution: *Chlamydotheca colombiensis* was described by Roessler (1985) as a common species from the Colombian lowlands, especially in the Cauca and Magdalena valleys. In this work *C. colombiensis* is recorded for the first time in the Andean forest belt (~2175 masl). This species was recorded by Higuity (2006) in the Paraná River floodplain.

Description: Large adult specimen with unequal valves, anterior end pointed and posterior end rounded. The right valve overlaps the left valve at the anterior end (rv / lv). The side view of the right valve shows a crescent-shaped outline, whereas the side view of the left valve shows an oval outline. The marginal area is extensively developed (vestibulum), in both anterior and posterior ends, and is characterized by straight pores canals. The carapace is perforated by numerous pores which appear as simple points and which are associated to sensory hairs or short sensillas. The marginal, posterior ventral area of the right valve is characterized by well developed long sensillas. The carapace is smooth with a yellow background color and dark green cross-bands. Size: rv = 3.2 mm, lv = 3.05 mm. Height: rv = 1.65 mm, lv = 1.7 mm. (Plate II)

Chlamydotheca unispinosa Baird, 1862

Geographical distribution: *C. unispinosa* is one of the largest non-marine species (Kesling & Crafts, 1962). Similarly to *C. colombiensis*, this species is found in the Colombian lowlands (Cauca river valley; Roessler, 1986b). Specimens of this species have also been recorded in Brazil (van Morkhoven, 1963), Jamaica, North America, Mexico (Ferguson, 1964) and Hawaii (Meisch *et al.*, 2007).

Description: *C. unispinosa* is a large size species, with an elongated and flattened carapace compared to other species of the genus. The carapace is more pointed at the anterior than at the posterior end, and the maximum height is in the posterior part behind the center. The right valve is slightly longer than the left one (rv/lv), because the former has a posteroventral spine that extends over the caudal edge of the carapace, and has numerous sensillas, as small spines around the posterior margin. Both valves have large tubercles on the postero-ventral part. The secondary

marginal zone is poorly developed in the anterior part of both valves. Like *C. colombiensis*, the *C. unispinosa* carapace is smooth with numerous simple pores associated to short sensillas. The anterior and posterior margins are covered by sensillas. The background color of the carapace is light yellow with light green irregular bands. Size: rv = 4.6 mm, lv = 4.4 mm. Height: rv = 2.2 mm, lv = 2.2 mm. (Plate II)

Genus: *Cypridopsis* Brady, 1867

Cypridopsis vidua O.F Muller, 1776

Description: Adult specimen with an oval carapace with the anterior end narrower than the posterior one. Both ends are rounded. The dorsal margin arched with the maximum height slightly behind the midline. The ventral margin is sinuous. Both valves are slightly reticulated and covered with many sensillas. The vestibulum is developed in both valves. Though the carapace is yellow with black bands it may vary slightly under varying environmental conditions (Barclay, 1968). Size: rv = 0.65 mm, lv = 0.65 mm. Height: rv = 0.41 mm, lv = 0.43 mm (Plate II)

Cypridopsis sp 1

Description: Adult specimens of *Cypridopsis* sp 1 have an oval carapace with anterior and posterior ends which are rounded. The dorsal margin is arched with the maximum height approximately at the midline, whereas the ventral margin is sinuous. There is a well developed vestibulum at the anterior end of both valves. The carapace is smooth with many simple pores and is covered by short sensillas. The carapace is yellow in color with irregular light green bands. It differs from *C. vidua* because of its smaller size, less arched dorsal margin and less pointed anterior and posterior ends. It also has a less developed vestibulum, smooth shell with little predominant sensillas, and different color carapace. Size: rv = 0.62 mm, lv = 0.62 mm. Height: rv = 0.35 mm, lv = 0.37 mm. (Plate II)

Genus: *Strandesia* Stuhlmann, 1888

Strandesia bicuspis Claus, 1892

Geographical distribution: *Strandesia bicuspis* has been recorded in the floodplain of the Paraná River (Higuti, 2006).

Description: Adult specimens of *S. bicuspis* have an elongated carapace with rounded anterior and posterior ends. The right valve is larger than the left one. It has a well developed dorsal spine that arises from the antero-dorsal part of the valve, whereas the ventral margin of both valves is straight Vestibulum (secondary marginal zones) are present in the anterior and posterior ends of both valves. Short sensillas extend over all the ventral edge of both valves and are associated to inflated or bulbous pore canals. The carapace is light yellow in color with light green spots. Size: rv = 2.3 mm, lv = 2.2 mm. Height: rv = 1.3 mm, lv = 1.1 mm. (Plate II)

Family Candonidae

Genus: *Candona* Baird, 1845

Candona sp 1

Description: Adult specimen of *Candona* sp 1 are medium size, have a narrow anterior end and a wide posterior one. In lateral view the carapace has a bean shape. The caudal process in the postero-dorsal part of the carapace ends at an obtuse angle creating a kind of hump. The carapace is smooth, shiny and has small punctuated pores. The marginal zone is very narrow because pore canals are not easily visible. The vestibulum is well developed in the anterior end and is narrow in the posterior one. The ventral margin shows a conspicuous sinuosity. The carapace is translucent and shows a rosette pattern of muscle scars whose shape is different to the Cyprididae family. Size: rv = 1.25 mm, lv = 1.26 mm. Height: rv = 0.66 mm, lv = 0.8 mm. (Plate II)

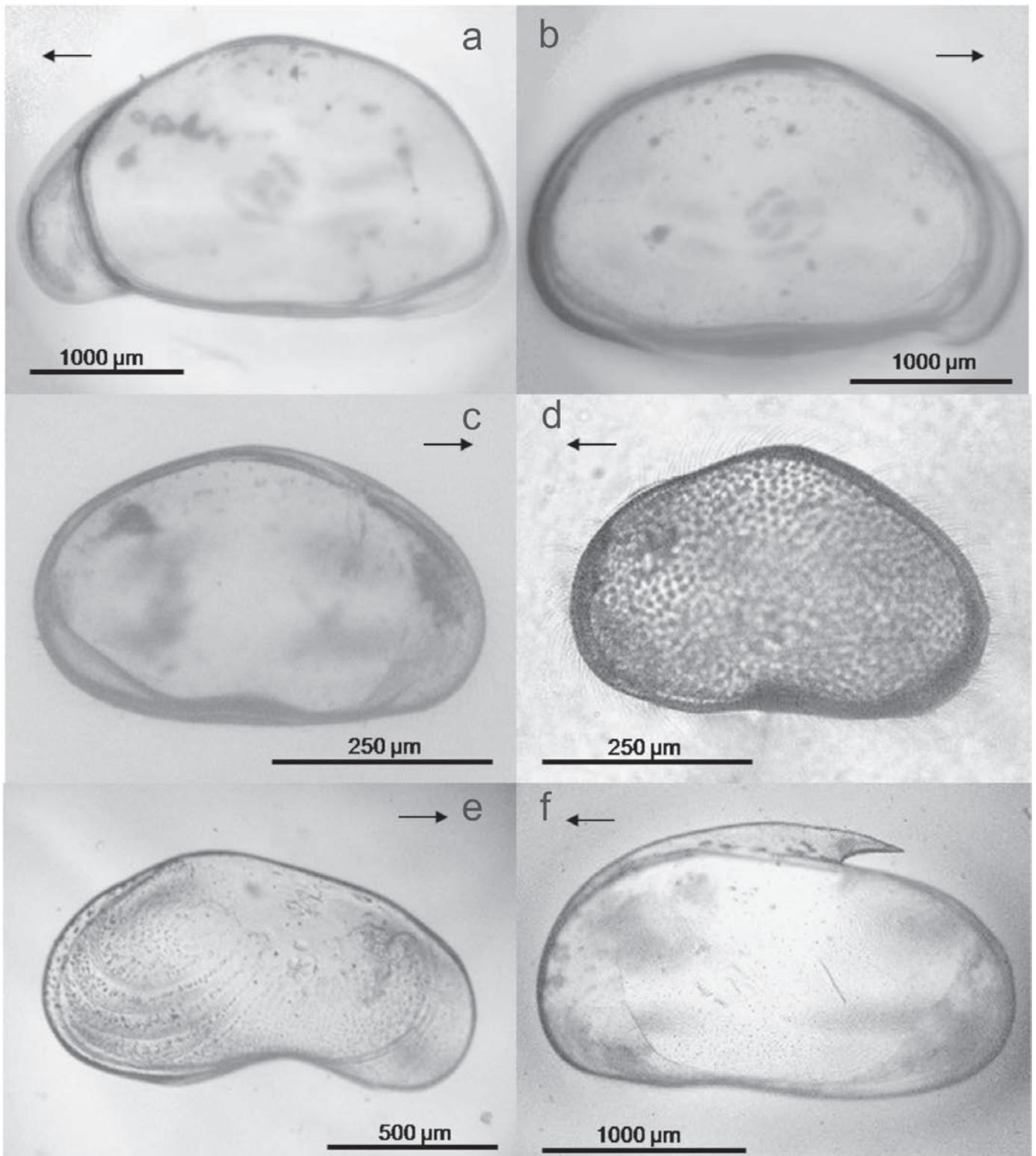


Plate I. Petrographic microscope photographs, a) *Chlamydotheca colombiensis* lv/intv, b) *Chlamydotheca colombiensis* rv/intv, c) *Cypridopsis* sp 1 lv/intv, d) *Cypridopsis vidua* rv/intv, e) *Candona* sp1 lv/intv, f) *Strandesia bicuspis* rv/intv. lv = left valve, rv = right valve, intv = internal view. Arrows indicate the anterior part.

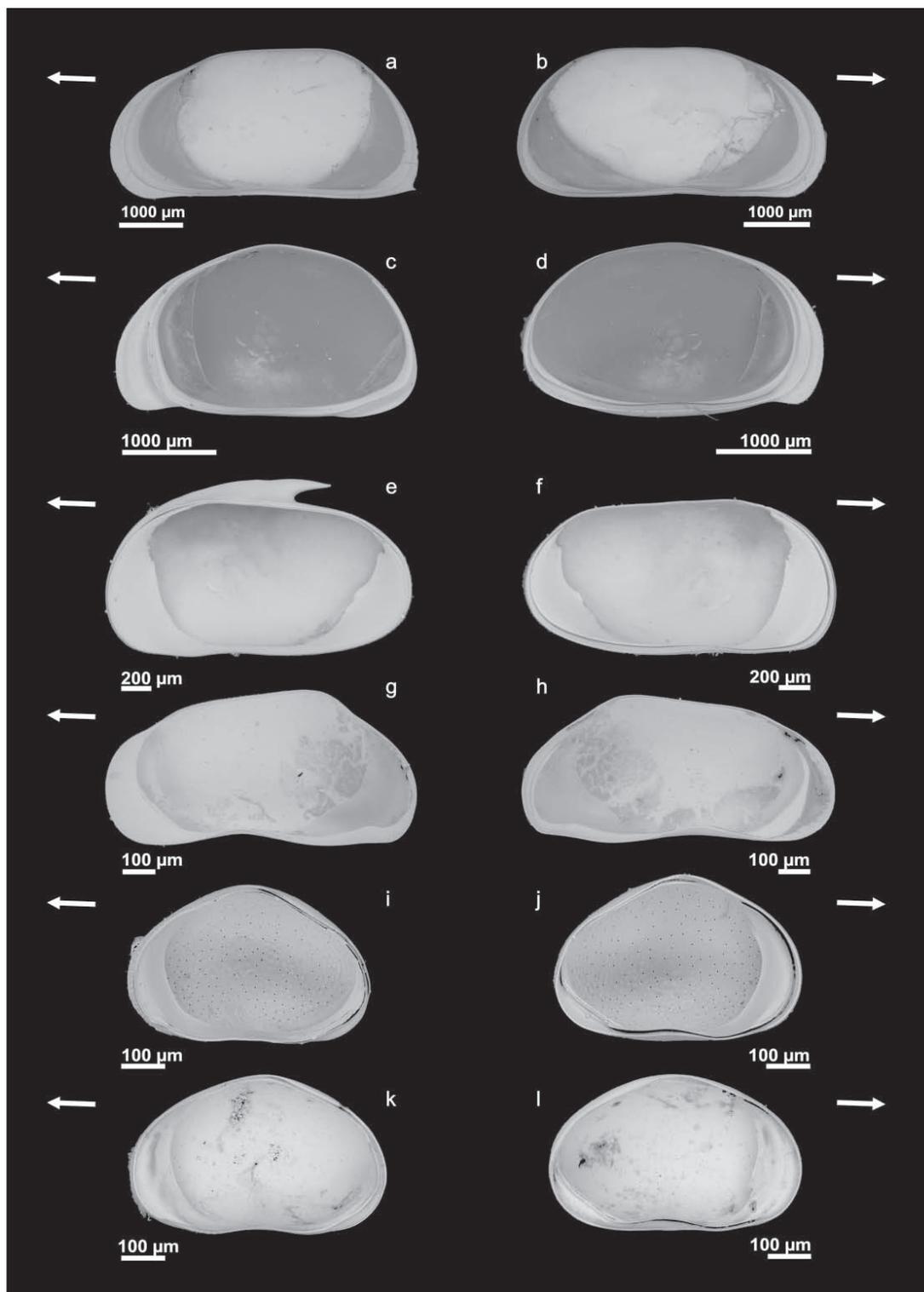


Plate II. Electron microscope photographs, a) *Chlamydotheca unispinosa* rv/intv, b) *Chlamydotheca unispinosa* lv/intv, c) *Chlamydotheca colombiensis* rv/intv, d) *Chlamydotheca colombiensis* lv/intv, e) *Strandesia bicuspis* rv/intv, f) *Strandesia bicuspis* lv/intv, g) *Candona* sp1 rv/intv, h) *Candona* sp1 lv/intv, i) *Cypridopsis vidua* rv/intv, j) *Cypridopsis vidua* lv/intv, k) *Cypridopsis* sp1 rv/intv, l) *Cypridopsis* sp1 lv/intv. rv = right valve, lv = left valve, intv = internal view. Arrows indicate the anterior part.

