

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXII

MARZO DE 1998

NUMERO 82

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Nota Editorial (Editorial).....	5	Matemáticas (Mathematics)	
Botánica (Botany)		Algunos problemas isoperimétricos.	
Redescripción del "Piscandé", <i>Pachira patinoi</i> (Dugand & Robyns)		(Some isoperimetric problems)	
Fernández-Alonso comb nov. (Bombacaceae) y notas sobre su hábitat y distribución.		<i>José F. Escobar</i>	109
(Redescription of <i>Pachira patinoi</i> [Dugand & Robyns] Fdez.-Alonso comb nov. [Bombacaceae] and notes on its habitat and distribution.)		Zoología (Zoology)	
<i>José Luís Fernández-Alonso</i>	7	New species of <i>Eleutherodactylus</i> from the Cordillera Occidental of western Colombia with a synopsis of the distributions of species in western Colombia.	
Ciencias de la Tierra (Earth Sciences)		(Nuevas especies de <i>Eleutherodactylus</i> de la Cordillera Occidental de Colombia con un resumen de la distribución de las especies del occidente de Colombia.)	
El recurso suelo en Colombia, inventario y problemática. (Soil resources in Colombia, inventory and problems)		<i>John D. Lynch</i>	117
<i>Dimas Malagón Castro</i>	13	Notas Breves (Short notes)	
Atmósfera y océano en equilibrio radiativo (Radiative equilibrium between the atmosphere and ocean)		Dying frogs in Western Colombia: Catastrophe or trivial observation?	
<i>Joaquín Pelkowski</i>	53	(Ranas muertas o moribundas en el occidente de Colombia).	
Historia de la Ciencia (History of Science)		<i>John D. Lynch & Taran Grant</i>	149
Una interesante colección etnográfica. (An interesting ethnographic collection.)		Vida Académica (Academic Life).....	153
<i>Santiago Díaz-Piedrahita</i>	69	Reseña Bibliográfica (Book review).....	159
El envío de preciosidades de América a España en el siglo XVIII. (The shipment of curiosities from America to Spain in the 18th. Century)		Constitución de la Academia	
<i>Luis Carlos Mantilla R.</i>	101	(Members of the Academy).....	161

REDESCRIPCION DEL “PISCANDÉ”, *PACHIRA PATINOI* (DUGAND & ROBYNS) FERNANDEZ-ALONSO COMB. NOV. (BOMBACACEAE) Y NOTAS SOBRE SU HABITAT Y DISTRIBUCION

por

José Luis Fernández-Alonso*

Resumen

Fernández-Alonso, J. L. (1998). Redescrpción del “Piscandé”, *Pachira patinoi* (Dugand & Robyns) Fernández-Alonso comb. nov. (Bombacaceae) y notas sobre su hábitat y distribución. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 7-12. 1998. ISSN 0370-3908

Se publica la descripción de las flores de *Bombacopsis patinoi* Dugand & Robyns, bombacácea del Pacífico nariñense, descrita solo a partir de ejemplares fructificados. Se efectua su transferencia al género *Pachira* y se comentan sus afinidades dentro del género y su distribución.

Palabras clave: Bombacaceae, *Pachira*, Taxonomía, Colombia, Sudamérica

Abstract

Flowering specimens of *Bombacopsis patinoi* Dugand & Robyns, a species known only from fruiting material, are described. The species is transfered to the genus *Pachira* and its affinities and distribution are discussed.

Key words: Bombacaceae, *Pachira*, Taxonomy, Colombia, South America.

Introducción

El “Piscandé” es un árbol de frutos comestibles, propio de la franja subandina de la vertiente pacífica del depar-

tamento de Nariño -Colombia- (**Patiño**, 1963). A pesar de ser una especie utilizada desde antiguo por las comunidades (indígenas y campesinos) del Pacífico nariñense, solo hasta la década de 1960 fué descrito botánicamente, dentro del género *Bombacopsis* y con base en la escasa información obtenida de un espécimen fructificado (**Dugand & Robyns**, 1968). Aunque los caracteres del fruto, junto con los vegetativos permitían

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

ubicarla sin lugar a dudas dentro de *Bombacopsis*, la ausencia de caracteres florales impidió asignar esta especie a alguna de las categorías infragenéricas consideradas en el género (**Robyns, 1963**).

Recientes colecciones efectuadas en la región del río Ñambí (Nariño), así como otras colecciones del último decenio en diferentes áreas de la cuenca del Río Guisa, depositadas en los Herbarios COL y PSO, permiten ahora completar la información descriptiva de esta especie, y definir su posición infragenérica.

Asimismo, se propone explícitamente, la transferencia de *Bombacopsis patinoi* al género *Pachira* Aubl., compartiendo el actual criterio de reagrupación de parte de los géneros neotropicales del complejo *Bombax* s.l., bajo la circunscripción del más antiguo, *Pachira* Aubl. (**Steyermak & Stevens, 1988; Alverson, 1994; Alverson & Steyermak, 1997; Fernández-Alonso, 1998**).

La separación de los géneros *Bombacopsis* Pitt. (incl. *Pochota* Ramirez-Goyena), *Rhodognaphalopsis* Robyns y *Pachira* Aubl. había sido definida por **Robyns (1963, 1967)**, casi exclusivamente con base en caracteres del polen y sin una clara correlación con otros caracteres macroscópicos. La actual circunscripción, permite reagrupar todas las especies de frutos grandes y semillas gruesas, antes ubicadas en géneros diferentes (*Pachira aquatica* Aubl., *Bombacopsis patinoi* Dugand & Robyns, *Bombacopsis subandina* (Dugand) Robyns, *Pochota liesneri* Steyermak, *Pachira speciosa* Tr. & Pl. y *Pachira glabra* Pasq. entre otras) bajo un solo género: *Pachira*.

***Pachira patinoi* (Dugand & Robyns) Fernández-Alonso comb. nov. figs. 1-3.**

= *Bombacopsis patinoi* Dugand & Robyns, *Mutisia* 31: 1. 1968. Typus: COLOMBIA. NARIÑO. Carrizal, margen derecha del río Guisa, carretera entre Ricaurte y Altaquer alt 500 m (?), 17 oct 1965, V. M. Patiño 269, Holótipo US, Isotipus BR (no vistos).

Descripción

Arbol de hasta 25-28 m, caducifolio, con tronco cilíndrico de hasta 50-60 cm DAP, con fuste recto y copa alta, pequeña y aparasolada; corteza clara, estriada, cuarteada; ramas patentes o péndulas. Hojas digitadas, (3) 5 folioladas; estípulas triangular-lanceoladas, agudas, de 8-14 mm de longitud, prontamente caducas. Pecíolo de (5) 8-20 (32) cm de longitud, cilíndrico, glabro, ensanchado-aplanado en la base y ligeramente dilatado en el ápice; foliolos cortamente peciolulados, articulados en

la base del pecíolulo, éste de 3-10 (15) mm. Láminas papiráceas, de hasta 24 x 14 cm, lanceoladas, por lo general el foliolo central y los 2 intermedios de mayor tamaño que los basales, estos alcanzando hasta 13 x 7 cm; limbo anchamente elíptico u obovado-elíptico, gradualmente atenuado en la base y subobtusado o brevemente acuminado en el ápice, acumen de hasta 20 mm de longitud; margen levemente ondulado (en seco), por la haz verde intenso (en vivo), glabro, ligeramente lustroso, envés glauco, no lustroso, con diminutos pelos lepidotos rojizos; nervio medio carinado en la haz, nerviación de segundo a cuarto orden, impresa; envés con nerviación ligeramente marcada, con (12) 14-18 (20) nervios laterales secundarios a cada lado. Floración generalmente simultánea con las hojas adultas, frecuentemente cuando el árbol se encuentra parcialmente defoliado; flores axilares aisladas, generalmente en las ramas jóvenes; pedicelos erectos, verdes, de hasta 1-1,5 cm de longitud; copa calicina de hasta 2,4 cm de longitud x 2,3 cm de ancho; en la base pardo-negruzca, en el ápice pardo-verdosa. Corola blanco-crema, de hasta 14 cm de longitud en el botón y de (11)12-

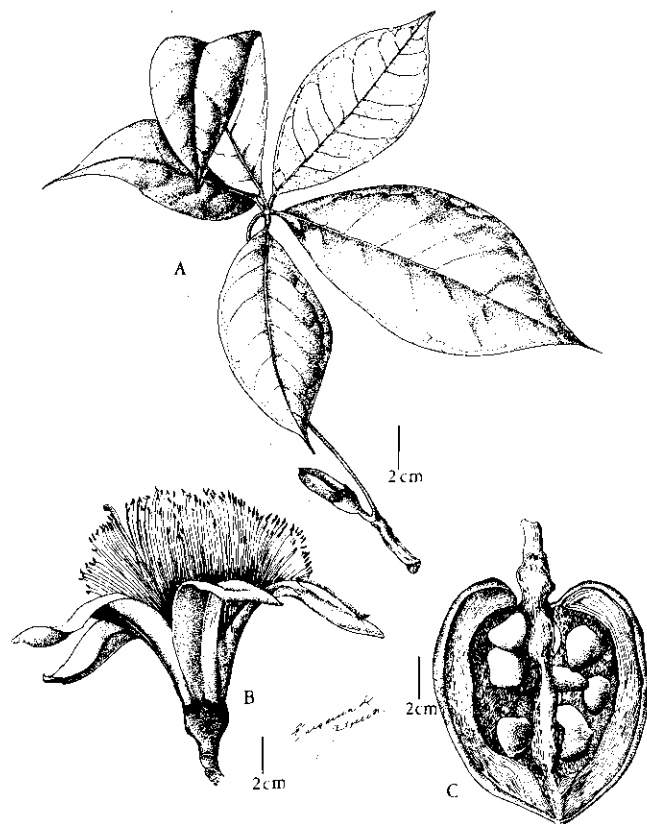


Figura 1. *Pachira patinoi* (Dugand & Robyns) Fernández-Alonso. A.- Extremo de una rama con hoja y botón floral. B.- Flor abierta. C.- Fruto abierto, corte sagital.



Figura 2. *Pachira patinoi* A. Rama defoliada con botones florales jóvenes en su posición natural. B. Botón floral completamente desarrollado antes de la antesis. C. Flor en antesis. D. Androceo completamente desarrollado, en el momento de la apertura. E. Corte sagital del fruto inmaduro. Escala, en todas las fotografías= 2 cm. (Fotografías: -A: J. Betancur; -B,-C,-D,-E.: J.L. Fernández-Alonso)



Figura 3. Fruto maduro de *Pachira patinoi*. (Fotografía Julio Betancur).

14 cm de diámetro en la antesis; 5 pétalos patente-recurvados en la floración, desde linear-oblancoeados a espatulados, de hasta 14,5 x 3,4 cm de anchura, mas anchos en el tercio distal, externamente de color crema en el tercio basal y pardo-verdoso en los 2/3 distales, en la cara interna blancos, con indumento marrón estrellado en la cara externa y marrón-pajizo en la cara interna (en seco). Androceo: estambres con filamentos de de hasta 10,5 cm de longitud, blancos o blanco-crema, soldados en tubo basal de 1,7-2 cm de longitud, fascículos primarios de c. 3 cm de longitud, filamentos libres de 5-6 cm de longitud, en número de c. 450; anteras de 2 mm de longitud x 0,9 mm de anchura, café ocre; pistilo blanco de 11-12 cm de longitud, glabro. Frutos con pedúnculo fructífero color café, de hasta 2,5 cm x 1,5 cm; cápsulas crasas, péndulas, generalmente maduras cuando el árbol está sin hoja, de hasta 15 cm x 10-13 cm de ancho, ovoide-globosas, comprimidas en el ápice y en la base, exocarpo de café-

olivaceo a verde-negruczo en la madurez, dehiscencia loculicida, con 5 valvas leñosas de 6-7 cm de ancho y 2-3 cm de espesor, exteriormente densa y diminutamente pubescentes; columna central carnosa, alada, persistente; endocarpo con lana corta y abundante, seríceo, brillante, marrón-pálida; con (27) 30-36 semillas carnosas, de (18) 20-32 mm de longitud y 14-22 mm de anchura, irregularmente comprimidas, asimétricas; hilo prominente de 6-7 mm diámetro; testa exteriormente marrón (en seco); cotiledones plegados, amarillentos. Plántula con las primeras hojas 3-5 folioladas, láminas de los foliolos largamente acuminadas.

Material revisado: COLOMBIA. NARIÑO. Mpio. de Barbacoas, Corregimiento de Altaquer, Vereda El Barro, Reserva Natural Río Ñambí, vertiente occidental de la cordillera andina, bosque pluvial premontano, bosque primario poco intervenido, margen derecha del río Ñambí, 01 ° 18' N, 78 ° 08' W., 1325 m, 4 dic 1993, N.V.: "Piscande", fruto comestible. *J. Betancur & al. 4546*, (COL- 361590); ibídem, 7 dic 1993, fl., fr. *J. Betancur & al. 4719* (COL- 361589, 361674); Municipio de Barbacoas, Coregimiento de Altaquer, Sitio El Barro, remanetes de bosque próximos a la Reserva de los Colibríes, 1200-1300 m, 8 mar 1995, *J. L. Fernández-Alonso & al. 12312*; ibídem, Reserva FELCA, Los Colibríes, zona del río Ñambí, pl. 2 m, en claros de bosque, estéril, 1300-1500 m alt, 5 oct 1997, *J. L. Fernández-Alonso & al. 14970* (COL, PSO); junto a el río Ñambí, bosque primario, pluvial premontano, arb. 10 m, 1300-1500 m alt, 5 oct 1997, fl. blancas *J. L. Fernández-Alonso & al. 14984* (COL, PSO); ibídem, bosque primario, arb. 25 m, 1300-1500 m alt, 6 oct 1997, fl. blancas caídas, fr verde-negruczo., *J. L. Fernández-Alonso & al. 14998* (COL, PSO); ibídem, Km 63 en la vía Tumaco-Túquerres, remanetes de bosque muy húmedo tropical, 50 m, 25 nov 1981, fr. *A. Gentry & al. 34914* (COL 251477); ibídem, árbol 20 m, fr., 25 nov 1981, a 50 m alt. *A. Gentry & al. 34917* (COL 251514); 7 Km antes de Ricaurte, Finca Salazar, La Planada, 1750 m alt, bosque muy húmedo premontano, 1° 8' N, 77° 58' W, Transect 1., estéril 12 cm DAP., 28 nov 1981, *A. Gentry & al. 35111* (COL 254798); ibídem Corregimiento de Altaquer, vereda Nembí, 1120 m alt., 22 feb 1968, fl. *V. M. Patiño 328* (COL, PSO); ibídem vereda Nembí, 1120 m alt., 22 feb 1968, estéril juvenil. *V. M. Patiño 328A* (COL).

Hábitat y Ecología

El rango altitudinal de las colecciones conocidas, corresponde a la zona de bosque pluvial premontano y

bosque pluvial tropical transición a muy húmedo tropical. Se trata de un árbol muy frecuente en los remanentes de bosque primario, donde forma parte de las especies del dosel junto con *Spirotheca aff. rhodostyla* (Bombacaceae), *Casearia cajambrensis* (Flacourtiaceae), *Sapium glandulosum* (Euphorbiaceae), *Wettinia castanea* (Palmae) y *Elaeagia utilis* (Rubiaceae) entre otras (Franco, Betancur & Fernández, 1997). Es también un árbol frecuente y conspicuo en la región, fuera de los bosques conservados, en linderos de potreros y bordes aclarados, donde es fácil de reconocer cuando se encuentra defoliado, por sus copas elevadas y ralas con grandes frutos colgantes.

En la Reserva de los Colibríes de Altaquer, donde es especie frecuente, presenta alta regeneración natural, encontrándose numerosos individuos jóvenes de diferentes tamaños en muchas zonas del bosque. Los frutos son frecuentemente predados por monos y ardillas.

Distribución y Fitogeografía

La distribución conocida de *Pachira patinoi*, se limita al la vertiente pacífica del de Departamento de Nariño, predominantemente en la franja subandina entre 1000 y 2000 m. Se conocen registros de la franja basal 0-1000 m, donde parece ser menos frecuente y en algunos casos proveniente de cultivo.

Es muy probable que esta especie alcance la zona limítrofe de Esmeraldas en Ecuador, región con la que comparte la presencia de un importante grupo de especies del género *Matisia*, endémicas de este sector meridional (Esmeraldas-Nariño), de la Región Biogeográfica Chocoana (Fernández-Alonso, 1996). Por otra parte, la información histórica, según señala Patiño (1963), apunta en el mismo sentido, al haberse indicado un árbol de frutos comestibles en la región de Esmeraldas con la misma denominación indígena "Piscandinol", que se traduce "fruto del Piscandé".

En lo que respecta a las especies de *Matisia* de Esmeraldas-Nariño, la mayoría de estas fueron descubiertas en el sector ecuatoriano entre los años 1940 y 1970: *Matisia longipes* Little, *M. grandifolia* Little., *M. alata* Little y *M. soegengii* Cuatr., y solo una de ellas, *M. giacomettoii* Romero, a partir de una colección de Nariño, (Little, 1948, 1970; Romero, 1970; Cuatrecasas, 1971). Sin embargo, conforme se ha intensificado la exploración de la franja tropical del departamento de Nariño, todas las especies ecuatorianas han ido paulatinamente apareciendo en los herbarios colombianos (COL, PSO, UDBC). La novedad mas reciente, *Matisia*

grandifolia Little, se colectó en 1997 en la región de Tumaco (M.S. González & B. Ramírez s.n. (PSO!).

Discusión

En el protólogo de *Bombacopsis patinoi*, se indica la cercanía de esta especie con *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns, (Subgen. *Bombacopsis* Secc. *Echinulatae*), especie presente en Brasil y en Africa tropical, pero de origen incierto debido a su cultivo como planta productora de frutos comestibles (Robyns, 1960; Dugand & Robyns, 1968). Las semejanzas se basaron esencialmente en el tamaño y la estructura del fruto, y las diferencias en el indumento y en los caracteres foliares.

Añadiendo ahora la información que suministran los caracteres florales, las diferencias con *Pachira glabra* son mucho mas marcadas (vgr. flores de 14 cm, tubo estaminal de mas de 3 cm) y las afinidades apuntan al Subgénero *Bombacopsis* Secc. *Bombacopsis* y en particular a un grupo de especies típicamente andinas, con distribución centrada en Colombia como son: *Pachira subandina* (Dugand) Fernández Alonso, *Pachira pulchra* Pl. & Lind. ex Tr. & Pl. y *Pachira dugandeanae* (A. Robyns) Fernández-Alonso (Fernández-Alonso, 1998).

La mas cercana es *P. subandina*, especie descrita de la vertiente pacífica del departamento del Valle (Dugand, 1943) y posteriormente colectada en otras zonas de los departamentos del Valle, Caldas y Huila, de acuerdo con los pliegos estudiados en el Herbario Nacional Colombiano. Esta especie se diferencia de *P. patinoi* por sus copas calicinas mas anchas, de 3-3,5 cm, estambres mas numerosos (c. 1000), cápsulas atenuadas en la base y apiculadas y valvas mas estrechas, de 3-4,5 cm de anchura.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a las entidades que hicieron posibles las recientes colecciones de aquí estudiadas: COLCIENCIAS (Proyecto cod. 1101-05-015-92), INDERENA (Contrato con I.C.N.: Caracterización de la Flora y Fauna del río Guisa) e Instituto de Ciencias Naturales (Campo: Reunión de la Organización Flora Neotrópica). A Martha Sofía González y a Bernardo Ramírez del Herbario PSO su colaboración en las visitas efectuadas a la región. A la Fundación Ecológica Los Colibríes de Altaquer (FELCA), por todo el apoyo logístico, durante la visita a la Reserva. A Julio Betancur, quién tomó dos de las fotografías que aparecen en este artículo. A Eugenia Rico de Brieva autora de la iconografía.

Bibliografía

- Alverson, W.** 1994. New species and combinations of *Catostemma* and *Pachira* (Bombacaceae) from the Venezuelan Guayana. *Novon* 4: 3-8.
- Alverson, W. & J. A. Steyermark.** 1997. Bombacaceae. pp. 496-527. In: Berry, P.E., Holst, B.K. & K. Yatskievych (eds.) *Flora of the Venezuelan Guayana, Vol 3 (Araliaceae-Cactaceae)*. Missouri Bot. Gard. St. Louis.
- Cuatrecasas, J.** 1971. Miscellaneous notes on neotropical flora. *Phytologia* 20(8): 465-481.
- Dugand, A.** 1943. Noticias botánicas colombianas II. *Caldasia* 2(8): 285-299.
- Dugand, A. & A. Robyns.** 1968. Una interesante adición a las bombacáceas de Colombia. *Mutisia* 31: 1-4.
- Fernández-Alonso, J.L.** 1996. Contribuciones al conocimiento del género *Phragmothea* Cuatr. (Bombacaceae- Quararibeeae). *Caldasia* 18(3): 253-284.
- Fernández-Alonso, J.L.** 1998. Novedades taxonómicas, corológicas y nomenclaturales en el género *Pachira* Aubl. (Bombacaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid* 56 (En prensa).
- Franco, P., Betancur, J. & J.L. Fernández-Alonso.** 1997. Diversidad florística en dos bosques subandinos del Sur de Colombia. *Caldasia* 19(1-2): 205-234.
- Little, E. L. Jr.** 1948. New species of trees from Western Ecuador. *J. Wash. Acad. Sci.* 38(3): 87-105.
- Little, E. L. Jr.** 1970. New tree species from Esmeraldas, Ecuador. *Phytologia* 19(4): 251-269.
- Patiño, V. M.** 1963. Plantas cultivadas y animales domésticos en América Equinoccial. ed. 1., Tomo I. (frutales). Impr. Depart. Cali.
- Robyns, A.** 1960. Contribution a l'étude monographique du genre *Bombax* s.l. I. *B. glabrum* (Pasq.) Robyns comb. nov. *Bull. Jard. Bot. Etat* 30: 473-484.
- Robyns, A.** 1963. Essai de monographie du genre *Bombax* s.l. (Bombacaceae). *Bull. Jard. Bot. Etat* 33(1-2): 1-316.
- Robyns, A.** 1967. Bombacaceae. Pp. 190-201 in B. Maguire & al. (eds.) *The Botany of the Guyana Highland, part. 7. Mem. New York Bot. Gard.* 17: 190-201.
- Romero Castañeda, R.** 1970. Apuntes botánicos III. *Mutisia* 33: 1-20.
- Steyermark, J. A. & D. Stevens.** 1988. Notes on *Rhodognaphalopsis* and *Bombacopsis* (Bombacaceae) in the Guyanas. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 75: 396-398.

EL RECURSO SUELO EN COLOMBIA - Inventario y Problemática -

por

Dimas Malagón Castro (*)

Resumen

Malagón Castro, D.: El recurso suelo en Colombia -Inventario y Problemática-. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 13-52. 1998. ISSN 0370-3908.

El Recurso Suelo ha sido inventariado en el país a través de los Levantamientos de Suelos, realizados durante cinco décadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

La naturaleza holística de los Levantamientos de Suelos, al integrar aspectos geomorfológicos, petrográficos-sedimentológicos, climáticos, pedológicos y de cobertura y uso actual permite caracterizar las tierras del país y utilizar clasificaciones técnicas con el fin de establecer sus capacidades, potencialidades, limitaciones, conflictos de uso y sostenibilidad.

En el artículo se describe el contexto histórico de esta disciplina en Colombia, así como su marco actual de referencia (conocimiento del recurso y sus aplicaciones), la problemática nacional del recurso (sus diferentes causas y consecuencias) y su prospectiva de desarrollo, tanto a nivel mundial como nacional.

Palabras claves: Recurso Suelo, Colombia, degradación, inventario, uso, conflictos, prospectiva.

Abstract

Soil Survey studies as performed in Colombia, synthetize geographical knowledge both of the Natural Resource and the land as such. This hollistic approach integrates geomorphology, climate, petrography-sedimentology, soils, land cover and land use. The Colombian Geographic Institute has performed these studies for the last five decades.

This article initially summarizes the historical development of colombian soil survey, continues with the colombian soil resource knowledge and its application through land interpretative classifications, land use conflicts, soil degradation aspects and colombian land zonifications. The final discussion emphasize soil survey issues and perspective.

Key words: Colombian Soil Resource, Colombia, Soil degradation, Soil survey, land use conflicts, soil surveys, prospective.

* Subdirector. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Carrera 30 48-51. Santa Fe de Bogotá
Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Bogotá

Introducción

Hace 40 años Pérez Arbeláez, mi profesor en la cátedra de Recursos Naturales de Colombia, escribió en su introducción a la obra del mismo nombre: "Los diez y seis hombres que navegaban en "La Pinta" dormían todavía entre el cansancio y la desesperanza y la civilización velaba augural sobre el piélago interminable, cuando el vigía, disipadas las dudas del amanecer, de las nubes, del mar y de sus propias pupilas, lanzó un grito de "Tierra". Nuevo mundo para la humanidad, suelo para mil cultivos, pan para millones de menesterosos, actividad para infinitos brazos. ! Voz de Rodrigo de Triana!" (Pérez Arbeláez, 1959, página 7).

Cómo son, dónde están y en qué estado se encuentran estos "suelos"? Qué ha pasado con el pan para los menesterosos? Con la "actividad para infinitos brazos"? Hemos hecho realidad estas expectativas? Algunas respuestas a estos interrogantes constituyen el tema de esta presentación.

Los trabajos asociados con el inventario, levantamiento de suelos, en el país están en su sexta década de actividades (IGAC, 1983, 1989). Ellos se relacionan con el desarrollo de la pedología (pedos: Gr. suelo), tanto mundial como nacional, y con el del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en particular, dado que allí se iniciaron y se han continuado ininterrumpidamente. Lo que a continuación se presenta, en consecuencia, rinde tributo y tiene el sello institucional de la Entidad, en cuyo seno se originaron, evolucionaron tecnológicamente y han llegado al estado actual en que se encuentran.

Su razón de ser en esta Institución se debe a un doble objetivo, en primer lugar a conformar parte del conocimiento de la Geografía Física del país y, en segundo, a su vinculación con el Catastro rural nacional, una de sus aplicaciones en Colombia. Todo ello es afortunado puesto que en el Instituto Geográfico se genera la cartografía del país, documento básico para la representación temática de estos estudios y, asociados a la misma, la mayor experiencia en Colombia en cuanto a la interpretación de imágenes de sensores remotos, base sobre la cual se adelantan estos trabajos. Su estudio e investigación, por parte del CIAF (Centro de Investigación en Percepción Remota), permite capacitar a los reconocedores de suelos en estos temas y, en los más recientes, de los sistemas de información georeferenciados y del **seguimiento** de la calidad de los recursos, a través de la interpretación de imágenes de percepción remota.

El concepto **suelo** hace referencia a la colección de cuerpos naturales en la superficie de la corteza terrestre, con vida o capaz de tenerla, resultante de la acción de eventos simples o complejos (llamados **procesos de formación**) generados por la acción de factores, externos a él, dentro de los cuales se destacan el **clima** y los **organismos**, los cuales al actuar sobre los materiales **geológicos** los transforman en función del **tiempo** de actuación. Los suelos, en consecuencia, no pueden **explicarse** ni **entenderse** independientemente del ambiente en que se forman ni de las dimensiones temporal y espacial.

La **tierra** es un concepto más amplio ya que integra tanto los suelos como su contexto biofísico global; éste se expresa en las **leyendas** que acompañan los Levantamientos de Suelos.

El levantamiento de **suelos** o, en otras palabras, el inventario de **tierras** tiene por objetivo conocer su distribución espacial, es decir su geografía, a diferentes niveles de detalle, de acuerdo con los propósitos buscados y el nivel jerárquico taxonómico de su clasificación.

Esta diferencia es importante de ser resaltada dado que desde el punto de vista práctico, aplicaciones de los levantamientos, tanto las evaluaciones, predicciones, normas de manejo e interpretaciones varias, como las zonificaciones biofísicas y ambientales, cuya finalidad es el manejo integrado del recurso, se llevan a cabo en relación con las tierras; ambos aspectos se consideran en esta presentación. El tema seleccionado, al cual se circunscribe, es el del conocimiento de los suelos y de las tierras del país mediante su levantamiento a diferentes niveles de detalle (escalas). No incluye, en consecuencia, la discusión sobre el estado actual de las diferentes subdisciplinas que conforman la así llamada Ciencia del Suelo, vale decir por ejemplo, química, física, biología, fertilidad, etc. Otras, íntimamente relacionadas con el tema tratado (génesis y taxonomía de suelos) o que ayudan a entenderlo (climatología, geomorfología, geología, biología) y a explicar su distribución geográfica, se comentan conjuntamente con el tema central, ya que lo sustentan, explican y permiten su aplicación práctica.

Dado que el **conocimiento de los suelos, a través de los Levantamientos**, se constituye en la **expresión** fundamental del Recurso, a partir de la cual se derivan, fundamentan y tienen explicación y aplicación las subdisciplinas temáticas, la interpretación y extrapolación de resultados investigativos y la transferencia agrotécnológica, éste se establece como el **objetivo primario** de esta presentación y define su alcance. La estructura

de la misma está apoyada en la experiencia obtenida en la dirección del programa de Reconocimiento de Suelos de Colombia, durante casi tres lustros, en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. El **objetivo derivado** radica en comentar la **problemática del Recurso**, haciendo intervenir la dinámica antrópica.

El **desarrollo** de la presentación parte del **contexto histórico** mundial y nacional sobre el tema, analiza y establece el marco de referencia actual sobre el **conocimiento** del Recurso Suelo y de las **aplicaciones** derivadas de éste; y, concluye, con la **problemática** del Recurso y su **prospectiva**.

Contexto histórico

El contexto histórico que se presenta a continuación hace referencia al desarrollo de la pedología a nivel mundial y, dentro de éste, al colombiano en particular.

Mundial

La Pedología no es una ciencia fundamental como la física, la química o la matemática; constituye una disciplina relacionada con el suelo como colección de cuerpos naturales presentes en la superficie de la corteza terrestre, con vida o capaz de sustentarla, producto de la interacción de factores y procesos que definen su origen, evolución, morfología, taxonomía y cartografía (distribución geográfica o espacial).

Su origen se remonta y centraliza en Dokuchaiev (1846-1903) quien, a través de sus investigaciones geológicas en la Universidad de San Petersburgo, tuvo la oportunidad de realizar en 1878 un estudio geomorfológico sobre los "Procesos de Formación de los Valles en la Rusia Europea" y con él interesarse en las tierras asociadas con ellos. La sequía que se presentó en el sur de Rusia entre 1873 y 1875 constituyó la oportunidad para conformar una comisión de estudio sobre las tierras negras (Chernozem) bajo la dirección de dos investigadores, uno de ellos Dokuchaiev.

En 1883 y como un resultado de lo anterior se publica el libro "El Chernozem Ruso", símbolo del comienzo de la Pedología, como piedra angular de la disciplina de los suelos, al definirse éstos como "cuerpos naturales", es decir como cuerpos independientes en la naturaleza, formados mediante procesos específicos, con morfología propia y susceptibles de ser clasificados taxonómicamente.

Actualmente, para algunos investigadores (FitzPatrick, 1997), surge la duda si un "continuo" (colección de

cuerpos naturales), característica geográfica de muchos suelos, al igual que la influencia de varios materiales que los generan, permite establecer taxonomías jerárquicas. Para otros, entre ellos Haskett (1995), este "continuo" de percepción debe ser partido y organizado en piezas integrables, función llevada a cabo por el lenguaje; éste crea las categorías de percepción y, en este sentido, la realidad literalmente estaría formada por nuestro lenguaje.

El **desarrollo** posterior de las ideas de Dokuchaiev y sus discípulos, a nivel mundial, de acuerdo con **Simmonson** (1985 a 1985a), se presenta resumido en la Figura 1 (IGAC, 1995). No obstante que el objetivo del presente estudio se centraliza en Colombia, de ninguna manera puede, para su entendimiento, desligarse del desarrollo histórico de la disciplina como tal. Un hecho que debe resaltarse es la "correspondencia", similaridad e influencia de las clasificaciones taxonómicas entre la Escuela Rusa, establecida por Dokuchaiev y sus discípulos, y la Norteamericana, a través de Marbut (1863-1935), científico norteamericano que impulsó y aplicó en los Estados Unidos las ideas pedológicas rusas y quien es considerado el mayor inspirador de la ciencia del suelo en América.

Posterior a la muerte de Marbut, causada por pulmonía al viajar en el tren transiberiano hacia China, con el fin de organizar allí el programa de reconocimiento de suelos, lo sucede Kellogg quien junto con Baldwin y Thorp modifican el sistema de Marbut, tres años después de su publicación; este sistema se utilizó en la década siguiente (**Simmonson**, 1985), hasta que en la Conferencia Anual de Suelos, en 1950, se recomendó su revisión total, con lo cual empezó a gestarse el sistema actual: Soil Taxonomy (**Soil Survey Staff**, 1975), mediante aproximaciones sucesivas, de las cuales la más famosa fue la Séptima.

Nacional

En Colombia el hilo histórico mundial continúa y se asocia con la creación, en el Instituto Geográfico Militar y Catastral, en 1940, de la primera oficina de suelos encargada de establecer un sistema de clasificación y valoración de tierras con fines catastrales. En palabras de **Lafaurie Acosta** (1944), quien en nuestra opinión representa el Marbut colombiano, "cuando en mayo de 1941 llegué al Instituto (Geográfico Militar y Catastral), se me suministró una carpeta que contenía los intentos hechos hasta ese momento para darle al Instituto un Sistema de Clasificación y Valoración de Tierras con fines Catastrales" en las páginas 979-1001 de Soil and Men

(1938), presentan Baldwin, Kellogg y Thorp, bajo el título de "Soil Classification" (Grandes Grupos) lo que yo (Lafaurie, 1944), he seguido en Colombia". Queda establecido, de esta manera, que fue Lafaurie quien organizó, definió y aplicó el Sistema de Clasificación anotado para ser utilizado en el país; de esta forma la relación de ideas presentes en la Figura 1 se continúa, para la época, con las expresadas en la primera parte de la Figura 2.

De acuerdo con Lafaurie (s.f.), "el primer trabajo en Colombia sobre Sistemática de Suelos se inició en el municipio de Cota, Cundinamarca el 2 de mayo de 1941, donde se encontraron 3 series"

Hechos a resaltar, al interior de la Figura 2, son los siguientes:

- a. La venida al país de asesores científicos y norteamericanos, entre ellos Storie en 1944, y Jenny en 1948, 1949, 1950, suscitándose, con el primero, controversias sobre la clasificación taxonómica de los suelos y su aplicación práctica y, con Jenny, la descripción de los Grandes Grupos de Suelos en las Regiones Ecuatoriales de Colombia y la comparación de los contenidos de M. O. y Nitrógeno total en suelos del trópico americano con aquellos de la zona templada (Jenny et al, 1961).

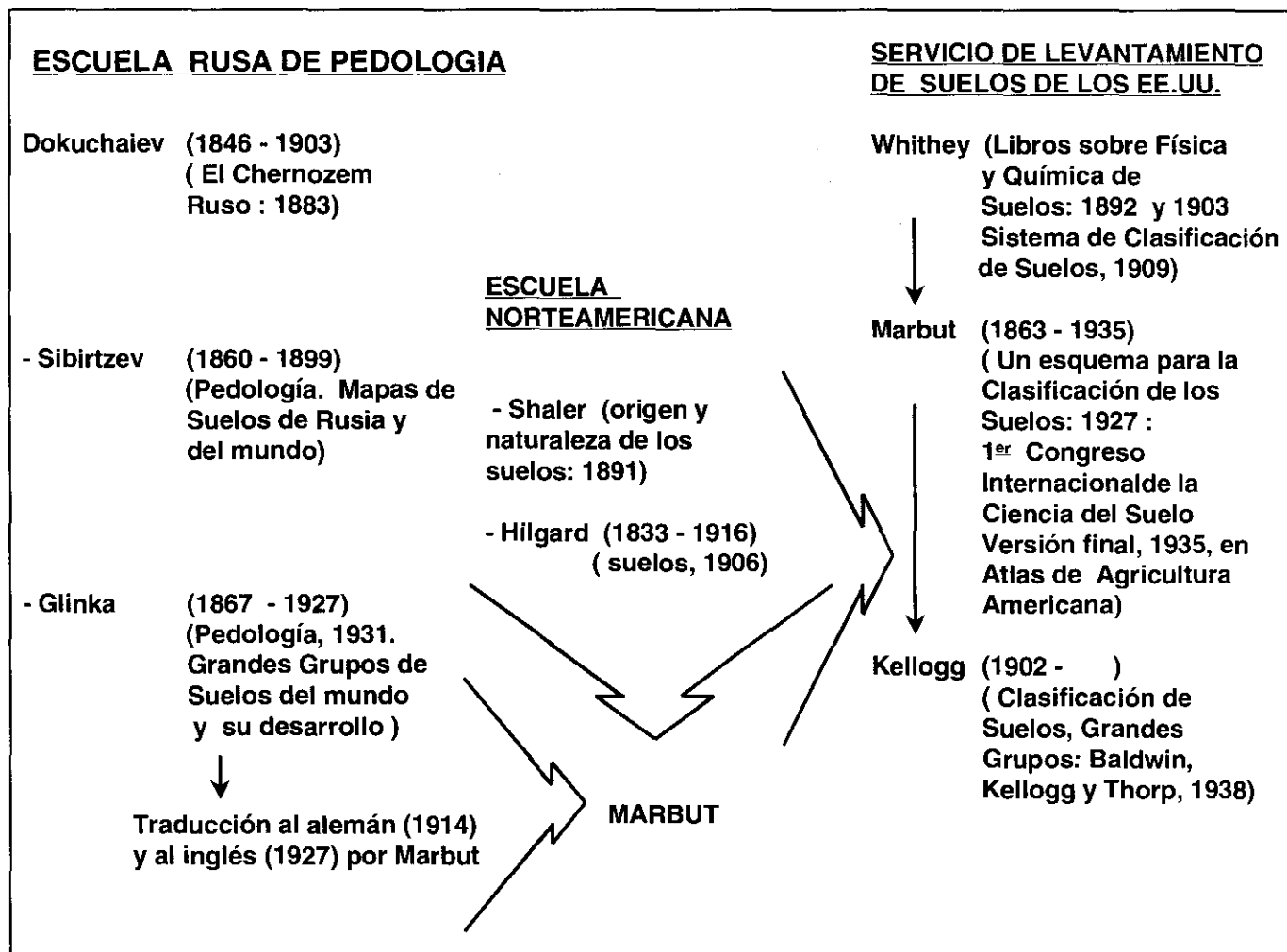


Figura 1. La Escuela Rusa de Pedología, sus exponentes y la proyección de sus conceptos a Norteamérica (IGAC, 1995).

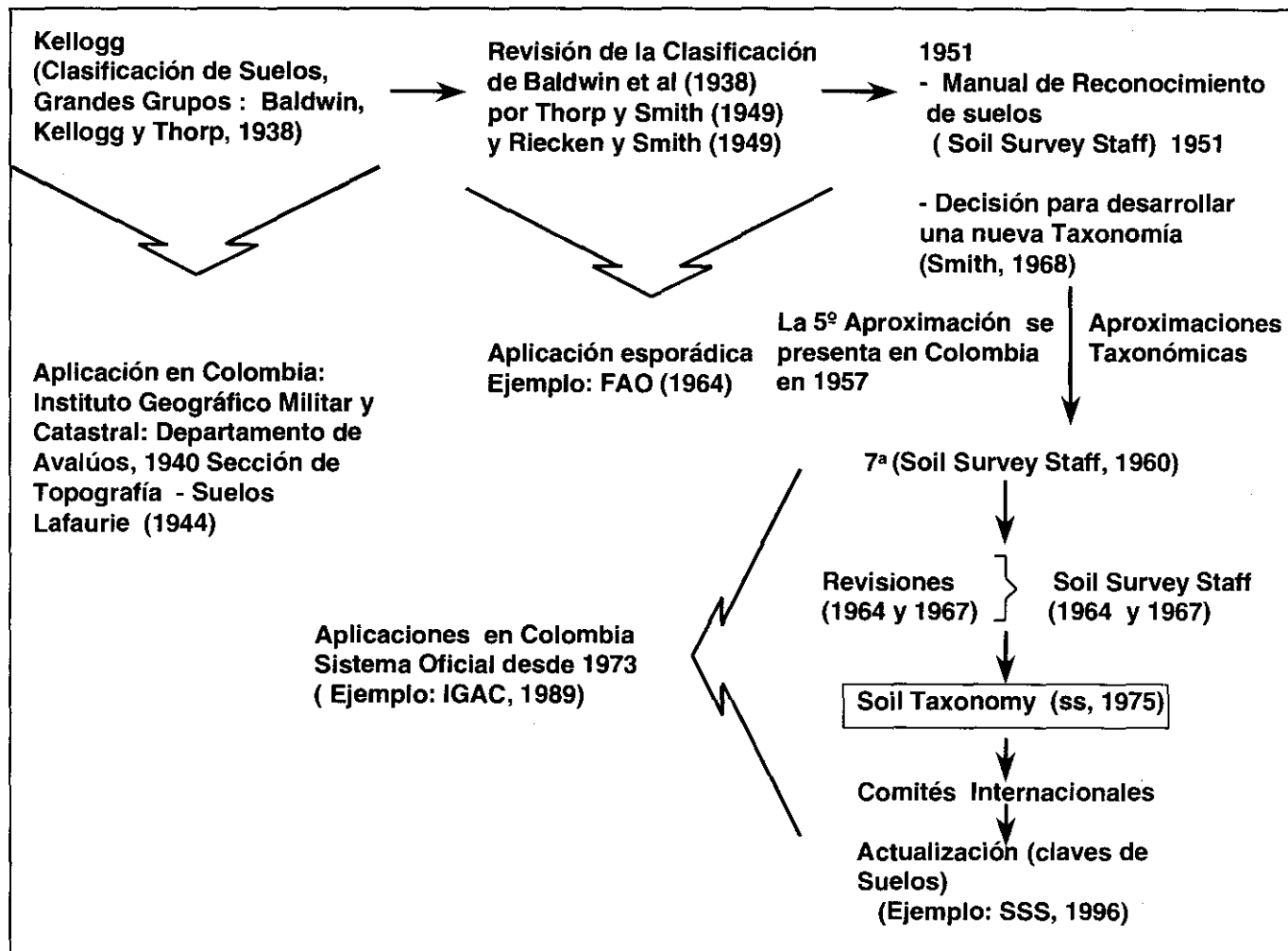


Figura 2. Desarrollo de conceptos sobre Taxonomía de Suelos y sus Aplicaciones en Colombia.

b. En la **década de los años 50** la publicación del Soil Survey Manual (Soil Survey Staff, 1951) en los Estados Unidos, relacionada con la definición de términos, normas y especificaciones para adelantar los Levantamientos de Suelos, marca un hito fundamental para llevar a cabo las labores del Inventario de Tierras en el país; su aplicación en Colombia empieza en esta década.

En estos años se iniciaron las publicaciones sobre Levantamientos de Suelos en el país, la primera de ellas "Estudio de Suelos del Distrito de Irrigación del Río Coello" (1954) recibió el premio Alejandro Angel Escobar.

c. **Del Llano** propone la Clasificación Filogenética y Ecológica de los Suelos del Mundo, presentada en la Sexta Conferencia Internacional de Suelos reunida en París en 1956 y **Shaufelberger** publica en 1944, 1955 y complementa en 1962 un sistema para la clasificación de los suelos de Colombia.

d. Al iniciarse la **década de los años sesenta** la publicación de la Séptima Aproximación determina un cambio profundo en los Levantamientos de Suelos, ya que la cartografía de los mismos parte de su conocimiento estructurado ajustado a una taxonomía jerárquica. La aplicación de dicha taxonomía se dió en forma paulatina durante esta década y sólo en la

siguiente se estableció con carácter "oficial" en el país.

A partir de 1968 los estudios de suelos presentan la clasificación de tierras de acuerdo con su capacidad de uso, originalmente propuesta por **Klingebiel y Montgomery** (1961), adaptada a las condiciones colombianas por el **IGAC** (1973, 1975, 1986, 1991, 1994 y 1996).

- e. En la época de los años **setenta y hasta nuestros días** los Levantamientos de Suelos alcanzan su mayor expresión, tanto en calidad como en número de realizaciones. Hechos notables son los siguientes:
- En la década de los años setenta se evolucionó de estudios descriptivos a **descriptivos-interpretativos**. El avance del conocimiento permitió superar esta barrera; con ello el país y los usuarios de los mismos tuvieron la posibilidad de tener acceso fácil a esta información y de aplicarla a múltiples campos (ing. agrícola, civil, sanitaria, etc.)
 - En las últimas dos décadas la tendencia marcada en el punto anterior se complementa con estudios de **síntesis del medio biofísico**, derivados del conocimiento inherente a los Levantamientos de Suelos. Ello permite trascender lo descriptivo-interpretativo hacia la constitución de **unidades cartográficas de tierras** que integran la información propia de los Levantamientos de Suelos con aquella de cobertura vegetal, uso de la tierra y amenazas naturales, con lo cual se apoyan procesos de planificación y ordenamiento del territorio; lo anterior es factible de realizarse dado que la información no se presenta en forma temática (suelos) sino integrada en un **contexto ambiental**.
 - A partir de los levantamientos de suelos y, estrechamente relacionados con ellos, sea por los problemas detectados al realizarlos, por las interpretaciones que de ellos se hacen o por la necesidad de aplicarlos a disciplinas íntimamente asociadas con los mismos, se ha hecho necesario el estudio, caracterización e inventario de **recursos naturales asociados al Recurso Suelo** o que forman parte de su problemática, entre ellos se destacan, por vía de ejemplo, los Mapas de Zonificación Agroecológica (**IGAC, ICA, 1985**), de Bosques (**IGAC-INDERENA, 1984**), de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso (**IGAC, 1975, 1986, 1991, 1996**), de Uso Actual de las Tierras de Colombia (**IGAC-ICA, 1987**), de Zonas de Vida (**IGAC, 1977**), los Programas de Inves-

tigación en la Orinoquia (Vichada), (**IGAC, 1986**), en el Darién (Pacífico), (**IGAC, 1980**) y en la Amazonia Colombiana tendientes a su inventario global (**IGAC, CIAF, CONIF, 1979**) y, al estudio de Aspectos Ambientales para el Ordenamiento Territorial en los departamentos de Caquetá (**IGAC, 1993**), Vaupés (**IGAC, 1996**) y Amazonas (**IGAC, 1997**).

- El Museo de Suelos colombianos, con sede en el IGAC, y desarrollado en las últimas tres décadas, muestra la distribución del Recurso en el país, a través de sus regiones naturales, presentado en cada una de ellas los factores ambientales (clima, geología, uso de la tierra, hombre) que definen y explican su potencialidad y limitaciones (**IGAC, 1990a**).
- Los laboratorios de suelos en el país han evolucionado paulatinamente siguiendo, en general, el desarrollo nacional de la ciencia del suelo, su apoyo a las labores del inventario de suelos ha sido imprescindible para llegar al estado actual de conocimiento.

Marco actual de referencia

Los aspectos que a continuación se enuncian y comentan, en forma resumida, hacen referencia al **conocimiento** del Recurso Suelo, mediante los Levantamientos del mismo, y a su **aplicación** en Colombia.

Conocimiento del Recurso

Introducción

El Recurso Suelo, entendido como la **colección** de estos **cuerpos naturales** en el paisaje, se origina y evoluciona como consecuencia de la acción de factores **bioclimáticos** (clima y sus organismos asociados) al actuar sobre **materiales geológicos** (rocas o formaciones superficiales: sedimentos o productos de alteración) presentes en las diferentes geofomas (formas de la tierra en la superficie de la corteza), obviamente influenciados por el **tiempo** de actuación. Ello determina horizontes que permiten su clasificación y, mediante ésta, su representación cartográfica (Figura 3).

La **evolución** de los suelos puede sucederse por efecto de un mismo clima, con sus organismos asociados, que actúa sobre un material parental (**monogénesis**) o estar supeditada a cambios en éstos (**poligénesis**); a su vez, puede ser **progresiva** (tendiente al climax pedológico) o **regresiva** (generalmente por efecto de erosión o aporte de nuevos materiales).

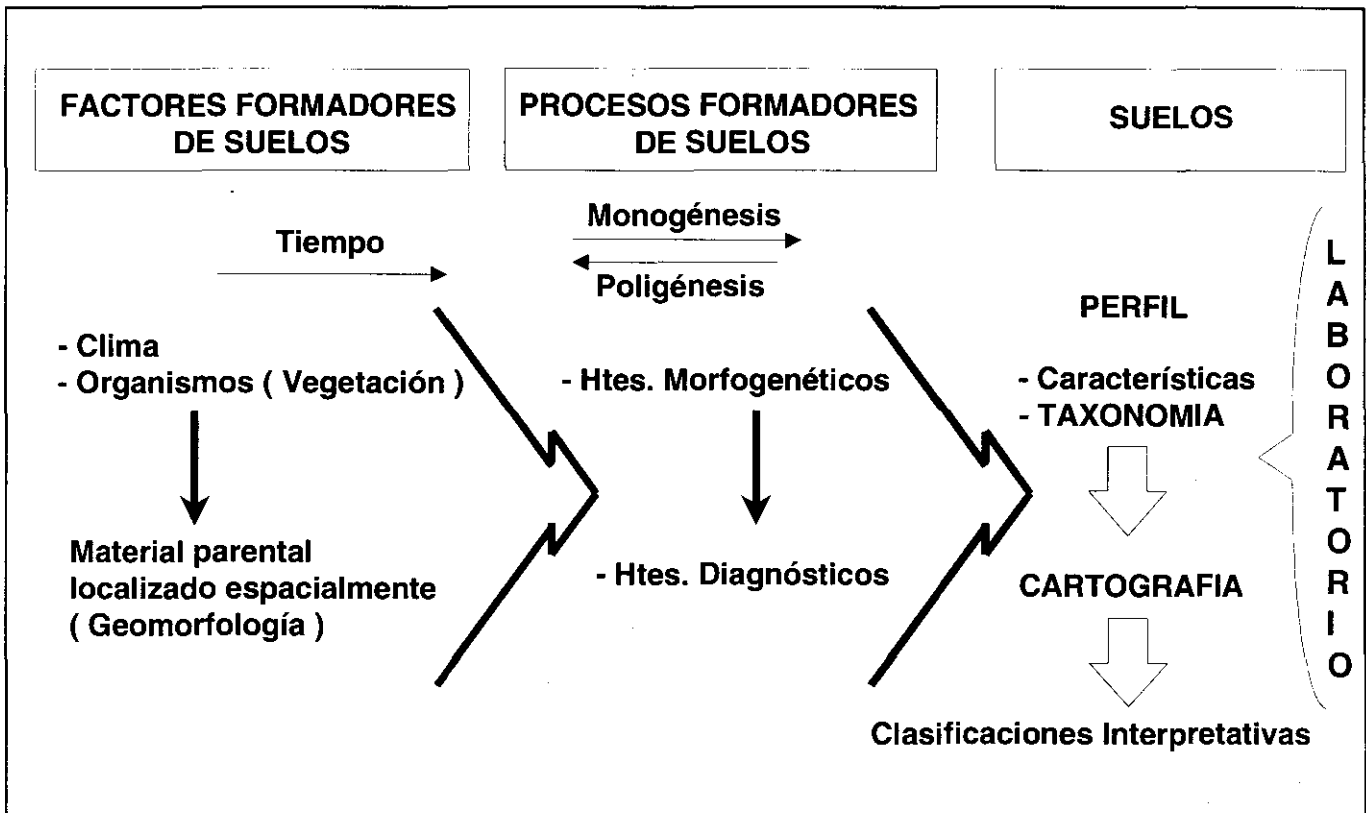


Figura 3. Origen y evolución del Recurso Suelo; secuencias inductivas (poligénesis) o deductivas (monogénesis)

Génesis y Evolución de Suelos

Durante la *génesis y evolución* los **materiales** originales se van **transformando** (meteorizando, mineralizando, humificando) de acuerdo con las condiciones bioclimáticas imperantes y su susceptibilidad inherente, ciertas partículas o sustancias cambian de posición (**translocan**) al interior del suelo y algunas de ellas, elementos y compuestos, se **pierden**, de acuerdo con su solubilidad o mediante procesos erosivos, o **permanecen** (si son poco solubles o si no hay agua para movilizarlos). Partículas minerales (sedimentos, cenizas volcánicas) o compuestos orgánicos (residuos de plantas y organismos) pueden **adicionarse** e integrarse al suelo.

Todos estos eventos, sencillos o complejos, conducen a **diferenciar** los materiales subyacentes, **originar** los horizontes (zonas de espesor variable donde es mayor la manifestación de su actuación) y **generar el suelo**: son los llamados **procesos generales** de **formación** de los **suelos** (Figura 4).

Los horizontes y perfiles de los suelos

Los **horizontes**, así entendidos, tienen una causa u origen (**génesis**) y una **morfología** (formas y características), por ello se denominan **morfogénéticos** y se definen mediante una **nomenclatura** que indica el (los) **tipo (s) de evento (s)** predominante (s) (Horizontes Maestros, ejemplo O: acumulación de materiales orgánicos, A: mezcla orgánico-mineral, en la superficie; B: transformación a suelo del material parental o acumulación, iluviación, de materiales translocados, etc.) y la **clase** o causa adicional que los **tipifica** (ejemplo: t: iluviación de arcillas, h: de humus, s: de sesquióxidos; v: plintita, etc.).

La unión de letras mayúsculas (horizontes maestros) y minúsculas (características subordinadas de ellos) expresa la **opinión** sobre la evolución de quien **describe** la **entidad básica** (**perfil**, si bidimensional, **pedón**, si ridimensional); es decir **sintetiza** su **evolución** de manera **cualitativa**. Cuando interviene la **cuantificación**, ya sea por

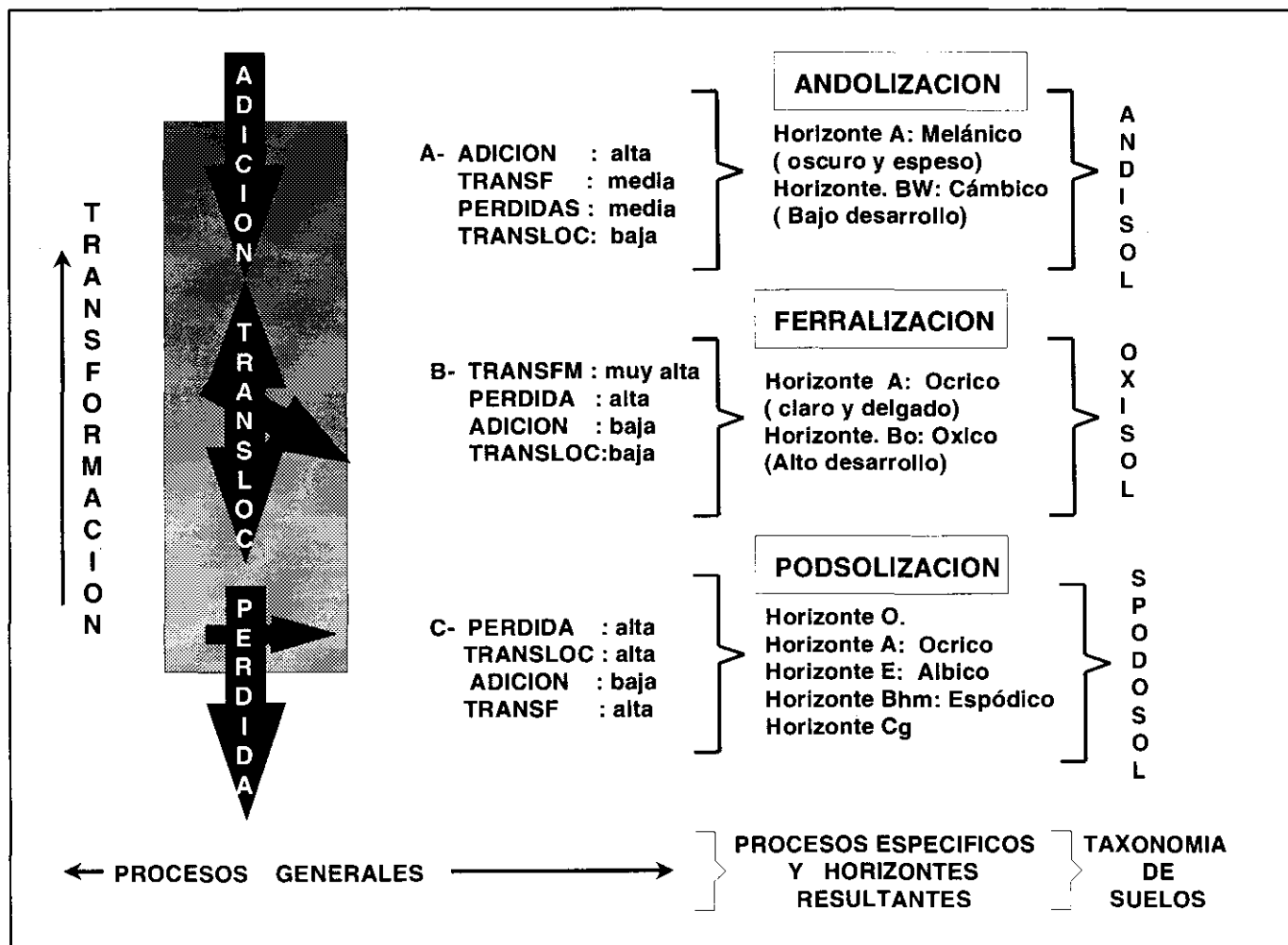


Figura 4. Procesos generales y específicos de formación de suelos, horizontes morfo genéticos, diagnósticos y suelos resultantes. Ejemplo de aplicación en la Zona Cafetera Central (A), en la Altillanura de los Llanos Orientales (B) y en las arenas blancas (caatingas) Vaupés, Amazonia (C).

información de **laboratorio** (física, química, mineralógica, micromorfológica) o de **campo** (espesor, color mediante códigos universales, estructura, consistencia, etc) los horizontes **morfo genéticos** pasan a constituir los horizontes **diagnósticos**, es decir aquellos que **diagnostican** la **taxonomía** de los suelos; se establece, así, el **nexo génesis-evolución-taxonomía de suelos**.

Los horizontes **diagnósticos** se subdividen en **Epipedones**, localizados en la parte superior del suelo y **Endopedones**, es decir los que caracterizan su parte inferior. Como ejemplos de ellos pueden mencionarse, para los primeros, el **Mólico** (L. mollis, blando) característico de suelos fértiles condiciones físicas favorables y alta producción. Cuando todo ello es similar, pero su fertilidad es baja, generalmente asociada con acidez y de lo que de

ella se deriva (lavado de nutrientes, posibilidad de toxicidad de aluminio) se establece el horizonte **Umbrico** (L. umbra; sombra). Si en los horizontes mencionados el contenido de fósforo es muy alto, se connota como **Antrópico** (Gr. anthropikos, humano).

Si la abundancia de materiales orgánicos excede límites preestablecidos de carbón orgánico, el horizonte se define como **Hístico** (Gr. histos, tejido) y si no cumple con estas características y generalmente es poco espeso y bajo en materiales orgánicos se designa como **Ocrico** (Gr. ochros, pálido).

Dentro de los **Endopedones** se destaca el **Cámbico** (L. cambiare, cambio) asociado a etapas incipientes de evolución (cambio de roca a suelo pero con más

características de éste que de aquella); el **Oxico** (Fr. oxyde, óxido), en el que se concentran in situ oxihidróxidos (Fe y/o Al) asociados con procesos de máxima evolución (transformación y lavado), el **Argílico** (L. argila, arcilla) indicativo de altas concentraciones de arcillas iluviales y el **Espódico** (Gr. spodos, color ceníceo) donde la concentración es de materiales orgánicos con Al y Fe, etc.

Los horizontes diagnósticos, solos o combinados (epi y endopedones) reflejan los procesos de evolución, no ya en forma hipotética sino como **marcas** (morfología) dejadas por ellos y cuantificadas. Dichas combinaciones corresponden a **evidencias de procesos específicos** (combinaciones de procesos generales) en suelos de evolución **moderada o alta** o a su **ausencia** o pobre manifestación en aquellos de bajo desarrollo. Estos horizontes constituyen una pieza maestra para clasificar taxonómicamente los suelos, vinculando dicha taxonomía con la morfología y características propias derivadas de los procesos evolutivos. En la Tabla 1 se presentan

ejemplos de ello, relacionando horizontes diagnósticos con las clases de suelos al nivel categórico del **Orden** e indicando sus características más sobresalientes y su fertilidad.

Taxonomía de Suelos

La taxonomía de los suelos tiende a dilucidar los patrones existentes en la naturaleza y hacerlos asequibles a nuestro entendimiento (Haskett, 1995).

La **taxonomía** de suelos, así establecida, integra el **conocimiento** de los suelos (su génesis-evolución) con sus **características** y **propiedades** resultantes; no podría ser de otra manera, pues para clasificar hay que **conocer** y **entender** el cuerpo que se clasifica.

La taxonomía de suelos comentada y aplicada en Colombia es la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975, 1996). En la Figura 5 se sintetiza su estructura jerárquica, categorías, clases, relaciones de escala, homogeneidad-heterogeneidad, niveles de abstracción, etc. Las razones

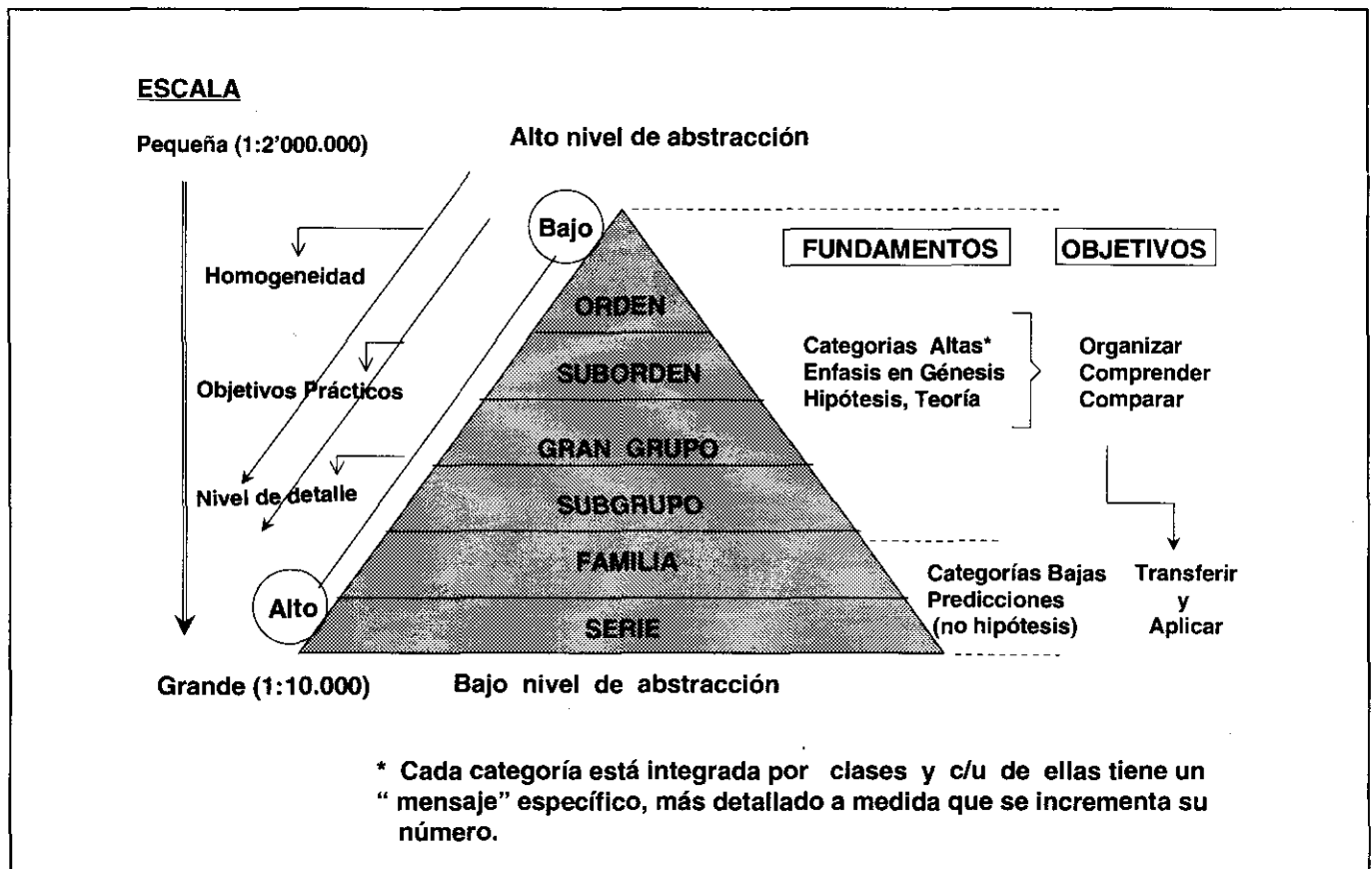


Figura 5. Sistema multicategorico de la taxonomía norteamericana de suelos (IGAC, 1995).

Tabla 1. Clases de suelos en la categoría Orden, características, horizontes diagnósticos y aplicaciones en relación con su fertilidad en Colombia (IGAC, 1995).

ORDEN	CARACTERISTICAS GENERALES SOBRE EVOLUCION, HORIZONTES DIAGNOSTICOS Y MINERALOGIA	FERTILIDAD GENERAL
OXISOL	Muy alta evolución; arcillas y óxidos de Al-Fe alto contenido en cuarzo (arenas). Horizonte Oxico, en algunos casos Cándico.	Muy baja. Alta acidez. Altos contenidos de Al de cambio. Alto poder fijador de fosfatos. Fertilidad potencial (mineral) nula, actual muy baja (excepción de ecosistemas bajo selvas).
ULTISOL	Alta evolución; arcillas 1:1 y algunas 2:1 sesquióxidos con predominio de Fe. Horizonte Argílico o Cándico; Ocrico o Umbrico.	Baja. Acidos. Alto contenido de Al de cambio, Procesos de fijación generalmente importantes. Fertilidad potencial baja pero mayor que en Oxisoles.
ESPODOSOL	Alta evolución, seaquíóxidos, ácidos fúlvicos y precursores. Migraciones orgánicas y minerales. Micas y minerales interestratificados. Cuarzo. Horizonte Espódico.	Muy baja. Alta acidez, baja saturación de cationes, baja cementación estructural en superficie, compactación en profundidad. Aporte de nutrientes bajo, a partir de la Materia Orgánica.
VERTISOL	Alto contenido en arcillas 2:1 baja Materia Orgánica, abundancia de Acidos Húmicos evolucionados. Grietas, lustre estructuras rotadas. Propiedades vérticas.	pH con tendencia a neutralidad. Bajo porcentaje de M.O. de débil mineralización. Complejos arcilla 2:1. Acidos húmicos. Fertilidad actual y potencial medianas.
ALFISOL	Arcillas integradas por mezclas de 2:1 - 1:1 Micas y minerales primarios generalmente presentes. Evolución moderada a alta. Horizontes: Argílico, Nátrico, Cándico, Ocrico o Umbrico.	Fertilidad variable, generalmente moderada, acidez ausente o no muy pronunciada en la mayoría de los casos. Excepto en algunos horizontes superficiales.
MOLISOL	Evolución moderada, alta humificación Arcillas 2:1, ácidos húmicos, minerales primarios abundantes. Horizonte Mólico.	Alta fertilidad tanto Potencial como Actual. Neutralidad, ligera acidez o basicidad. Condiciones físicas y químicas generalmente adecuadas.
ARIDISOL	Evolución variable: moderada en general. Micas y arcillas 2:1 predominantes. Poca M.O., Sales en varios casos al igual que Na. Horizontes: Ocrico, Antrópico, Argílico, Sáfico, Cálculo, Cábico, Nátrico, Gípsico.	pH neutros a básicos, fertilidad en general moderada, con excepción de N, pueden presentarse problemas de sales y Na. Baja M.O.
INCEPTISOL	Evolución baja y media. Presencia de minerales primarios, arcillas mezcladas. Contenidos variables de M.O. Horizontes: Umbrico y/o Cábico.	pH y fertilidad variables, dependiente de la zona: alta en zonas aluviales y baja en sedimentos antiguos y lavados sobre los cuales evoluciona el suelo. Materia Orgánica variable.
ENTISOL	Muy baja evolución. Presencia de minerales primarios, mezclas de arcillas de diferentes tipos. Horizonte Ocrico.	Variable de acuerdo con las zonas como en el caso anterior. En los Orthents generalmente alta erosión.
HISTOSOL	Suelos orgánicos de evolución variable. Horizonte Hístico.	pH en general ácido. Fertilidad y Productividad variables de acuerdo con la adecuación de la zona y el grado de evolución del material orgánico.
ANDISOL	Evolución media, constituyentes amorfos, complejos de adsorción y de Al-humus. Abundancia en Plagioclasas y anfíboles, menores contenidos en vidrio y piroxenos, dependiendo de su evolución. Propiedades ándicas.	Valores altos en C.O., CIC, carga variable y capacidad reguladora. Alta fijación de P, mineralización lenta. Fertilidad variable dependiendo de la zona.

para seleccionarla y aplicarla en el país se basaron en sus características: cuantificación, utilización de horizontes y características diagnósticas, nomenclatura basada en raíces griegas y latinas, categorías asociadas a niveles jerárquicos de abstracción fácilmente equiparables y utilizables con los niveles y escalas de los levantamientos de suelos, métodos analíticos definidos y claramente establecidos (**National Soil Survey Laboratory Staff**, 1995 y 1996), etc.

La aplicación del Sistema Taxonómico Norteamericano de Suelos (**Soil Survey Staff**, 1975) ha permitido definir y cartografiar los suelos colombianos.

Un ejemplo, muy general, se presenta en la Figura 6, en la cual se consignan los Grandes Grupos de suelos representativos de amplias regiones fisiográficas del país.

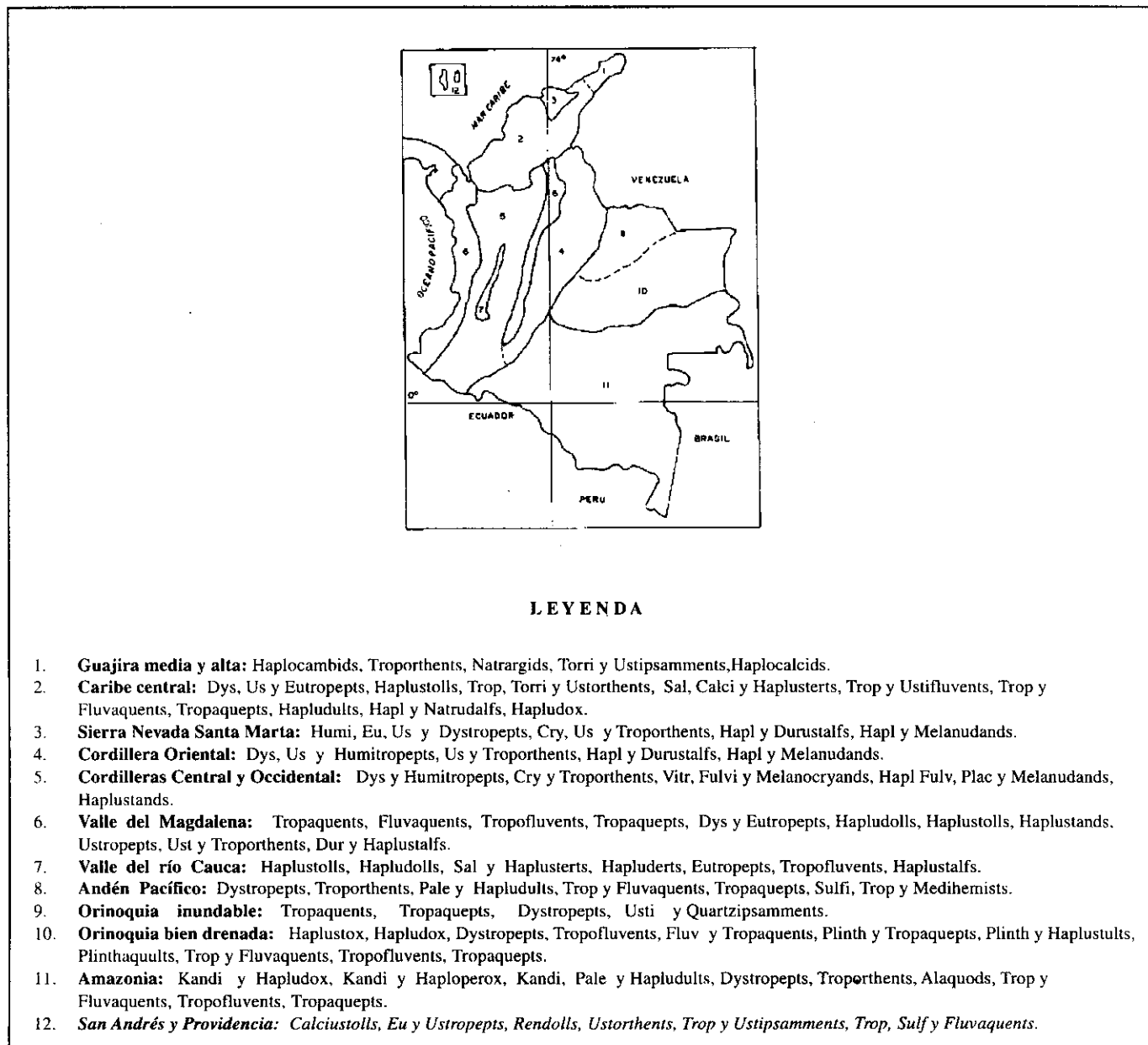


Figura 6. Grandes Grupos de Suelos Representativos de Colombia.

La cartografía de suelos

Después de conocer la génesis y evolución de los suelos, sus horizontes y perfiles resultantes y compendiar, todo ello, en un sistema taxonómico, el aspecto siguiente consiste en utilizar esta **taxonomía** (síntesis del conocimiento del suelo, dependiente del nivel de detalle requerido) como medio para adelantar su **cartografía** (elaboración de mapas de suelos que muestren la repartición geográfica del Recurso). Para ello se utilizan fotografías aéreas e imágenes de sensores remotos (radar, satélite) con el fin de identificar y **separar geoformas** (formas de la superficie terrestre) a diferentes niveles de detalle, partiendo del concepto de que su evolución, a su vez, responde a causas que también afectan la de los suelos presentes en ellas, ya no como cuerpos naturales independientes sino como una **colección** de ellos (polipedones) y que, por consiguiente, permite inferir que en geoformas diferentes o en diferentes posiciones a su interior, en la mayoría de los casos se presentan suelos también diferentes. El trabajo de **campo**, obviamente complementado con la información proporcionada por el laboratorio, acepta o rechaza estas hipótesis.

El mapa de suelos está conformado por estas **delineaciones** y por las **unidades cartográficas** que éstas definen (agrupación de delineaciones con un mismo símbolo). El símbolo representa, al interior de cada delineación, la geoforma, el clima, los suelos contenidos en ella y la información que afecte su manejo (**fases taxonómicas** de los suelos: pendiente, pedregosidad, erosión, etc.).

La **Leyenda** que acompaña y explica los mapas de suelos generalmente tiene una "entrada" geomorfológica o climática, en ella se especifican las geoformas separadas y sus procesos superficiales, las condiciones del clima y sus características y, obviamente, los suelos presentes con su información resumida. La información adicional comprende la cobertura vegetal y el uso de la tierra en cada delineación. El símbolo identifica cada unidad y sus componentes; además, en la leyenda se presenta la extensión total que abarca cada unidad.

La leyenda, así conformada (Figura 7) **implementa el conocimiento nacional** a través de **clasificaciones taxonómicas** jerarquizadas de geomorfología (Zinck,

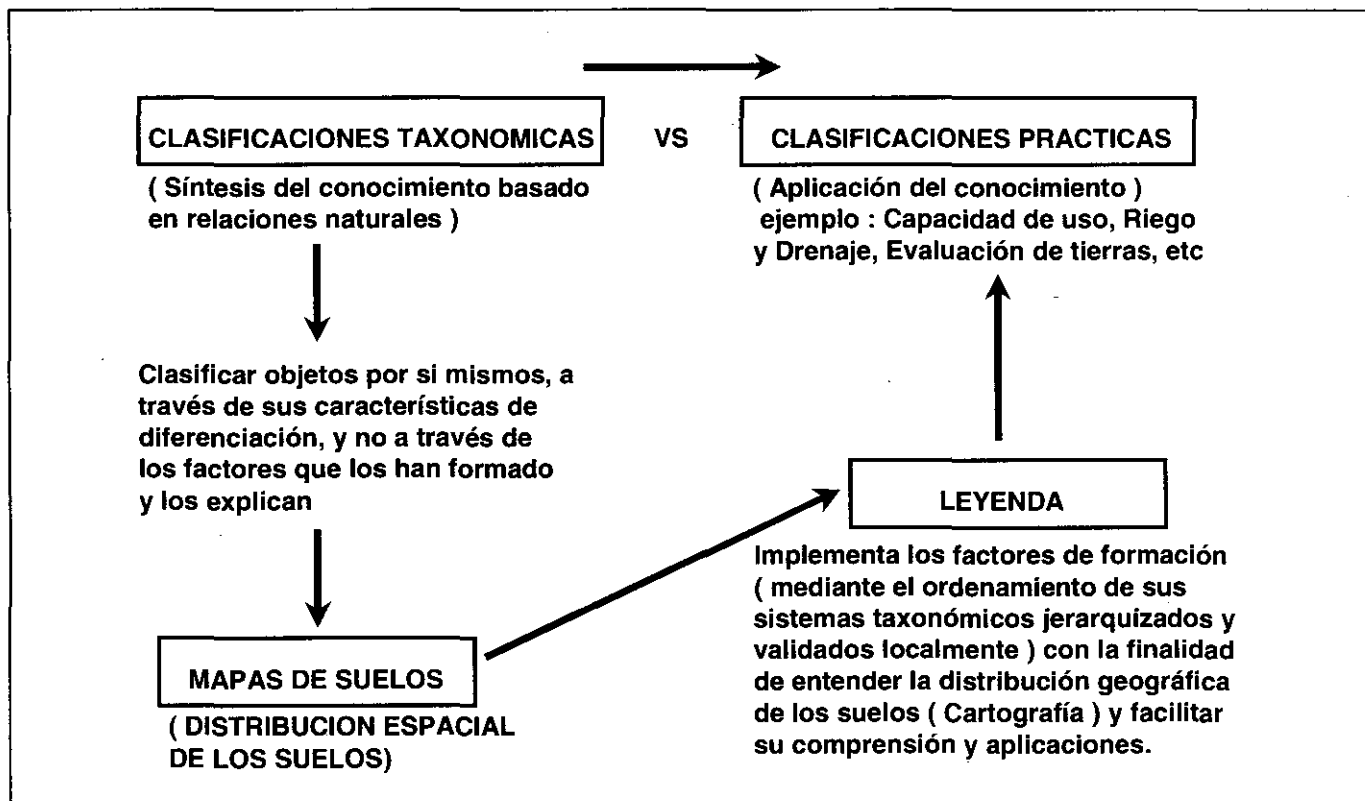


Figura 7. Relaciones entre el conocimiento de los suelos, su cartografía y las aplicaciones prácticas a través de las leyendas de los levantamientos del Recurso.

1988), geología (petrográficas) y clima (IGAC, 1995) y suelos (Soil Survey Staff, 1975, 1996), en función del objetivo buscado: el **conocimiento** de los suelos y el de sus **factores formadores**.

Este **nuevo contexto** (el suelo y los factores que lo generan) integra el concepto "**tierra**"; sus unidades cartográficas constituyen las bases fundamentales para la interpretación, aplicación, zonificación y manejo del Recurso.

Los **modelos** y las **bases de datos** del Instituto Geográfico (IGAC, 1995b, 1996c) siguen la estructura conceptual previamente comentada; las observaciones de campo están localizadas geográficamente mediante GPS.

En **resumen**, los levantamientos de suelos, como síntesis del conocimiento aquí comentado, se llevan a cabo mediante una aproximación deductiva-inductiva entre los **factores** que los generan (causas) y los **procesos** (efectos) que los explican y definen sus características, propiedades y cualidades. El entendimiento del Recurso permite utilizarlo de acuerdo con sus potencialidades-limitaciones y apoyar los procesos de planificación y ordenamiento del territorio, objetivos finales del inventario de las tierras colombianas. Estos aspectos se tratan a continuación.

Aplicación del conocimiento

Tipos de levantamientos y sus objetivos

Los levantamientos de suelos se llevan a cabo a diferentes **escalas** (niveles de detalle) acordes con los objetivos buscados. Las **normas** y **especificaciones** establecidas por el Instituto Geográfico (IGAC, 1981) conforman el marco a seguir en cada tipo de Levantamiento.

De acuerdo con los **objetivos** varía el nivel (escala) de los levantamientos; así un **Levantamiento general** (escalas 1:100 - 250.000), realizado para un departamento cumplirá con los objetivos de definir sus áreas con **vocación agrícola, pecuaria, forestal** (protección, protección-producción, producción), de **conservación** (parques y reservas naturales), etc. En otras palabras permitirá establecer **el mejor uso de sus tierras**, el cual, al ser contrastado con su cobertura y uso actual, generará las **zonas de conflicto de uso**, para las cuales los planificadores deberán programar las estrategias posibles de ser implementadas. Todo lo comentado apoyará una **zonificación** con fines de **ordenamiento territorial**. El nivel del Levantamiento y su escala cumplen así los

objetivos para los cuales fue realizado el estudio y cuya estructura de presentación (mapas) fue establecida en la Figura 7.

Levantamientos a escalas 1:25.000-1:10.000 (**semidetallados-detallados**) generalmente son requeridos para las etapas de prefactibilidad y factibilidad de **Distritos de Riego y Drenaje**. Con ellos se busca conocer la **respuesta económica** de las tierras **regadas o drenadas**, obviamente bajo el criterio de su **sostenibilidad**. Se persigue, además, tener un documento básico que permita realizar el **seguimiento** de su calidad a medida que avancen dichas labores. Los objetivos son muy diferentes de los asociados con los levantamientos generales, previamente comentados.

Documentos cartográficos a escalas 1:50.000-1:25.000, útiles para la **planificación a nivel municipal**, se producen con **finés catastrales**. Para ello la información de los mapas de suelos (1:100.000) y las delineaciones presentes en las fotografías aéreas (1:40-60.000) es afinada (incrementada en detalle) y comprobada en campo, para ser presentada a escala 1:25.000, con la finalidad de establecer **zonas homogéneas de tierras** para la formación y uso catastrales. En ellas se hace énfasis en **geoformas, clima y condiciones agronómicas**.

Estas zonas homogéneas son, a su vez, complementadas con información sobre vías, disponibilidad de aguas e infraestructura, para conformar **zonas homogéneas físicas**, las cuales, mediante encuestas sobre precios de la tierra, definen las **Zonas Homogéneas Geoeconómicas**. Estas últimas son utilizadas por los Consejos Municipales con fines fiscales (establecer las tarifas del impuesto predial, Ley 44 de 1990); no obstante la información que contienen las hace útiles para ayudar a la Planificación Municipal.

Los comentarios previos permiten comprender cuan diferentes son los objetivos de los diferentes tipos de Levantamientos de Suelos. Además, la información proporcionada con todos ellos, aunque varíen sus objetivos específicos, puede **generalizarse** (1:500.000) con la finalidad de establecer criterios sólidos que permitan definir **políticas nacionales** sobre el Recurso.

La consolidación de estos documentos y de aquellos relacionados con recursos asociados al de las tierras como tales hacen de la obra Suelos y Bosques de Colombia (IGAC, 1988) una referencia valiosa y de consulta obligatoria a nivel nacional.

Las aplicaciones de los Levantamientos de Suelos

Las clasificaciones técnicas o prácticas, no taxonómicas, tienen por objetivo la **aplicación del conocimiento** con fines claramente identificados y, obviamente, referidos a un contexto espacial o geográfico (zonas, áreas, delineaciones, unidades cartográficas, etc.); estas zonas homogéneas para el manejo del recurso son las **unidades de tierras**, cuya concepción y relación con los levantamientos de suelos se presenta en la Figura 8.

Las aplicaciones de los levantamientos de suelos (tierras) son innumerables. A continuación se enuncian y comentan brevemente las más utilizadas, o con mayor potencialidad de utilización, en el país.

- Las clasificaciones sobre la **capacidad de uso de las tierras, zonificación agroecológica, uso actual y cobertura vegetal** se comentan en el tema: Los **conflictos de uso** de las tierras colombianas; por esta razón no se presentan en este aparte y sólo se enumeran sus aplicaciones derivadas :

Conocer y zonificar las tierras del país con base en sus **potencialidades, limitaciones**, vocaciones de uso y manejo general.

Definir **aptitudes** agrícolas, pecuarias, forestales, de conservación, preservación y manejo especiales.

La **zonificación agroecológica** a la vez que complementa la clasificación por capacidad de uso, al incluir aspectos geomorfológicos, climáticos, pedológicos y agronómicos, permite establecer criterios generales para la localización de **centros experimentales** (representatividad geográfica), localizar **sitios de investigación** en área representativas y **extrapolar resultados** de investigación a zonas similares.

La información sobre **cobertura vegetal** y **uso de las tierras** permite definir **conflictos de uso** al comparar la capacidad de uso de una delineación con su uso y cobertura actual. La **superpo-**

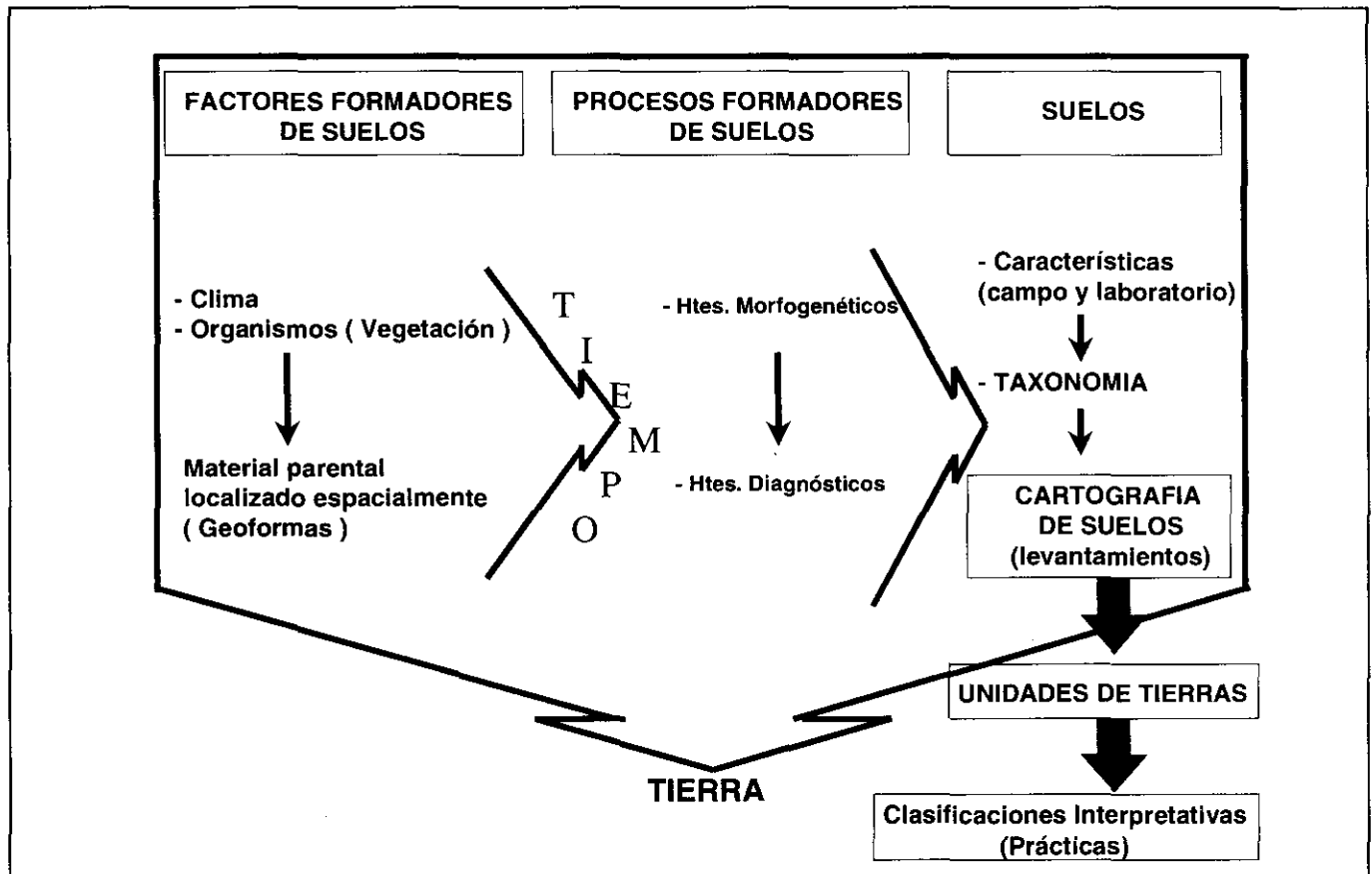


Figura 8. Conceptos de génesis de suelos, suelo, tierra, su cartografía y aplicaciones.

sición de los **mapas digitalizados** correspondientes, mediante utilización de SIG, facilita dicha definición.

Si sólo se aplicaran en el país estas interpretaciones de los levantamientos y se ejerciera su **control** o se establecieran los conflictos de uso y se tuviera la voluntad política y los medios para solucionarlos, bien valdrían la pena el esfuerzo y el costo de los levantamientos de suelos.

b. Clasificación de tierras con fines de riego y drenaje

Esta clasificación técnica tiene por objetivo seleccionar las tierras que mejor respondan a estas prácticas y caracterizar sus principales aspectos de manejo. El punto de vista del concepto "tierra", para estos propósitos, es el de un Recurso que puede ser modificado, ajustándose a criterios de respuesta económica y sostenibilidad.

Los principios de esta clasificación se dirigen a conocer el **comportamiento** (niveles freáticos, salinidad, sodicidad), y su **predicción** al aplicarse estas prácticas, correlaciones **económicas** (costos, capacidad de pago, intereses, retornos, umbrales, etc.), dentro de un nivel de vida esperado, **cambios permanentes y transitorios** de las tierras y definición de **tierras arables e irrigables** con base en sus características agronómicas y económicas (Maletic, Hutchings, 1967; U. S. Dep. Interior, 1951).

Esta clasificación es **imprescindible** para los proyectos de **riego y drenaje** en el país y para establecer las condiciones iniciales que permitan el **seguimiento** tanto del Recurso como de la calidad de las aguas y de la productividad bajo estas prácticas, con la finalidad de evitar costos ambientales y económicos derivados de un mal manejo. No obstante poco o nada se lleva a cabo en Colombia en este aspecto.

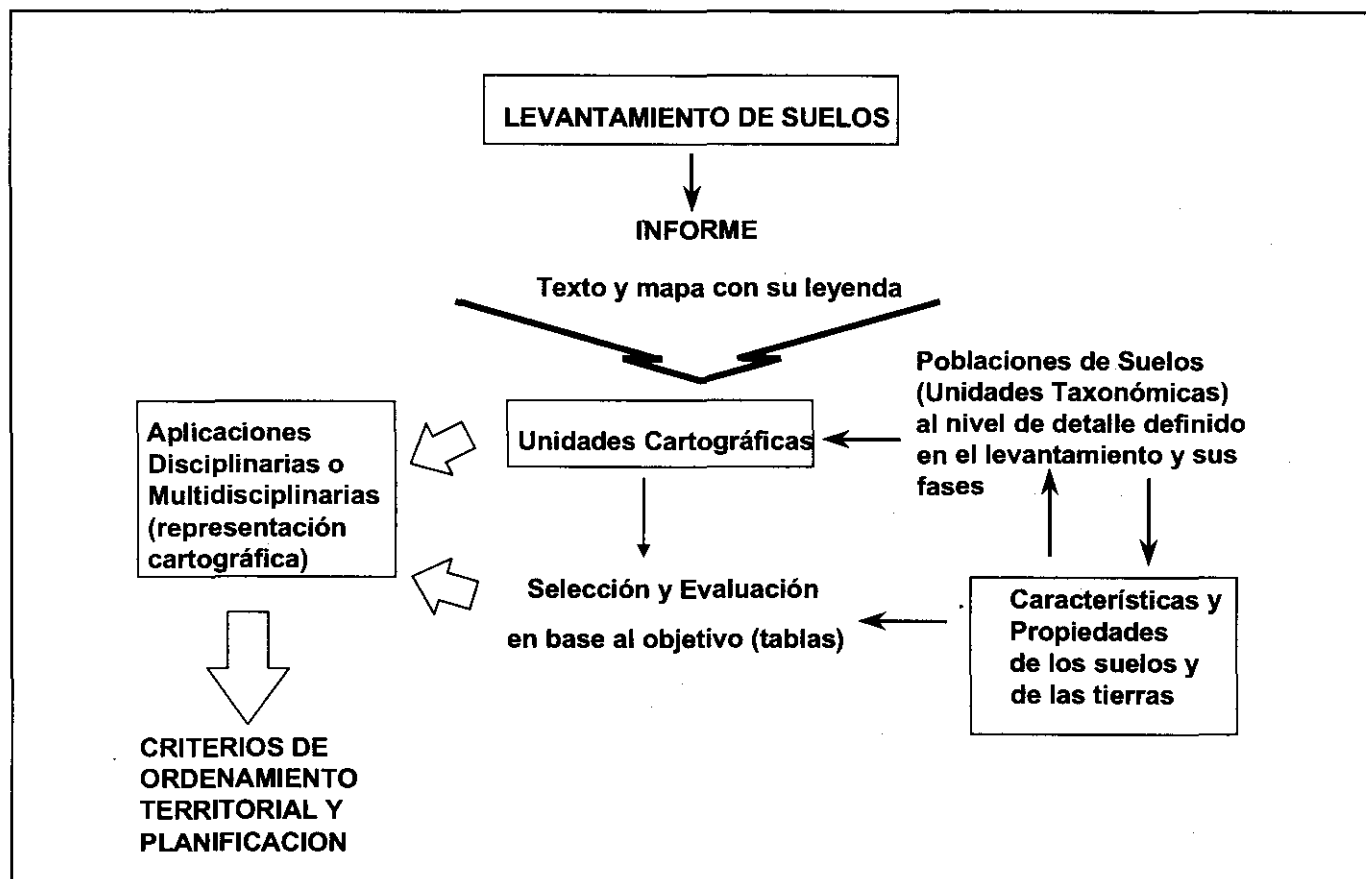


Figura 9. Etapas conceptuales seguidas en las aplicaciones de los levantamientos de suelos (Tierras).

c. Zonas homogéneas de tierras con fines catastrales

La evaluación de tierras con fines catastrales (IGAC, 1997) fue comentada al tratar la aplicación de los levantamientos a nivel municipal.

d. Aplicaciones Multidisciplinarias de los Levantamientos de Suelos

Las aplicaciones multidisciplinarias de los levantamientos de suelos son muy amplias y variadas e incluyen los campos de las **ingenierías** (civil, sanitaria y ambiental), **agropecuarios**, **forestales**, **turísticos** y **ambientales**.

La **validez** de las aplicaciones es mayor para los levantamientos semi y detallados, ya que en ellos las unidades cartográficas son homogéneas en su contenido pedológico (**consociaciones** de suelos: predominio de un suelo en un alto porcentaje y opuesto al que se presenta en los levantamientos generales, **asociaciones** de suelos, en los cuales las unidades están integradas por 2 ó 3 suelos).

La metodología básica en estas aplicaciones consiste en **evaluar cada unidad de mapeo** presente en un mapa de suelos (de preferencia a escala 1:25.000 o mayor) e interpretarla directamente para un uso dado. El resultado es la evaluación de la aptitud para ese uso, basado en el grado de severidad de las limitaciones relativamente permanentes. Las etapas seguidas para llevar a cabo estas aplicaciones se presentan en la Figura 9; básicamente se trata de establecer el grado de correspondencia entre la oferta de la unidad y los requerimientos del uso a evaluar. La oferta está consignada en los levantamientos (informes), mientras que los requerimientos se pueden encontrar como tablas, en Cortés y Malagón (1984), IGAC (1990b) y en el Manual de Suelos de los Estados Unidos (USDA, 1983).

Los informes de los levantamientos modernos de suelos incluyen un capítulo para estas evaluaciones, presentados en forma de tablas; en ellos se colocan columnas con las unidades cartográficas, sus suelos, tierras y los temas a evaluar y, en filas, las evaluaciones correspondientes, con especial énfasis en las **ingenieriles**. Las **agrícolas** se discuten a continuación.

e. Evaluación de tierras con fines agrícolas y forestales

La evaluación de tierras con fines agrícolas y forestales más utilizada en Colombia es la de la FAO en

sus diferentes aplicaciones (1976, 1984, 1990a y 1990b), no obstante existen metodologías diferentes Rossiter (1994), que incluyen valores potenciales de la tierra, índices de productividad, etc. para aplicaciones específicas y con fundamentos teóricos variables (ejemplo: utilización o no de criterios paramétricos).

Las características sobresalientes de la metodología (Figura 10) de evaluación de tierras de la FAO (1976, 1984) radican en:

- Evaluar usos específicos.
- Confrontar la oferta ambiental de las unidades de tierra con los requerimientos específicos del uso a evaluar.
- Incluir aspectos socioeconómicos.
- Evaluar los usos actuales y los posibles usos futuros (usos promisorios).
- Fundamentar la evaluación en la **sostenibilidad** de las unidades evaluadas.

Las diferencias entre la metodología FAO y la concepción de la clasificación por capacidad de uso de las tierras son obvias; esta última evalúa la capacidad global de las unidades de tierra, con base en sus potencialidades, manejo y limitaciones, la primera evalúa usos específicos. Por ello en algunos casos no existen correspondencias entre ellas; así, por ejemplo, una clase III por capacidad de uso debido a limitaciones químicas y físicas (textura, pedregosidad, bajo contenido en materiales orgánicos) puede ser ideal para viñedos y clasificarse como tal.

En el país esta metodología se ha aplicado a partir de levantamientos semi o detallados (IGAC, 1991, 1997a), Figura 11. Sus perspectivas son muy promisorias; se recomienda su aplicación automatizada (programa ALES, por ejemplo, Rossiter, 1995).

f. Zonificación de tierras con fines de Planificación y Ordenamiento del Territorio

El objetivo de esta zonificación de tierras radica en presentarle a los encargados de la **Planificación** y el **Ordenamiento del territorio** un documento que sintetice el **medio biofísico**, a través de los aspectos y temas inherentes a los levantamientos de suelos. El **mapa** correspondiente debe ser integral y sin sesgos temáticos y en él se deben **identificar** claramente

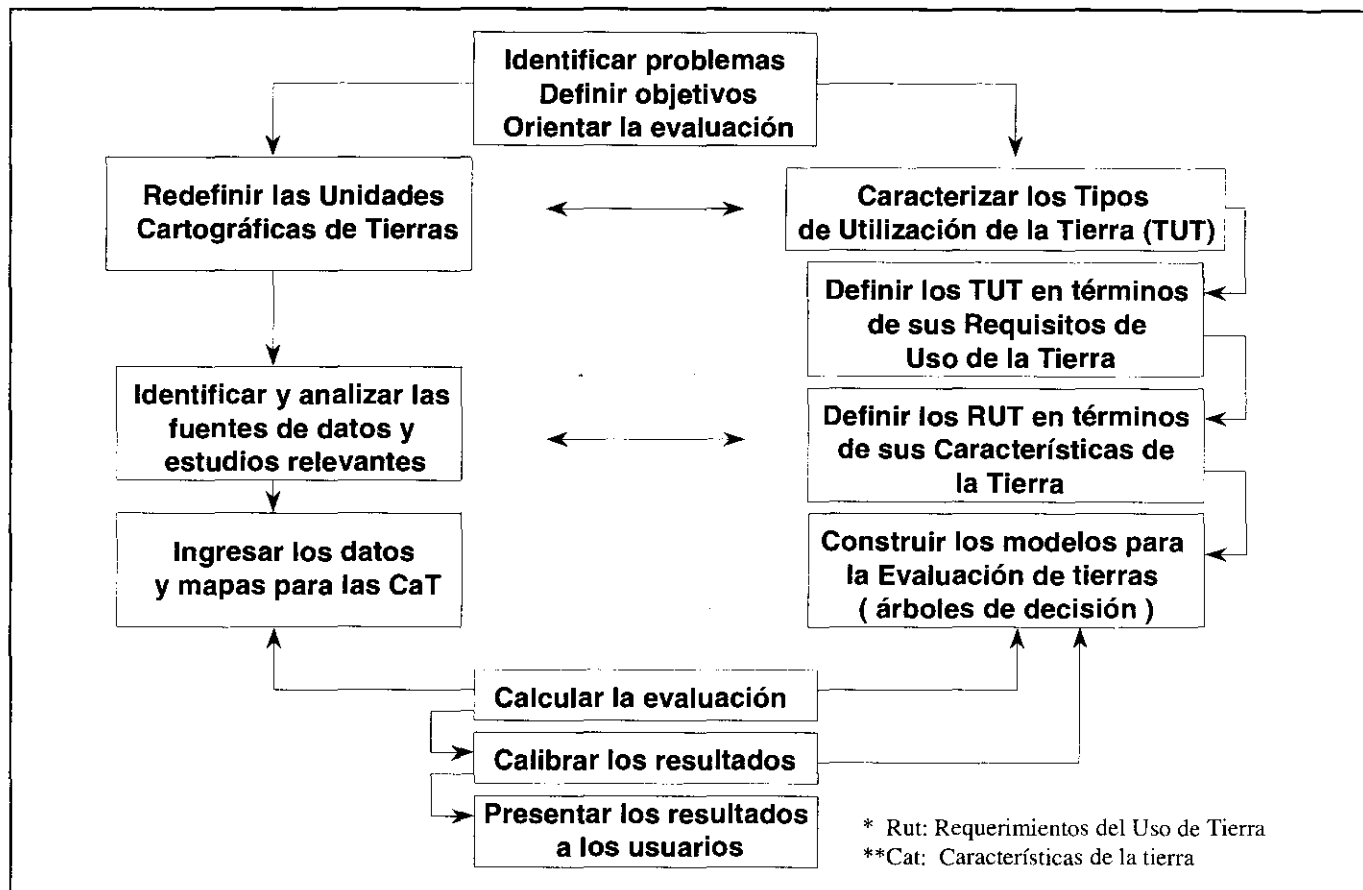


Figura 10. Esquema de Evaluación de Tierras de la FAO (1983).

los diferentes tipos de uso y manejo al **interior** de las zonas definidas como agrícolas, pecuarias, forestales, protectoras de conservación, reservas indígenas, uso restringido, santuarios de flora y fauna, etc. ; a la vez que el manejo general y las áreas de **amenazas naturales** (deslizamientos y otros movimientos en masa, inundaciones, volcánicas, sísmicas, etc.). La **superposición** de mapas digitalizados, mediante los SIG, ayuda a complementar la zonificación al generar por ejemplo, mapas de **zonas de conflictos de uso** de las tierras (capacidad - vs - uso actual), **amenazas naturales** para la **población** (amenazas naturales - vs - densidad de población), etc.

Cuando estas actividades se realizan a niveles de mayor detalle, la evaluación multidisciplinaria de tierras, por unidades cartográficas, proporciona información muy valiosa sobre la aptitud específica de uso.

En **síntesis**, las aplicaciones de los levantamientos de suelos son muy amplias y sobrepasan aquellas tradicionales (agrícolas) para contemplar varios aspectos de la ingeniería y, en especial, la posibilidad de ser integradas en la zonificación territorial para apoyar procesos de planificación y ordenamiento espacial.

Problemática del recurso

En el foro «Balance nacional del cumplimiento de la Agenda 2: qué ha pasado en 5 años» adelantado a mediados de este año para **evaluar** la Agenda 21, adoptada por el país y acordada por 140 países que participaron en la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se concluyó que, salvo excepciones, Colombia no está encaminando sus modelos de desarrollo hacia aquellos que incluyan la sostenibilidad de sus Recursos Naturales.



Figura 11. Ejemplo de clases de aptitud físico económica para el cultivo de papa en la cuenca del embalse del Muña (IGAC, 1997).

El modelo **neoliberal** en boga ha sido cuestionado como **incompatible** con el **desarrollo sostenible**, ya que se basa en las leyes del mercado, con sus parámetros comerciales y orientación hacia el consumo (Zinck, 1990). De igual manera debe evaluarse críticamente el **capitalismo** en el sentido de cómo puede conducir al desarrollo sin poner en peligro los Recursos Naturales.

Una de las **causas** detectadas en el foro comentado radica en resaltar que la pérdida de Recursos Naturales es **estructural y política** y no solamente **ambiental**. La sostenibilidad de los recursos no se soluciona, únicamente, con el conocimiento y estudio de ellos, sino que es necesario enmarcarlos en un contexto que incluya aspectos socioeconómicos y culturales, tales como su relación con el nivel de pobreza, educación, tenencia de tierras, sensibilidad social, inequidad, compromiso político, apoyos financieros y tecnológicos, cumplimiento de normas internacionales y de soberanía sobre los Recursos.

La problemática del Recurso Suelo (tierra) en Colombia es el resultado de aspectos socioeconómicos, culturales y de conflictos en su uso. Todos ellos, enmarcados en un contexto histórico, explican gran parte de la degradación de las tierras del país. Otros aspectos, tales como el manejo dado a la tierra, la contaminación, salinización y prácticas culturales tradicionales complementan y explican el estado actual de la calidad de este recurso.

Aspectos socioeconómicos

Los aspectos socioeconómicos que afectan el Recurso Tierra se han centralizado alrededor de la **tenencia** de la misma y del **uso** que la caracteriza. A continuación se discuten.

La tenencia de la tierra y sus implicaciones sobre el Recurso

La **tenencia de la tierra** en Colombia tiene claras relaciones con la calidad del Recurso, con su uso y con

los conflictos generados. Al interior de la frontera agrícola, fundamentalmente, sus características en forma muy resumida son:

1. La **tenencia** de la tierra en Colombia se caracteriza por ser una de las de mayor concentración, en el mundo, en pocas personas (**Iragorri** y **Santacruz**, 1987):
 - 4255 terratenientes en 9.978.214 ha.
 - 765.684 minifundistas en 243.843 ha.
 - A finales de 1995 el INCORA reconoce que el 1.3% de los propietarios controlan el 48% de las mejores tierras, mientras que el 67% sólo posee el 5.2% de ellas.
2. La relación entre los **predios** y su **superficie** se caracteriza, según estadísticas del Catastro Nacional del IGAC (1996), Tabla 2 y las presentadas por **Urrego** (1985) y por el **DANE** (1996) por:

Urrego (1985) estableció que el 33% de los predios en el país tenían menos de 1 ha de extensión y representaban el 0.6% de su superficie. El IGAC (1996) señala que el 65% de los predios del país tienen menos de 5 ha y ocupan el 3% de su superficie. Si bien los predios con menos de 1 ha caracterizan el **mini-fundio** aquellos entre 1 y 5 ha pueden o no representarlo, dependiendo de las regiones donde se encuentren, el nivel tecnológico de quienes los utilizan y

las facilidades de crédito, mercadeo y nivel sociocultural de sus usuarios.

Urrego (1985) estableció que el 0.2% de los predios tenían más de 1000 ha y representaban el 26% de la superficie patria. El **IGAC** (1996) concluye que el 0.3% de los predios con más de 500 ha, ocupan el 61% del país. El **DANE** (1996) sintetiza estas relaciones al afirmar que el 87% de las fincas tienen extensiones menores de 50 has y representan el 27% de la superficie agrícola, mientras que el 13% de las fincas con extensión entre 50 y 1200 has concentran el 73% de la superficie agrícola de Colombia.

3. La **Reforma Agraria** no ha modificado significativamente las cifras sobre la tenencia de la tierra en el país y, según lo anota **Urrego** (1985), en el lapso 1960-1984 éstas permanecen inmodificadas; los datos del **IGAC** (1996) ratifican, hasta el presente, esta tendencia.

En resumen la **tenencia de la tierra** en Colombia, como indicativa de las relaciones complejas e interdependientes de la problemática social con el riesgo de deterioro ambiental, constituye un problema estructural y político, que se **sintetiza** en tres comentarios:

- La tendencia tradicional de la clase dirigente del país de considerar la tierra más como un **activo de acumulación** de riqueza que como un **activo de producción** de la misma (**Echavarría**, 1985).

Tabla 2. Distribución de predios rurales por extensión y porcentaje en Colombia (IGAC, 1996, Catastro Nacional). Las cifras se asocian, esencialmente, con el interior de la frontera agrícola actual.

Rangos (ha)	Predios (No.)	Superficie (ha)	Predios (%)	Superficie (%)
1 - 5	1.655.099	2.179.603	65.16	3.02
5 - 10	259.613	1.812.045	10.22	2.51
10 - 20	192.198	2.680.322	7.57	3.71
20 - 60	179.140	5.621.017	7.05	7.79
60 - 100	79.375	5.427.292	3.13	7.52
100 - 500	56.739	10.656.828	2.23	14.77
+ 500	8.086	43.789.844	0.32	60.68
Otros	109.704	3.437	4.32	0.005
Total	2.539.964	72.170.388	100	100

La expansión del **liberalismo económico** tiende a favorecer el control del mercado de la ocupación del suelo en detrimento de la planificación estatal del uso del mismo (Zinck, 1990).

De acuerdo con Sunkel (1983) «la apropiación de la tierra por parte de unos pocos significa la existencia de población sin acceso a esa tierra y, por consiguiente, su supervivencia en otras de inferior calidad, o en caso de agotamiento de la frontera agrícola, la existencia de campesinos sin tierra. En el primer caso se produce el fenómeno de la **renta diferencial**, que favorece a los propietarios de las mejores tierras, por una parte, mientras que la presión demográfica obliga a la población restante a sobreexplotar las de menor calidad y a incorporar y sobreexplotar otras, cada vez más marginales, de frontera agropecuaria. Esto entraña, habitualmente, la destrucción de los bosques y la degradación de los suelos y de sus ecosistemas correspondientes».

4. La relación entre los comentarios previos y el tema central, factores que afectan la calidad del Recurso, se establece al correlacionar los **latifundios** con la **subutilización** de la tierra y los **minifundios** con su **sobreutilización**, esta última conduce a su degradación al no existir, o ser mínimos, los niveles tecnológicos, la asistencia técnica adecuada y, por supuesto, la conciencia ambiental o las condiciones socioeconómicas propicias para su conservación.
5. La tenencia de la tierra genera otra serie de problemas que afectan negativamente, al menos bajo los niveles actuales de tecnología, la calidad del Recurso: la **colonización del bosque húmedo tropical**. En este aspecto vale la pena recordar las conclusiones del seminario sobre colonización (Min. Agric., INCORA, 1987), especialmente aplicables a estos ecosistemas, «Colombia no cuenta hasta la fecha con ninguna experiencia de colonización dirigida exitosa y mucho menos en lo que hace referencia a los movimientos espontáneos de los últimos 25 años».

Las investigaciones del estudio sobre los Aspectos Ambientales para el Ordenamiento Territorial del occidente del departamento de Caquetá (IGAC, 1993) prueban, con lujo de detalles, esta aseveración, tanto en lo biofísico como en lo social. Resalta el hecho de **reproducir la tenencia de la tierra**, ya comentada, al interior de estas zonas.

6. Es evidente, como síntesis de lo precedente, que la línea de acción a seguir se deba fundamentar en el

incremento de la productividad actual de las tierras con vocación agrícola y ganadera, y que se limite la transformación de las tierras forestales en agrícolas.

El uso de las tierras colombianas

La tenencia de la tierra, discutida previamente, repercute en el **uso de las tierras del país**; en otras palabras se presenta una relación tenencia - uso. Alameda (1994, p. 22) establece «el uso de la tierra como factor esencial de producción agropecuaria depende de quien la posea y del tamaño de las explotaciones. En Colombia latifundio y minifundio actúan, pese a su polaridad, como limitantes de la economía agraria».

Como ejemplos del uso de la tierra en Colombia se discuten, a continuación, los estudios adelantados por IGAC-ICA (1988) y por el DANE (1996), ambos dirigidos, en su momento, a la investigación del uso actual de la tierra en Colombia.

En el estudio del IGAC-ICA (1988) se concluye lo siguiente (Tabla 3):

A. Con base en la síntesis expresada en la Tabla 3, referida a todo el país, se establece que:

- Las tierras en uso agrícola representan el 4.7% del país.
- Las tierras en pastos (ganadería) representan un 35.1% de Colombia.
- Las tierras en bosque primario constituyen el 44.9% del país y en unión con el intervenido (4.1%), el 49.0% del territorio.
- El 10.7% del país está fundamentalmente representado por pantanos, ciénagas, rastrojos, pajonales, páramos y nieves perpetuas.
- El 1.3% corresponde a zonas urbanas y aguas.

Si bien estos son los datos globales hay que resaltar aspectos que influyen sobre el Recurso Tierra, en especial.

- La **subutilización** de las tierras con vocación agrícola que tiene el país (12.7%). Sólo se presentan bajo este uso el 4.7%; en consecuencia, no están siendo utilizadas el 8% (913.398 has) del país. Estas tierras no cumplen su función socioeconómica.
- Las tierras en **pastos** ocupan el 35.1% del país, de ellas sólo 4.54% corresponden a pastos mane-

Tabla 3 Síntesis del Uso de la Tierra en Colombia (IGAC, 1988).

Cobertura y Uso	Superficie (has)	Porcentaje
Tierras en agricultura	5.317.862	4.66
Tierras en pastos	40.083.171	35.10
. Manejados	5.187.603	4.54
. Naturales o introducidos	26.381.383	23.10
. Con rastrojo	8.514.185	7.46
Tierras en bosques	55.939.533	49.00
. Primario	51.221.802	44.87
. Intervenido	4.717.731	4.13
Coberturas especiales	2.914.528	2.55
. Sabana arbustiva	1.458.800	1.28
. Veg. Xerofítica	1.455.728	1.27
Tierras sin uso agropecuario o forestal	8.489.894	7.43
. Pantanos, ciénagas		
. Pajonales, rastrojos	1.854.355	1.62
. Páramos y nieves perp.	5.479.211	4.80
	1.156.328	1.01
Aguas y zonas urbanas	1.429.812	1.27

gados técnicamente. Si se estima (IGAC, 1988), que las limitaciones severas del suelo afectan el 4.26% bajo este uso, en el país quedan 26.3% (30.027.972 has) sin utilizar técnicamente.

De las tierras en **bosques** (49% del país) la gran mayoría corresponde a bosques primarios (45%) y sólo un 4 del territorio las presentan en forma intervenida.

Cerca del 10% del territorio colombiano está bajo usos diferentes a los anotados, se destacan aquellos sin uso agropecuario o forestal (7.4%) asociados con pantanos, rastrojos, páramos, pero de inmensa riqueza e importancia en otros aspectos: conservación, vida silvestre, fuentes de agua

para ciudades o ecosistemas únicos y de gran diversidad biológica. Las sabanas arbustivas y las zonas con vegetación xerofítica integran el 2.6% restante.

B. La Encuesta Nacional Agropecuaria realizada por el Departamento Administrativo Nacional de estadística (DANE, 1996) en el 45.4% del país y con especial énfasis al interior de la frontera agrícola, destaca los datos que se presentan en la Tabla 4.

Resultados a resaltar en dicha encuesta son los siguientes:

Al interior de la frontera agrícola las tierras en pastos y malezas ocupan el 68.5% de la superfi-

Tabla 4. Cobertura y Uso de la Tierra en Colombia (DANE, 1996)

Cobertura y Uso	Superficie (has)	Porcentaje*
Tierras en agricultura	4.430.018	8.5
. Cultivos permanentes	2.501.290	4.8
. Cultivos transitorios, barbechos, descanso	1.928.727	3.7
Tierras en pastos y malezas	35.527.873	68.5
Tierras en bosques	10.088.071	19.5
Tierras improductivas y otros usos	1.820.034	3.5

* Referido a la superficie estudiada: 51.865.996 has (45.4% del país)

cie. Dado que de este porcentaje el 78% corresponde a pastos (27.7 millones de has) y que el país cuenta aproximadamente con 26.4 millones de cabezas de gran ganado, el **promedio** está muy cercano a **1 cabeza por hectárea**. Ello corresponde a ganadería extensiva y de bajo nivel de manejo; un indicador de ello es la baja extensión fertilizada (1.7 millones de has: 6.1% de la extensión bajo pastos). El Congreso Nacional de Ganaderos en su evento anual (1996) atribuye a la **violencia** y a la **inseguridad rurales** el bajo nivel de desarrollo de esta actividad. La **ocupación ganadera**, en las condiciones comentadas, ocupa tierras de **vocación agrícola y forestal**; en el primer caso el Recurso Tierra no se degrada, pero no cumple su función socioeconómica, en el segundo sí causa degradación física. Las tierras en uso agrícola en Colombia ocupan 4.4 millones de hectáreas (8.5% al interior de la frontera agrícola); como bien lo señala la encuesta el **país**, al interior de su frontera agrícola, **no es agrícola sino ganadero**.

Las áreas con **bosques** ocupan el 19.5% (10.088.071 ha). Si este porcentaje se interpreta al interior de la frontera agrícola y ésta, en gran extensión, está relacionada con la Cordillera de

los Andes y sus estribaciones, se deduce que el proceso de **deforestación** ha sido muy significativo en ecosistemas frágiles (altas pendientes y precipitaciones). Salvo las zonas cafeteras bajo sombrío, la deforestación induce, en estas condiciones, **erosión** y **movimientos en masa**, con el consiguiente deterioro no sólo de sus suelos, sino determinando amenazas naturales, inundaciones en las zonas bajas y, en muchos casos, pérdida de vidas humanas.

Como **síntesis de la encuesta comentada** puede afirmarse que el uso de la tierra al interior de la frontera agrícola se caracteriza, en general, por ser **incoherente** con su vocación, generar **conflictos de uso**, físicos y socioeconómicos, y por una **tenencia inequitativa y concentrada**. Todo ello afecta negativamente la población que allí, todavía, se encuentra (aprox. 10 millones de personas) como a los Recursos Naturales. La **Reforma Agraria no ha sido efectiva** y, al integrar estos aspectos, desafortunadamente se concluye que el sector agropecuario en la actualidad constituye una actividad marginal en cuanto a su desarrollo, representa un 19% del PBI y semeja actividades del pasado, tanto en lo social como en lo económico; su repercusión es indudable en cuanto al manejo del Recurso Tierra y a los habitantes que moran en él.

Los conflictos de uso de las tierras colombianas

En las discusiones previas se han comentado los aspectos socioeconómicos y físicos asociados al uso de la tierra en el país. A continuación se analizan las tierras de Colombia desde el punto de vista de su **capacidad, vocación y oferta ambiental** que ofrecen para ser utilizadas racionalmente, buscando que sean sostenibles y cumplan una función acorde con las expectativas de una sociedad consciente de su valor. En primer lugar se comenta la clasificación técnica sobre la **Capacidad de Uso de las Tierras** y, en segundo, la **Zonificación Agroecológica** de las mismas.

Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras

Generalidades

Las tierras del país, concepto que incluye los diferentes suelos y su entorno, tienen una capacidad o vocación para ser utilizadas de manera sostenible, en función de sus características y propiedades; entre ellas sus condiciones topográficas y de relieve, climatológicas y aquellas propias de sus suelos, todas ellas evaluadas bajo los niveles tecnológicos y las condiciones socio-económicas y culturales actuales del país.

Las **clasificaciones técnicas**, derivadas de las científicas, buscan cumplir objetivos prácticos específicos, en este caso conocer la **capacidad de uso de las tierras**, mediante la evaluación de las limitaciones que presentan para definir el marco global de su manejo, buscando siempre que el Recurso sea sostenible, como productor de bienes y servicios.

La clasificación por Capacidad de Uso, utilizada y aplicada en el país, se ha venido adaptando a las condiciones colombianas, mediante los criterios que se sustentan y discuten en este aparte.

Capacidad de uso de las tierras

El propósito fundamental de la clasificación por Capacidad de Uso es el de **evaluar las características y propiedades permanentes** de las tierras y conocer el grado de sus **limitaciones**, para conformar **clases** acerca de las cuales se puedan definir sus **usos más adecuados**, de tal manera que el **Recurso** conserve o incremente su **calidad** en el tiempo.

La clasificación está integrada por ocho clases (I a VIII), en las cuales a medida que aumentan las limitaciones o la suma de ellas también lo hace su valor numérico. Las tierras dentro de una **clase por capacidad**

son similares, solamente con respecto al **grado de limitaciones** para el desarrollo de una actividad o por el **riesgo de deterioro** cuando se usan.

La clasificación por capacidad de uso incluye otros factores y aspectos propios de las tierras que las integran; entre ellos están las condiciones de **topografía** (pendiente) y **clima** (suficiencia o deficiencia de lluvias, repartición, balances); la **capacidad global de producción** y los **requerimientos de manejo** se enmarcan en un nivel tecnológico definido y al alcance de los agricultores.

La clasificación no es aplicable a cultivos específicos, para los cuales existen otras metodologías de **evaluación de tierras** (FAO, 1976); no es estática, ya que puede modificarse a medida que se vayan eliminando sus restricciones (de clima, pedregosidad, salinidad, etc.); no incluye distancias a mercados, clases de vías, ni el tamaño y forma de los predios.

Categorías de la clasificación

La clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras, formulada por **Klingebiel y Montgomery** (1961) ha sido adaptada a las condiciones colombianas, en etapas sucesivas, por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1973, 1975, 1986). En la última propuesta (**Burgos**, 1994), la clasificación está integrada por cuatro categorías: Clase, Subclase, Grupo de Manejo y Unidad de Capacidad.

Las **Clases** agrupan suelos y conforman unidades de **tierras** con fines prácticos que presentan el mismo grado relativo de **limitaciones generales** y definen la **aptitud general** para actividades agropecuarias y forestales. Las clases se designan por números, de I a VIII, y su valor numérico, como ya se anotó, se incrementa a medida que lo hacen sus limitaciones (Figura 12).

En términos generales las cuatro primeras clases tienen aptitud agropecuaria y la V está limitada por pedregosidad, rocosidad, drenaje, inundaciones o fuerte salinidad. Las clases VI y VII, debido a limitaciones severas, no son aptas para la mayoría de los cultivos, a menos que semejen condiciones naturales (por ejemplo agroforestería en la zona cafetera); en ellas se aconseja su uso en pastos (clase VI), bajo prácticas intensivas de manejo, cobertura vegetal permanente y bosques (clase VII) y, en algunos casos, vida silvestre; la clase VIII tiene limitaciones tan severas que la hacen recomendable para uso turístico, recreativo, científico, protección de flora y fauna silvestres, etc.

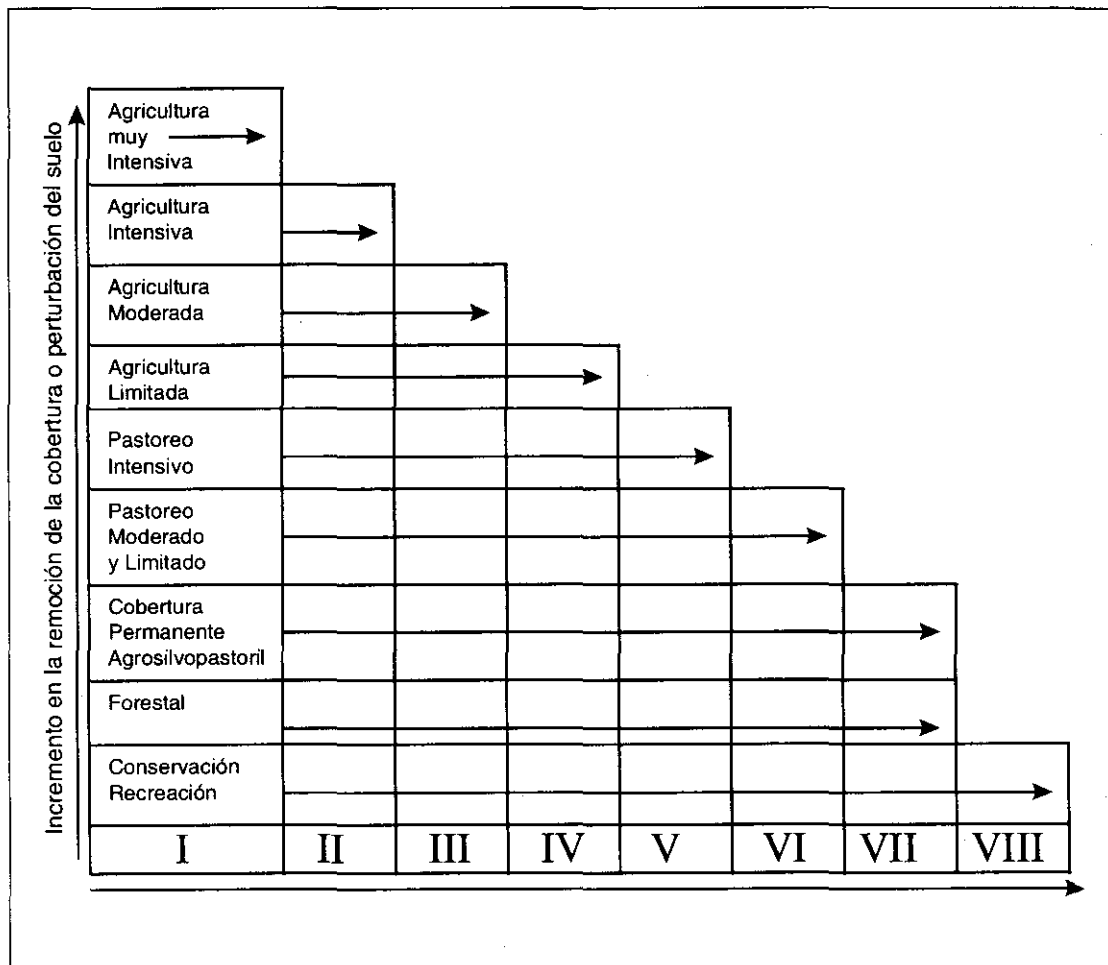


Figura 12. Relaciones entre las clases por capacidad de uso, sus limitaciones, selección de usos y perturbación del suelo.

Las **Subclases** agrupan, dentro de una clase, suelos con limitaciones por suelo (s), topografía (t), drenaje (h), erosión (e) o clima (c). Las subclases se representan por letras minúsculas colocadas a continuación de la clase.

Los **Grupos de Manejo** incluyen suelos que tienen **limitaciones específicas similares** dentro de una subclase.

Las **Unidades de Capacidad** reúnen suelos con **grados** (divisiones de las limitaciones específicas) similares. Los suelos, así agrupados, deben ser suficientemente uniformes en las combinaciones de las características y/o cualidades para tener potencialidades similares y limitaciones continuas.

Las categorías comentadas se aplican a Levantamientos de Suelos de acuerdo con su escala; así, un

levantamiento **exploratorio** sólo presenta clases, uno **general** subclases, uno **semidetallado** grupos de manejo y uno **detallado** unidades de capacidad.

Resultados de la aplicación al país de la Clasificación por Capacidad de Uso de las Tierras.

La aplicación a Colombia de la clasificación comentada ha permitido llegar a las siguientes conclusiones (IGAC, 1988, p. 74), Figura 13.

- Las clases de tierras con vocación **agrícola** (I a IV) ocupan solamente el 11.3% del total del país, de las cuales el 1% comprende las clases I y II, de muy buena calidad para la agricultura. El 4.7% pertenece a la clase III y el 5.6% a la clase IV.
- Las tierras de clase V, cuyos principales limitantes son las **inundaciones** o los **encharcamientos** pro-

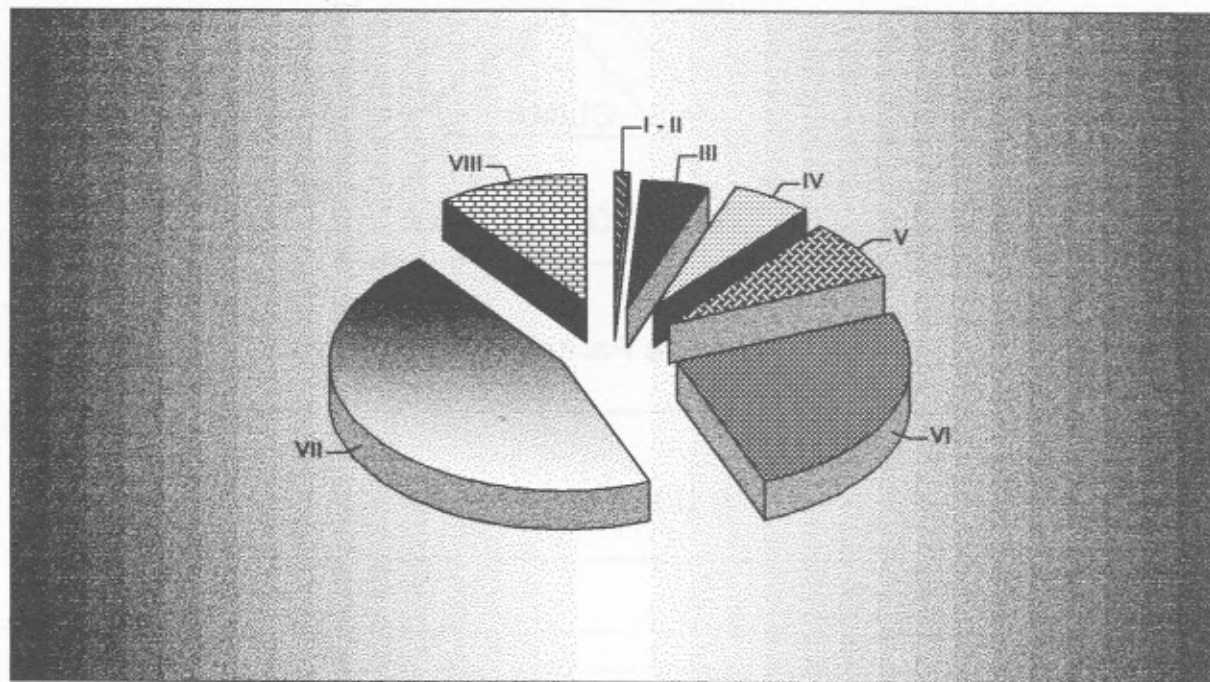


Figura 13. Síntesis de la capacidad de uso de las tierras en Colombia

longados ocupan el 7.5% del territorio nacional. La mayor parte de estas tierras se encuentran en la Orinoquia, la Amazonia y en algunas zonas de la región del Caribe.

La clase VI ocupa el 25.1% del país. El **grado severo de limitaciones** hace que las tierras de esta clase sean inadecuadas para cultivos y limitan su uso a **pastos y bosques**. Sin embargo, algunas áreas con pendientes fuertes, como las de la denominada **Zona Cafetera**, con prácticas especiales de manejo, con el fin de prevenir la erosión, tienen aptitud para cultivos específicos de tipo multiestrata y de alta rentabilidad, tales como el café con sombrero, el cacao, el plátano, etc.

La clase VII ocupa la mayor extensión del país con 45.6%. Sus limitaciones muy severas la hacen **no apta para cultivos y restringen su uso fundamentalmente a bosques**. Algunas zonas, bajo prácticas intensivas de conservación, tienen aptitud para pastos o para cultivos multiestrata.

La clase VIII constituye el 10.5% del país y, al tener limitaciones **muy severas**, margina estas tie-

rras del uso agropecuario, favoreciendo actividades relacionadas con la vida silvestre, la recreación y el turismo.

Zonificación agroecológica

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en convenio con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), adelantó la Zonificación Agroecológica del país en 1985, con la finalidad de identificar y demarcar áreas bajo condiciones ecológicas similares, a escala 1:500.000, y determinar globalmente la localización de zonas aptas para actividades agrícolas, ganaderas o de uso forestal. Las zonas, debido a su **homogeneidad en cuanto a clima, geomorfología, materiales parentales y suelos** (Figura 14), permiten extrapolar globalmente, por razón de escala, resultados investigativos y, además, apoyar planes de zonificación sectorial y ordenamiento del territorio.

La zonificación agroecológica permitió **confrontar** los resultados obtenidos, mediante el estudio por Capacidad de Uso, en lo referido a la vocación de las tierras colombianas.

Las **conclusiones** del estudio, en resumen y referidas al tema, son:

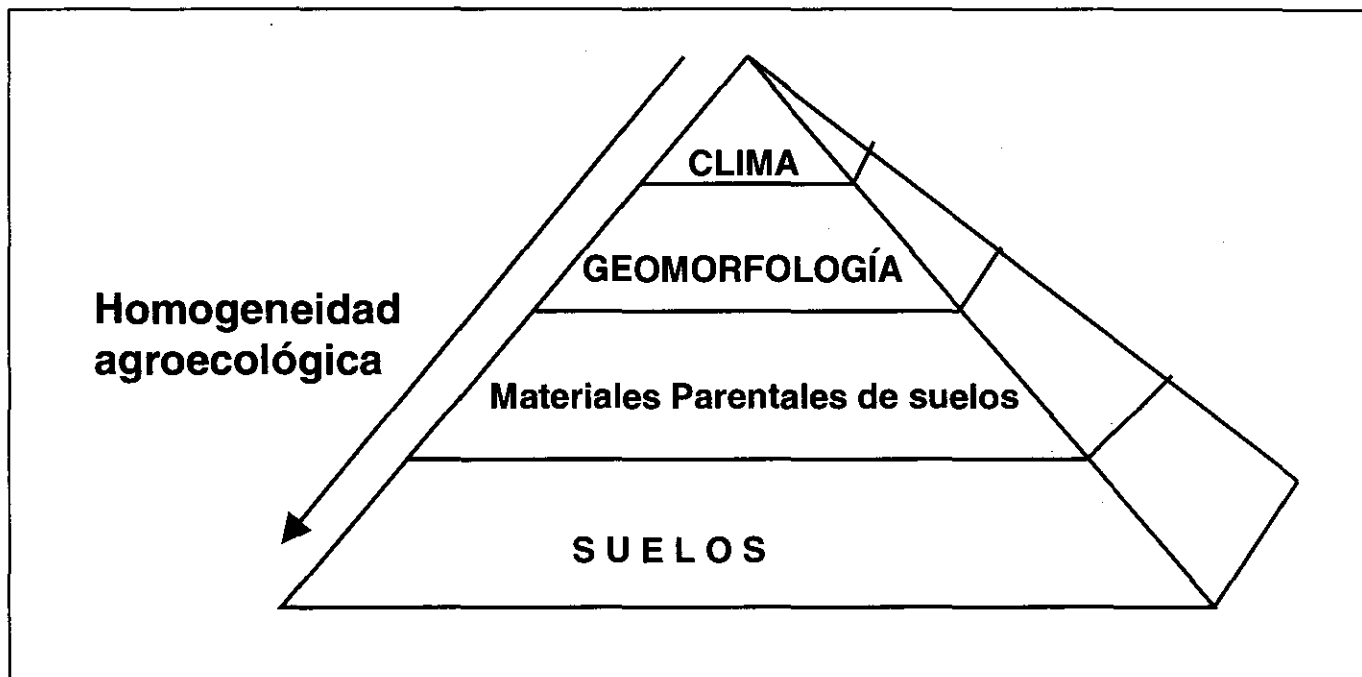


Figura 14. Zonificación Agroecológica : Jerarquización de variables del *medio físico* y su relación con la homogeneidad de las unidades cartográficas. (IGAC, ICA, 1985).

Las áreas con aptitud predominantemente **agrícolas** en el país abarcan 14.362.867 ha. correspondientes al 12.7% de Colombia.

Las áreas con vocación **ganadera** tienen una superficie de 19.251.400 ha, equivalentes al 16.8% del territorio colombiano.

Las áreas con aptitud **forestal** totalizan 78.301.484 ha y representan el 68.5% de Colombia. De estas 11.205.275 ha (9.8%) tienen posibilidades agropecuarias, mientras que el resto 67.093.209 ha, no la tienen y deben destinarse a bosques (protectores - productores, o a protección y/o reforestación).

Conflictos de uso

Los **conflictos del uso de las tierras** colombianas tiene su explicación, en gran parte, en la relación: uso - capacidad (vocación) de uso; éstos se presentan gráficamente en la Figura 15. La información para configurarla se sustentó en los estudios adelantados por IGAC-ICA (1987) en relación con el **uso de las tierras**, mediante la interpretación visual de imágenes de satélite, fotografías aéreas y comprobación de campo. Las

vocaciones de las tierras compendian los estudios sobre su Capacidad de Uso (IGAC, 1988) y Zonificación Agroecológica (IGAC-ICA, 1985, IGAC, 1988).

La **interpretación** de la información contenida en la figura comentada debe hacerse dentro de un marco histórico, los conceptos socioeconómicos (tenencia, uso, reforma agraria, etc.), previamente comentados y de aquellos del medio biofísico, cuya interacción, en el tiempo, definen su dinámica, características y funcionamiento. La Figura 16 ejemplariza estas ideas.

De acuerdo con lo precedente se concluye que existe un **desequilibrio** entre la **oferta ambiental** asociada a las **vocaciones de las tierras** y su **uso** en cerca del 36% de las tierras colombianas. Dada la alta correlación entre la población y los conflictos de uso, se estima que éstos superan el 60% al interior de la frontera agrícola.

En este aspecto sobresalen las siguientes ideas:

De las tierras con **vocación agrícola** en el país (12.7%) sólo se utilizan en estas actividades el 38% de ellas; el porcentaje restante conlleva **sub-utilización**, en la mayoría de los casos. El Recurso

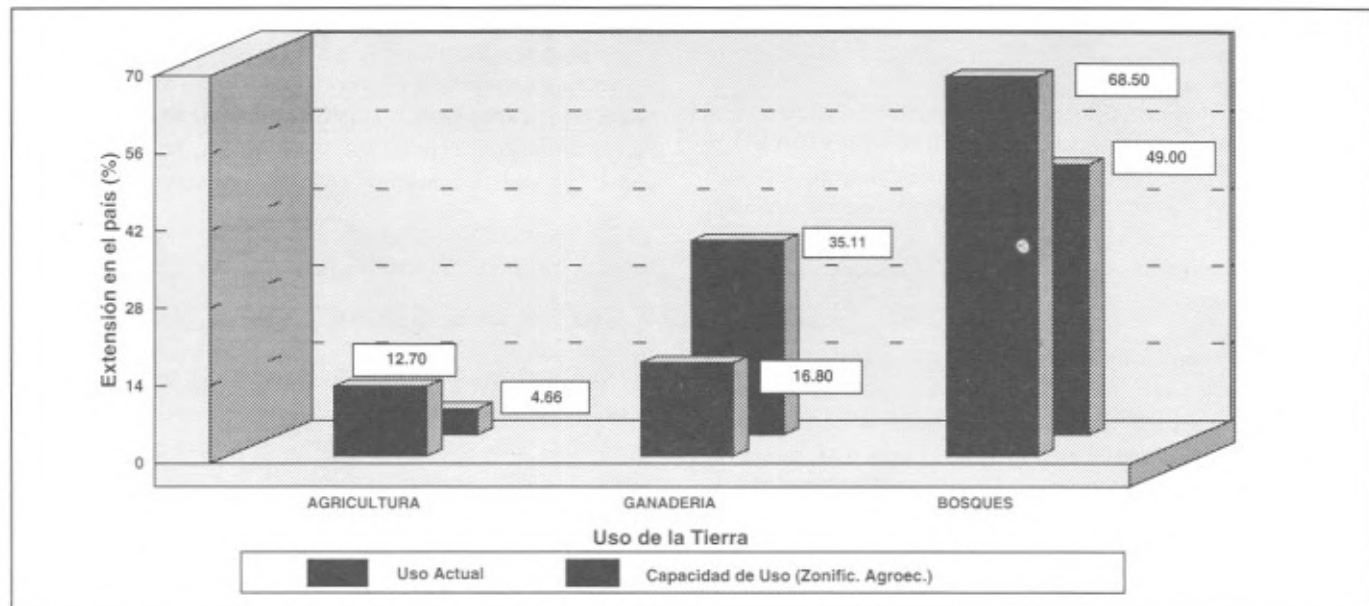


Figura 15. Comparación entre el Uso Actual (IGAC, 1987) y la Capacidad Uso de las Tierras, relacionadas con la Zonificación Agroecológica (IGAC, ICA, 1985), en Colombia (IGAC, 1988).

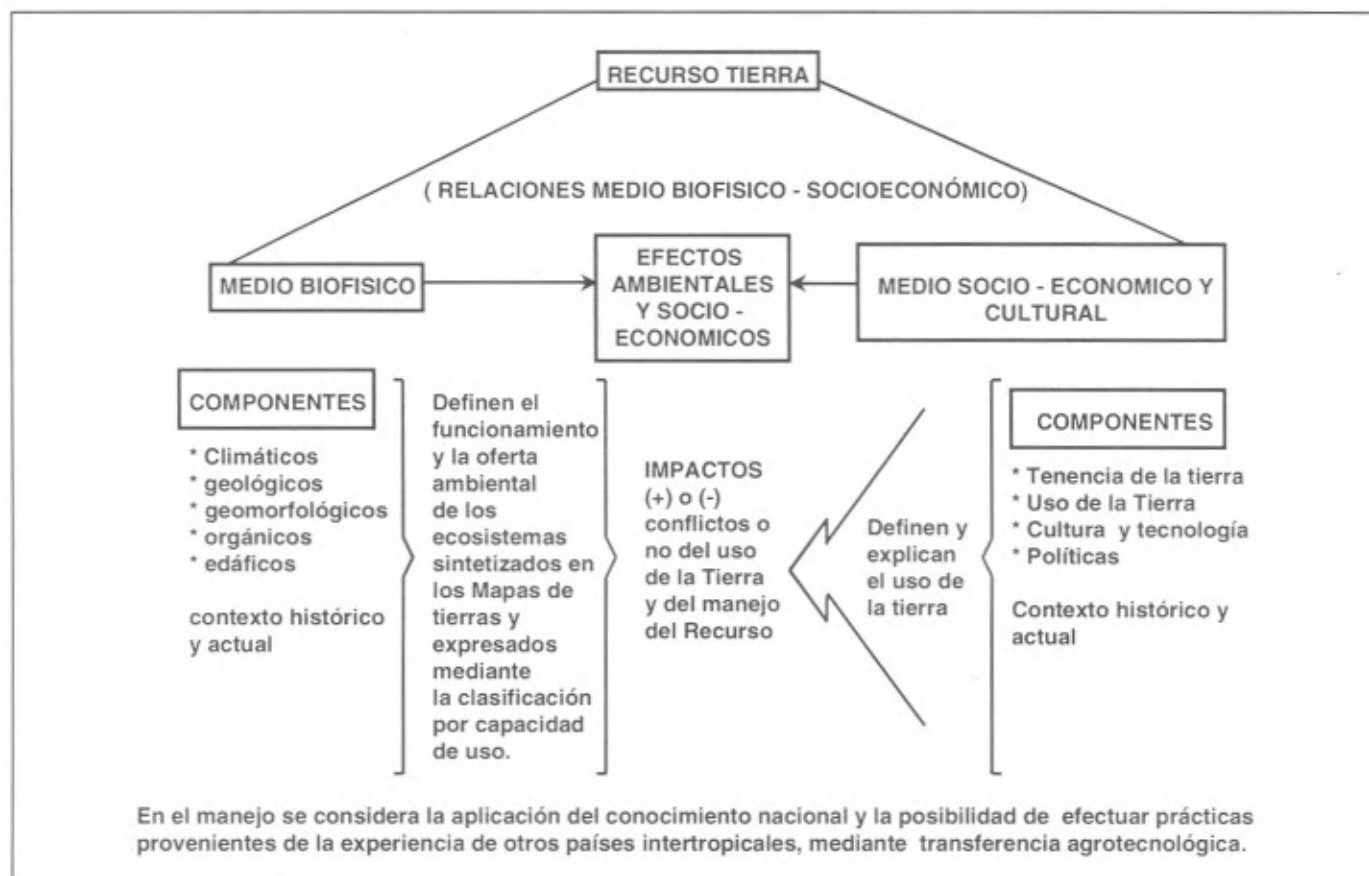


Figura 16. Esquema conceptual para el entendimiento de las relaciones naturaleza - sociedad, aplicado al Recurso Tierra en Colombia.

no se degrada en su calidad biofísica pero no cumple su función social, ni sus objetivos económicos, como ya se ha venido comentando.

Las tierras con **vocación ganadera** abarcan el 16.8% del país; no obstante Colombia contaba, en 1987, con el 35.1% de su territorio en pastos, de los cuales el 87% no recibía prácticas agronómicas para su manejo tecnificado (fertilización, encalado, rotación de potreros, etc.).

El incremento de tierras en pastos se sucede a partir de aquellas con vocación agrícola y que, en consecuencia, generan un «rastroy» social, o de las que tienen aptitud para bosques y que, al ser mal utilizadas en pastos, ponen en grave peligro la **calidad** del Recurso.

Del total de tierras con **vocación forestal** en Colombia (68.5%) en los inventarios llevados a cabo por **IGAC-ICA** (1987) sólo se ha constatado el 49% en bosques primarios.

El potencial del país en cuanto al recurso forestal ha venido decreciendo a causa de la deforestación intensa: cerca de 600.000 ha/año, de las cuales 400.000 son causadas por colonización (**Rico**, 1988, citado por **IGAC**, 1988) y, no evaluadas aún, por actividades relacionadas con plantas psicotrópicas.

De acuerdo con el **IGAC** (1988, p. 81) se puede concluir que «el país presenta un incremento considerable de las tierras dedicadas a pastos, en detrimento de aquellas con aptitud agrícola o forestal». Las últimas encuestas (**DANE**, 1996) confirman, 10 años después, la misma tendencia.

El sustraer tierras con vocación forestal para dedicarlas a la actividad ganadera, degrada los sistemas, causa efectos ambientales negativos, modifica drásticamente los patrones culturales y los de tenencia de la tierra y presenta serias dudas sobre su beneficio económico, especialmente cuando las tecnologías de explotación no han sido evaluadas en toda su complejidad.

Degradación

Las zonas de **discrepancia** entre los usos **actual** y **potencial** o aquellas de **alerta** (en las cuales hay un equilibrio precario), especialmente cuando son de tipo biofísico, debido a que el uso actual no es el más adecuado, en muchos casos, tienden a causar **erosión** y **degradación** de las tierras (**IGAC**, 1988).

La **erosión** se sucede en forma «normal» o geológica y de manera acelerada, por acción del hombre; se manifiesta de múltiples formas: generalizada, concentrada (surcos, cárcavas). Los movimientos en masa (deslizamientos, reptación, solifluxión, etc.), asociados con la gravedad, complementan este marco.

En los procesos erosivos actúan tanto el agua como el viento, con predominio del primero en el país.

Como se anota en **IGAC** (1988, p. 74) «el divorcio entre el uso y la aptitud de la tierra, por cualquier motivo de índole topográfico, climático, edáfico, social, económico o político ha traído como consecuencia la erosión en una gran parte del país, problema que no se soluciona con la búsqueda de la mejor fórmula para calcularla, sino mediante medidas efectivas que permitan prevenirla, evitarla y controlarla».

Los **procesos erosivos** se suceden en las áreas en **conflicto biofísico** especialmente cuando la **erosividad** de la lluvia, entendida como la capacidad que tiene para producir erosión, en función de su energía cinética e intensidad en un período de 30 minutos (**IGAC**, 1988, **IDEAM**, Rey, 1996), es alta o muy alta (Andén Pacífico, Amazonia, parte de la Orinoquia, excepto entre Arauca y el río Vichada, zonas al sur de Magangué, hasta La Dorada, etc.).

La **erosión en Colombia** (**IGAC**, 1988) abarca, en sus diversos grados, el 49.5% del territorio. Las intensidades **severa** y **muy severa** incluyen el 8.5% (9.705.150 ha); mientras que la **moderada** alcanza el 12.9% (14.706.795 ha) y la **ligera** representa el 23.1% (26.337.546 ha); esta última constituye un **estado de alerta** para el país.

La **degradación** de las tierras, como concepto amplio y global, es el proceso o conjunto de procesos que disminuye la calidad del suelo y su capacidad actual y potencial de producción de bienes y servicios (**FAO**, 1980).

En la **degradación** de las tierras, como proceso dinámico, se incluye tanto la **erosión** en sus diversas manifestaciones, como la **salinización**, la **sodización**, la **acidificación**, la **toxicidad**, la **contaminación**, el aumento en la **compactación**, la disminución de la **infiltración** y de la **conductividad hidráulica** y el decrecimiento del **humus**.

En la **degradación** de las tierras colombianas, además del tema de la erosión ya mencionado, se destacan los siguientes aspectos:

- La **salinización** y la **sodificación** como procesos **naturales** se asocian a zonas con deficiente cantidad o distribución de la precipitación anual, la cual limita el lavado de sales solubles, originadas por la alteración de minerales o por materiales parentales altos en ellas. Cuando el hombre interviene, generalmente mediante **prácticas no adecuadas** de riego y drenaje, el proceso tiene origen **antrópico**.

A nivel mundial la producción de cultivos se ha visto afectada, por esta causa, en cerca del 50% del área irrigada (**Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos**, 1997). Si bien sólo se riega el 15% de la tierra cultivada en el mundo ella genera entre el 35 y el 40% de la producción mundial de alimentos. Este aspecto es dramático para los países en vía de desarrollo, los cuales deben incrementar 60% la producción en los próximos 30 años para **mantener el nivel presente** de alimentación en la población proyectada, si se tiene en cuenta que cada año se estima que se pierden 10 millones de hectáreas debido a la salinización de las tierras o a sus inundaciones.

En Colombia la degradación por sales y sodio se ha evaluado recientemente en la Región del Caribe (**IGAC**, 1997). Ella está asociada principalmente a los efectos combinados de clima y materiales de origen y abarca 446.578 ha (3.6%) de tierras afectadas por sales y 933.618 ha (7.9%) por sales y sodio. Dado que esta zona representa la mayor extensión de condiciones **naturales** propicias para estos procesos, puede tomarse como ejemplo crítico de ellas en el país; áreas adicionales son el Valle del Cauca y el valle medio del río Magdalena, ambas representativas de los valles interandinos. Preocupa sí, altamente, la falta de seguimiento de la calidad de las tierras, las aguas y la productividad en los Distritos de Riego y Drenaje, zonas donde el mal manejo puede, por acción **antrópica**, desencadenar estos procesos. El país no cuenta con un inventario al respecto.

La **colonización** es otra causa de múltiples problemas relacionados con la degradación de las tierras colombianas. Un ejemplo típico en el país es el de la colonización de las tierras de los bosques húmedo y muy húmedo tropicales de la Amazonia. En estas zonas tiene sus raíces en los aspectos socio-económicos comentados previamente, en el desplazamiento de campesinos por guerras (la de los Mil Días, por ejemplo) y en la violencia que se inicia a partir del final de la década de los años cuarenta, en la bonanza de ciertos productos (caucho, quina), en

la expansión ganadera y en un desconocimiento de estos ecosistemas.

La **colonización** actúa sobre el Recurso Tierra y ocasiona en él cambios fundamentales que afectan su equilibrio natural; entre ellos:

- a. La **desprotección de las tierras** al eliminarle su cobertura natural afecta negativamente el Recurso, especialmente en zonas donde el clima es agresivo, en esencia su precipitación, sus pendientes son pronunciadas y los paisajes son de montaña o lomerío. Ejemplo claro de ello es la colonización en la zona del Caguán (Caquetá) donde para un área de 453.500 has (sector de los ríos Caguán, Guayas y Ortegua), en el periodo 1969-1988, se deforestaron 304.000 has (16.000 ha/año) (**IGAC**, 1993), con la consecuente degradación del medio, erosión y compactación subsuperficial, la cual disminuye el flujo descendente del agua en el suelo, lo satura (precipitación cercana a 3.500 mm/año) y genera procesos erosivos y de remoción en masa.
- b. La **colonización** de los bosques húmedo y muy húmedo tropicales, sobre suelos altamente evolucionados en paisajes de lomerío, cuya vocación forestal es la predominante, degrada las tierras, elimina gran parte de su biodiversidad y reproduce la tenencia de la tierra al interior de la frontera agrícola, bajo la modalidad ganadera; todo ello constituye un ejemplo claro del mal uso de las tierras. Estas dependen de la parte orgánica para el mantenimiento del bosque, ya que la mineral está altamente meteorizada y no aporta nutrientes (**IGAC**, 1993). Cambiar estos bosques, con toda su biodiversidad, por ganadería (1 cabeza de ganado/ha) es un desacierto inmenso.
- c. La **gran deforestación** en la Cordillera de los Andes y en sus piedemontes causa enormes cantidades de sedimentos; ejemplos de ello son (**HIMAT**, 1984): Alta Orinoquia (piedemonte de los departamentos de Meta, Boyacá y Arauca): 3423 ton/km²/año. En el alto Magdalena (Tolima, Huila, centro y occidente de Cundinamarca): 2352. Alta Amazonia (Putumayo y Caquetá): 2246. Magdalena Medio (Santander, Antioquia, Boyacá): 1673 ton/km²/año. Es obvio que estos sedimentos colmatan los cauces de los ríos (ejemplo: Magdalena), causan inundaciones en las zonas bajas y afectan actividades como la pesca y la agricultura.

d. La **desertización** está íntimamente relacionada con la degradación de las tierras, asociada a la deforestación y a su mala utilización (sobre-explotación, mecanización no técnica) en climas subhúmedos a semiáridos. Como su nombre lo indica estos pseudodesiertos (ejemplo: zonas de Valledupar hacia la Guajira) constituyen otro aspecto de degradación, muchas veces producido por el hombre.

Prácticas inadecuadas de labranza y degradación de las propiedades físicas de los suelos

Muchas prácticas de manejo de tierras, ya sean tradicionales o no adaptadas a las características de los suelos colombianos, son perjudiciales para el Recurso. Entre ellas vale la pena señalar las siguientes:

- Mecanización** excesiva, deficiente o con implementos agrícolas inadecuados (en muchos casos, por ejemplo, el arado de discos); ello ocasiona destrucción de la estructura, compactación y generación de pisos de arado o rastrillo. La mecanización en tierras de alta pendiente favorece la pérdida de suelos.
- Fertilización** inapropiada: excesiva o deficiente. En el primer caso se generan gastos innecesarios, desbalances entre elementos y posibles contaminaciones; en el segundo, rendimientos bajos y, con el tiempo, deterioro o no explotación adecuada del Recurso.
- Práctica de **quemar** en terrenos abruptos; ello genera erosión al desprotegerse el suelo de su cobertura, especialmente al comenzar la época de lluvias.
- La no **rotación de cultivos** y la no incorporación de **materiales orgánicos** generan, a largo plazo, degradación de tierras.

Aspectos químicos

Colombia tiene en un 77.5% regímenes de humedad údico o perúdico (IGAC, ICA, 1985), vale decir predomina la precipitación sobre la evapotranspiración; ello genera condiciones para el lavado de muchos cationes (Ca, Mg, K, Na) y su empobrecimiento paulativo en ellos. El efecto es la **acidificación del suelo** y el incremento en el **aluminio** intercambiable o activo.

- Acidez.** En el país el 85% de su extensión corresponde a suelos con valores de pH inferiores a

5.5; se destacan las regiones de la Orinoquia, Amazonia y del Pacífico. Los suelos con pH en el rango neutro (6.5 - 7.5) sólo cubren el 3.8% de Colombia, ejemplos de ellos se presentan en la Región del Caribe y en el Valle del Cauca (IGAC, 1988).

- El **aluminio de cambio** correlaciona con la acidez; cuando ésta (pH) es menor de 5.5 el elemento incrementa su valor causando toxicidad en plantas no resistentes; no obstante algunas características de los suelos pueden disminuir dicho efecto: materiales parentales, básicos o máficos, contenido de materiales orgánicos, condiciones que favorezcan la precipitación de gibsita, oxidación biológica de compuestos de azufre, etc. En síntesis el aluminio de cambio es un elemento que siempre debe ser considerado en suelos con pH inferior a 5.5.
- Los suelos colombianos presentan en un 98% deficiencia en **fósforo** (IGAC, 1988).

Ello se debe a múltiples factores, entre los cuales sobresalen: la influencia del aluminio de intercambio (un miliequivalente es capaz de fijar hasta 100 ppm de fósforo (Sánchez y Uehara, 1977), los compuestos amorfos (alofanas) derivados de la alteración de cenizas volcánicas (en las cordilleras andinas), alto grado de evolución y dinámica de aluminio y hierro (Orinoquia, Amazonia, etc.).

- Humus.**

La **materia orgánica** y el **humus** de los suelos colombianos constituyen aspectos de suma importancia en los ecosistemas colombianos. Su origen, composición, dinámica y aspectos de fertilidad (asociados especialmente al N, P y S) son fundamentales para el entendimiento tanto de los procesos de génesis de suelos, como de su fertilidad y productividad.

Del estudio adelantado en el país por el Instituto Geográfico (IGAC, 1988) sobresalen los siguientes aspectos:

- Los mayores contenidos de materiales orgánicos se asocian con los suelos de páramo, los evolucionados a partir de cenizas volcánicas en climas húmedos, los Histosoles (Sibundoy, San Miguel de Sema, Atrato) y las áreas de manglares.

- Los menores contenidos (inferiores a 0.5% de C.O.) se asocian con climas con fuerte alternancia estacional y en los secos y cálidos (Guajira y amplias zonas de la Región del Caribe, de los valles interandinos y en la altillanura de los llanos del Meta y Vichada).
- En las Regiones de la Amazonia y del Pacífico los materiales orgánicos se acumulan en la superficie (horizonte O) determinando en ella la clave de su fertilidad.
- e. El uso excesivo de **productos agroquímicos** contamina los suelos, las aguas y degrada el medio ambiente. En las regiones agrícolas más tecnificadas (valles interandinos, Región del Caribe, por ejemplo) el uso desmedido y no tecnificado de plaguicidas constituye una amenaza no evaluada en el país. El suelo, lugar de tránsito obligatorio para estas sustancias, puede inmovilizarlas; la biodegradación o no de ellas influye sobre su permanencia en el mismo.

Otros aspectos que influyen sobre la degradación de las tierras colombianas.

En Colombia se presenta un sinnúmero de aspectos que afectan negativamente uno de sus bienes más preciados: sus tierras. A continuación se enuncian y resumen algunos de ellos.

- a. **Los páramos del país** abarcan entre el 1 y el 2% del territorio patrio; sus características, biodiversidad, importancia como fuentes y reguladores del agua, definen que deben protegerse y conservarse. En consecuencia fomentar la ganadería de altura (vacuna, ovina), cultivos (papa, cereales, etc.) deben desestimularse como política de Estado. La explotación regulada de algunas plantas (quinua, por ejemplo) y animales precolombinos, rescatando su manejo ancestral y en áreas restringidas, podría ser una alternativa de uso controlado.
- b. **Humedades** y zonas con **inundaciones** periódicas.

La destrucción de humedales con fines de explotación agrícola afecta y degrada el ambiente y la calidad de las tierras. Las zonas sometidas a inundaciones periódicas limitan la utilización de las tierras bajo el criterio tradicional de productividad agrícola; no obstante, en algunas circunstan-

cias, constituyen fuentes adicionales de otros productos, de materiales y nutrientes, especialmente importantes en sistemas de agricultura de subsistencia en la Orinoquia, Amazonia y en la Región del Pacífico.

- c. La **minería**, bajo condiciones no controladas, afecta negativamente las tierras, al incidir en su contaminación (explotación de oro, por ejemplo), pérdida de su productividad y valor estético (minas de carbón, canteras, etc.).
- d. La **expansión acelerada** de ciudades sobre zonas de alto potencial agrícola, como en la Sabana de Bogotá y en el Valle del Cauca, disminuye la extensión de las mejores tierras del país. La aplicación de políticas y reglamentos del uso de las tierras en la transición urbana-rural, definiría su adecuada utilización y evitaría aspectos negativos.
- e. Las **vías de comunicación**, construidas sin un conocimiento claro de su impacto ambiental, pueden ocasionar la desestabilización de zonas de vertiente, generando movimientos en masa y degradando las tierras. La construcción de vías en zonas de protección ambiental facilitan su colonización y acarrear consecuencias negativas.

Como lo resume el IGAC (1988, p. 132) «En el país los efectos de la utilización irracional del suelo se manifiestan en su degradación, desertización, erosión y contaminación, fenómeno éste que incluye la salinización, principalmente de las tierras bajo riego». La intervención descontrolada del hombre, bien sea por desconocimiento, necesidad o por falta de control estatal, complementa el marco negativo que afecta las tierras colombianas.

Prospectiva

La prospectiva de los levantamientos de suelos a nivel mundial y la de Colombia, en particular, son aspectos que se tratan a continuación. Estos temas son de especial importancia puesto que se vinculan con el futuro (probable y/o deseable) del inventario del Recurso y, obviamente, con las aplicaciones derivadas del mismo, y con el seguimiento de la calidad de las tierras del país.

Mundial

A finales de 1992 se celebró en Enschede (Holanda) un Taller Internacional, organizado por el ITC (Internacional

tional Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences), con la participación de los directores nacionales encargados de dirigir los Levantamientos de Suelos de los países en vía de desarrollo (Zinck, 1995, Malagón, Olmos, 1995).

El temario del evento y los resultados obtenidos reflejan el **estado actual** y las **tendencias** de estos países, de los cuales Colombia no es la excepción.

A continuación se presentan, en forma resumida y para su comparación, las **tendencias** de los países **desarrollados** y de los que están en **vía de desarrollo**.

Países desarrollados

1. Gran parte del territorio está inventariado a escalas apropiadas. Las tendencias futuras son las siguientes:

- Seguimiento de la calidad del Recurso (erosión, desertización, contaminación).
- Estudios sobre **variabilidad espacial**, generación de información estadística, datos continuos e isoclinas de atributos. Evaluación cuantitativa de atributos en función del cambio (espacio y tiempo) en el uso de los suelos.

Conformación de equipos **multidisciplinarios** orientados a resolver problemas (contaminación, desertización), directamente asociados con aspectos y necesidades de la Sociedad (Beek, 1997).

2. Amplia utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), Sistemas de Información de Suelos (SIS), Sensores Remotos Avanzados (GPR, por ejemplo), Modelos de Elevación del Terreno (MDE) y **alta tecnología**.
3. En Europa Occidental la tendencia es hacia el cambio de investigación **agrícola** a investigación **ambiental** (por ejemplo sobre sus relaciones con el cambio global).
4. Cada día la **brecha tecnológica y científica** es **mayor** con relación a los países en vía de desarrollo.

Países en vía de desarrollo

1. Gran parte de su territorio está **inventariado a escalas pequeñas** (<1:250.000), no aptas para planificación y operación de proyectos. Deben priorizarse levantamientos a escalas 50 - 25.000 y mayores. En Colombia aproximadamente el 6%, de los Levantamientos está a estas escalas; no obstante, hay un conocimiento prácticamente total a escalas pequeñas, Figura 17.

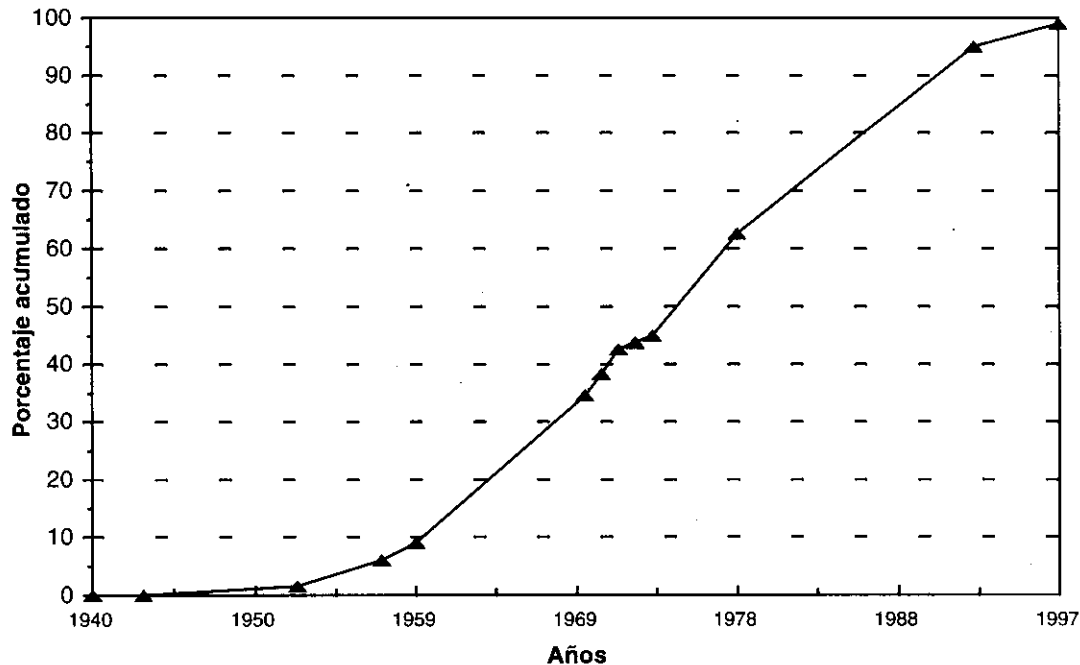


Figura 17. Desarrollo del porcentaje de la extensión del país con levantamientos de suelos, sin especificar por escalas o niveles de éstos.

2. Deben incrementarse las **aplicaciones multidisciplinarias** de los Levantamientos de Suelos (multipropósito), acordes con las necesidades de los clientes. Ello, además, eleva su **valor agregado** y repercute favorablemente en la evaluación: costo/beneficio. Es evidente la necesidad de integrar **equipos multidisciplinarios** (Beek, 1997).
3. Los Levantamientos de Suelos deben ser más **flexibles y diversificados** en su aplicación (evaluación de tierras, conservación y manejo de suelos, sostenibilidad, etc.). Además sus resultados deben ser **accesibles e inteligibles** por los no especialistas.
4. En el **futuro** los levantamientos de suelos deberán estar más dirigidos a **resolver problemas** y a participar en proyectos de **investigación aplicada** que al mapeo sistemático.
5. **Nueva tecnología - Nuevas ideas.** La tecnología existe, falta su utilización plena en los levantamientos de suelos. No obstante surgen 2 **peligros**:
 - a. Utilizar tecnología sofisticada con **datos de baja calidad**; ello afecta la validez de **modelos** relacionados con el Recurso.
 - b. Se presenta un sesgo comercial en relación con el hardware y el software; debe constituirse, en consecuencia, un «control ético» al respecto.
6. Los requerimientos en capacitación según encuesta del ITC en 47 países (1987 - 1990), (Zinck, 1995) siguen el siguiente orden de prioridades: Aplicaciones multipropósitos de los levantamientos de suelos, génesis y relación suelos - geoformas (conocer para mapear y manejar), los aspectos tecnológicos, según la encuesta, tienen menor prioridad.
7. Las apropiaciones **presupuestales**, en opinión de los países consultados, tienen tendencia a incrementarse (54% de los encuestados), a disminuir (36%) o a permanecer sin cambio (10%). En Colombia el presupuesto de inversión **para estas labores**, relacionado con la Institución que las adelanta (IGAC), registra un decrecimiento gradual si se comparan las décadas de los años setenta, ochenta y noventa (IGAC, 1997b), tal como se puede apreciar en la Figura 18.
8. Los levantamientos de suelos, en síntesis, constituyen una disciplina científica aplicada (interdisciplina)

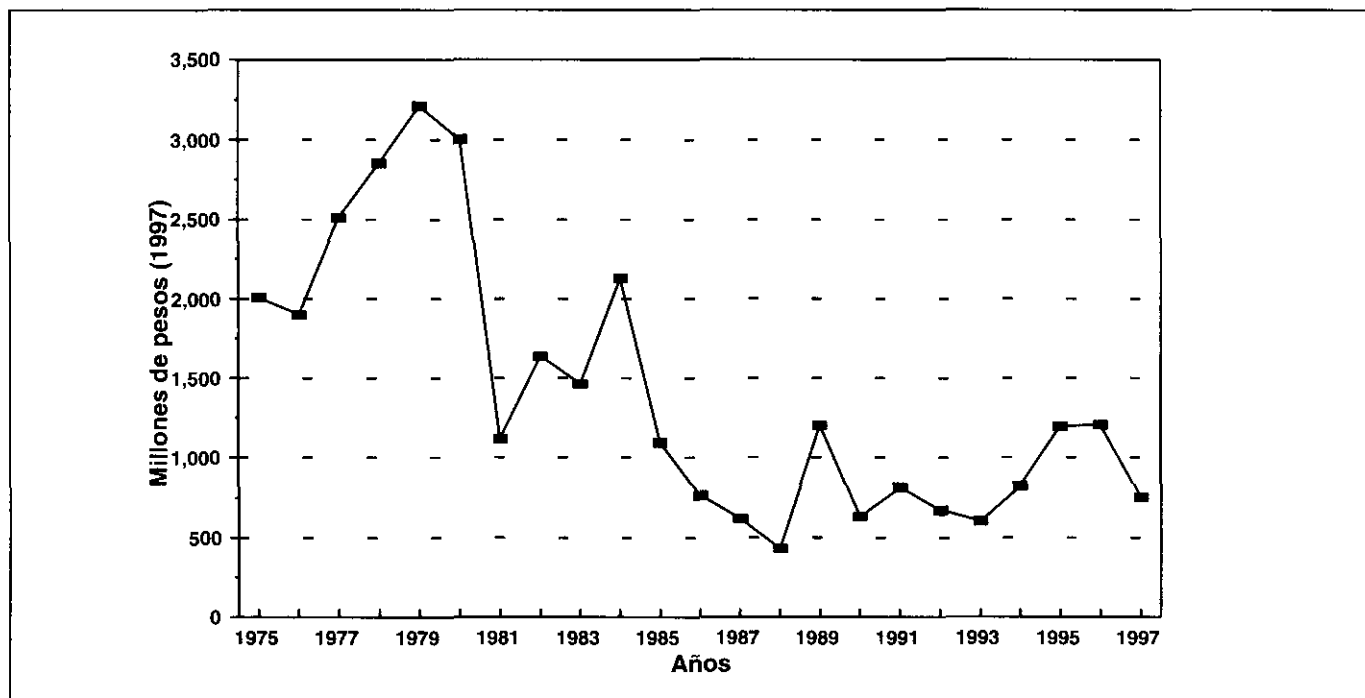


Figura 18. Presupuesto anual de inversión del área de Agrología del IGAC (Pesos de 1997), IGAC (1997 b).

que debe **asimilar** los avances tecnológicos y **desarrollar** metodologías creativas, multidisciplinarias e innovadoras para que se ajusten a los requisitos de la **sociedad**.

9. La **cooperación internacional** constituye un medio importante de transferencia tecnológica en levantamiento de suelos a los países en vía de desarrollo (ejemplo: Proyecto Soter, World Soil and Terrain digital data base).

Nacional

Si bien en la discusión previa Colombia participa de muchos de los comentarios comunes a los países del tercer mundo, resaltan diferencias **significativas y positivas**, entre ellas:

- La **continuidad**, durante 5 décadas, de labores ininterrumpidas en Levantamientos de Suelos, centralizadas en un Instituto (IGAC) con una infraestructura completa para realizarlas (disponibilidad de cartografía, fotos aéreas e imágenes de otros sensores remotos, sistemas de información geográfica unificados, laboratorios, etc.). Ello implica una experiencia **acumulada** significativa.
- Los informes de los levantamientos de suelos han **trascendido el aspecto temático** para conformar estudios integrales de las tierras del país y de su zonificación biofísica. Sus características descriptivo-interpretativas y de síntesis ambiental constituyen verdaderos aportes al conocimiento del **inventario** de sus **Recursos Naturales**.
- La **síntesis** de cerca de 300 informes municipales y departamentales (IGAC, 1989) se han compendiado en la obra Suelos y Bosques de Colombia (IGAC, 1988), con lo cual se facilita la **visión integral del país** en estos aspectos; vale decir en su geomorfología-fisiografía, zonas de vida, bosques, suelos, temas específicos de suelos (regímenes de temperatura, mineralogía de arenas y arcillas, contenido de M.O., indicativos de su fertilidad, etc.), erosividad, uso actual, capacidad y conflictos de uso, erosión, zonificación agroecológica y factores que afectan ambos Recursos.
- El soporte **académico** y las **normas y procedimientos** relacionadas con el estudio del Recurso están claramente definidos y adaptados al país; ejemplos de ello son las publicaciones Suelos de Colombia (IGAC, 1995), Métodos Analíticos del Laboratorio

de Suelos (IGAC, 1990); Metodologías Nacionales sobre Cobertura y Uso de las Tierras (IGAC, 1996b), Zonificación Agroecológica (IGAC, 1995), Capacidad de Uso (Burgos, 1994) Zonas Homogéneas de Tierras con fines catastrales, etc.

- La **Base de Datos** de Suelos y Tierras y los Sistemas de Información Georreferenciados sintetizan el **conocimiento nacional** sobre estos temas.
 - El **Museo de los Suelos** de Colombia, presentado dentro de un contexto ambiental y por Regionales Naturales, como producto del programa nacional de Reconocimiento de Suelos del IGAC (IGAC, 1990a), constituye un importante aporte al conocimiento y a la enseñanza de este Recurso.
 - Los **problemas** vinculados con la utilización tanto del Recurso como de sus asociados, es motivo de investigaciones específicas; ejemplos de ellas son los programas en las regiones del Pacífico y de la Amazonia (IGAC, 1993, 1996, 1997).
 - El **Laboratorio de Suelos**, aguas para riego y tejidos vegetales del IGAC es uno de los más modernos y completos en latinoamérica; vale la pena señalar que, a diferencia de muchos otros, no sólo es un laboratorio de análisis químicos sino de los físicos, mineralógicos y micromorfológicos. En consecuencia no hay limitaciones en cuanto al apoyo analítico para adelantar estas labores.
 - Los **informes de los Levantamientos de Suelos** a nivel departamental que abarcarán cerca de la mitad de los departamentos del país en 1998, constituyen un verdadero aporte al conocimiento de estos recursos, a su problemática y al apoyo a la planificación y a la zonificación de las tierras colombianas (Figura 19).
- La **estructura de estos informes** se ha venido adaptando a las condiciones de los usuarios-clientes, mediante la utilización de un lenguaje más fácil de entender. La concentración de la descripción de perfiles y los datos pormenorizados de los análisis de laboratorio se presentan en los anexos (diskettes); los mapas de los informes comienzan con aquellos que generan el **conocimiento básico**, continúan con su **interpretación** para los diferentes usuarios y finalizan con la **zonificación** de las tierras (Figura 20).
- El **Catastro rural** nacional, tradicionalmente apoyado en la aplicación del inventario de tierras, ha

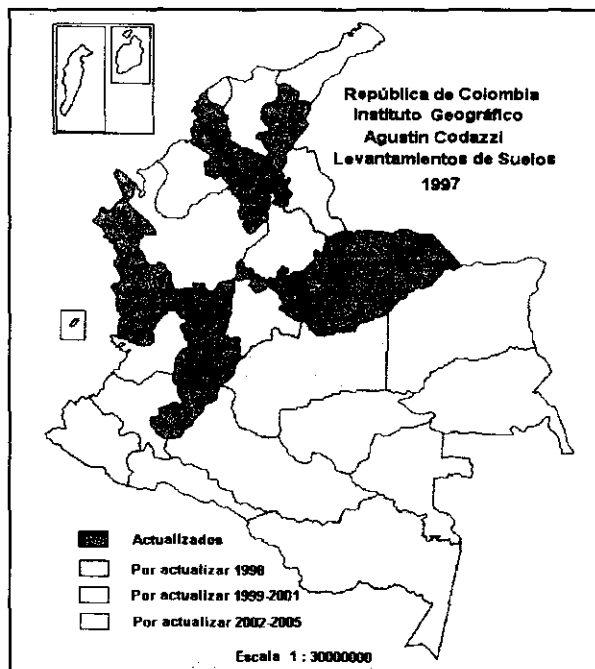


Figura 19. Levantamientos de suelos actualizados y por actualizar a nivel departamental.

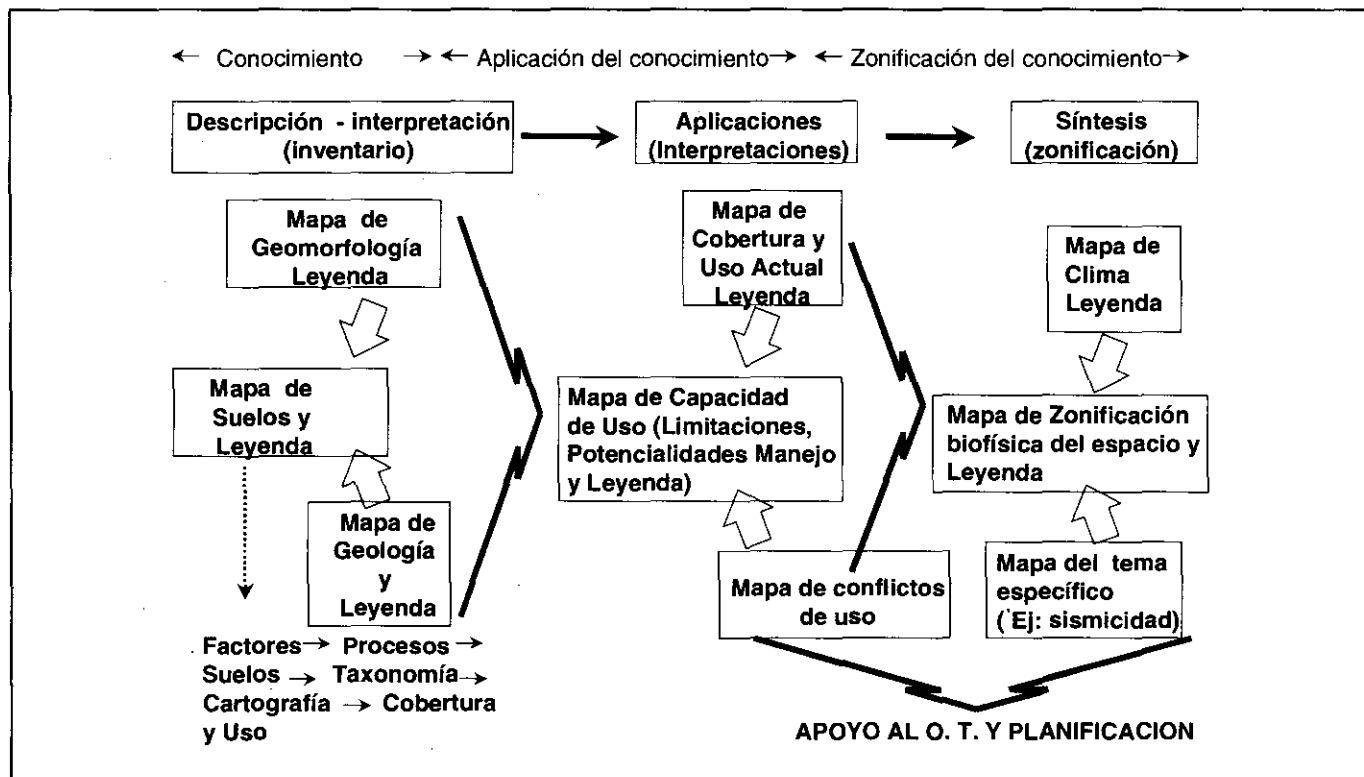


Figura 20. Secuencia seguida en la presentación de los mapas de los levantamientos de suelos a nivel departamental en el Instituto Geográfico.

tenido un sólido aporte a través de la conformación de las denominadas Zonas Homogéneas de Tierras, a partir de las cuales y por su escala (1:25.000) se genera gran parte de la información sobre ellas, útil para su aplicación en procesos de planificación municipal.

Si bien todo ello ha sido **positivo** para el país y permite que sobresalga en el contexto latinoamericano, se presentan también **aspectos preocupantes**, entre ellos y en síntesis, se comentan los siguientes:

- La **estructuración académica** de los profesionales que trabajan en estas disciplinas, tanto en el Levantamiento de Suelos como en los laboratorios especializados (mineralogía, bioquímica del humus y micromorfología de suelos, por ejemplo) y en sus investigaciones, aplicaciones y evaluaciones, etc., constituyen seria preocupación al no contarse, o ser extremadamente reducidos, los centros o universidades que las adelanten con suficiente profundidad. Los posgrados existentes, en la actualidad y salvo algunas excepciones no las contemplan al nivel requerido.
- Los Levantamientos de Suelos a **escalas grandes** (semidetallados y detallados) integran un porcentaje bajo del país (6%). Ello limita la intervención directa en aspectos aplicados relacionados con la planeación y operación de proyectos.
- La **poca comercialización** de estos estudios, calificados como muy especializados y técnicos, asociada con la falta de conocimiento general para aplicarlos en toda su potencialidad, constituye otra limitación y círculo vicioso: se limita su publicación masiva, se difunden poco y, en consecuencia, su aplicación se reduce, con lo cual baja su demanda.
- Los **presupuestos de inversión** y las tendencias en relación con los presupuestos totales de las Entidades que realizan estos trabajos, como indicadores de su importancia relativa, muestran tendencias preocupantes dado que, por ejemplo, en el IGAC, encargado tradicionalmente de estas labores, en la década de los años setenta representaba el 10.3%, en la de los 80 el 6.6% y en la de los años 90 el 3.3%.

La **prospectiva**, a nivel nacional, en relación con los temas que se vienen tratando, está resumida gráficamente en los conceptos presentados en la Figura 21.

- La **prospectiva** parte del **estado actual** del conocimiento y de sus aplicaciones; vale decir del inventa-

rio de suelos y recursos asociados y de la evaluación y aplicaciones del potencial de las tierras, fundamentado en un **marco conceptual: el medio biofísico y su sostenibilidad**.

- Los **conflictos de uso** de las tierras, sus consecuencias y soluciones, y las estrategias en el corto plazo conforman los aspectos a tratar en la **segunda fase de la perspectiva**, bajo un marco base que incluye: investigación, validación y aplicación tecnológica, ordenamiento del territorio y planificación del desarrollo.
- Las **políticas de Estado**, claramente definidas y aplicadas, constituyen el requisito para asegurar el futuro del Recurso.

Muchos de los conceptos presentes en la Figura 21 han sido ya comentados. Vale la pena, ahora, hacer énfasis en otros; entre ellos:

- a. **Normalización y estandarización** de las bases de datos y sistemas de información georreferenciados para que, a la vez que plasmen el conocimiento nacional sobre el Recurso Suelo y sus asociados, permitan intercambiar información, de manera compatible, tanto entre las Entidades vinculadas al tema como con los usuarios.
- b. El **seguimiento** del Recurso Suelo en sus múltiples aspectos (por ejemplo: erosión, uso de la tierra, degradación física, contaminación, etc.), y aquellos vinculados al mismo (por ejemplo: cobertura vegetal), debe ocupar especial lugar en estas políticas.

El no adelantar este seguimiento en términos definidos, trae por consecuencia el desconocimiento de la evolución de su **calidad** en el tiempo.
- c. La aplicación de los Levantamientos de Suelos a la **planificación** y al **ordenamiento del territorio** debe establecerse mediante la discusión de metodologías, obviamente dependientes del propósito y escala de los mismos. El no hacerlo trae por resultado la duplicación de esfuerzos, dinero y la confusión en los entes encargados de tales labores.

Con la finalidad de asegurar la calidad y el uso racional y sostenible del Recurso Suelo es urgente que el país **defina y reglamente** la **política nacional** al respecto; en otras palabras debe **reglamentarse** el **Código de Recursos Naturales (INDERENA, 1984)**, en lo que a Suelos y Tierras se refiere.

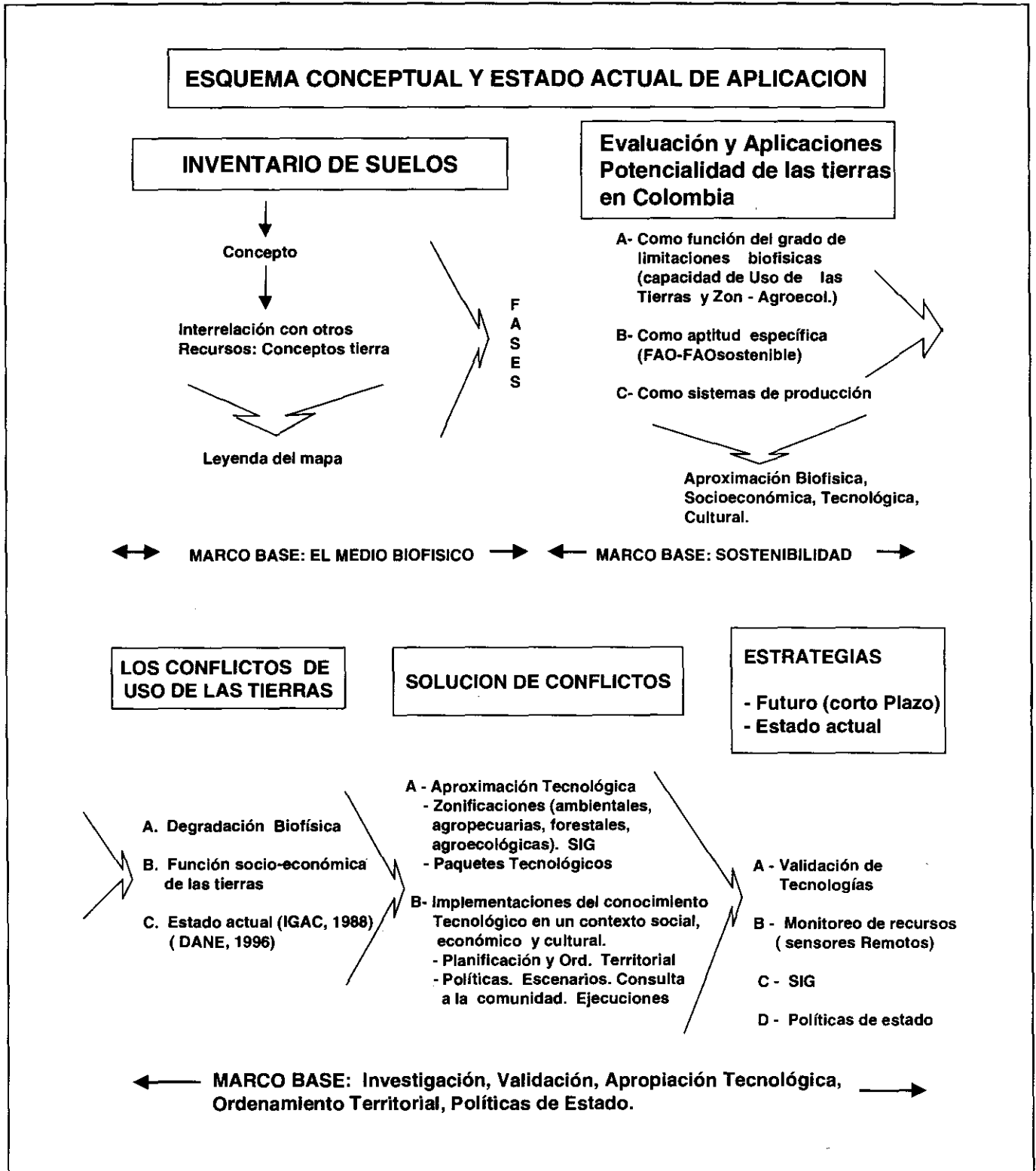


Figura 21. Esquema conceptual y estado actual de aplicación del Inventario de Suelos en Colombia: se incluyen las evaluaciones de tierras, los conflictos en el uso de las mismas y las estrategias para la solución de los conflictos resultantes (IGAC, 1995).

Aspectos a resaltar en estas políticas deberían ser:

- Definición y establecimiento de **estrategias educativas** y de **investigación**, a todo nivel, para estudiar, investigar, divulgar, aplicar y manejar correctamente los suelos colombianos.
- **Coordinación** entre los diversos **organismos**, de acuerdo con funciones claramente establecidas, tendiente a optimizar recursos, tanto humanos como financieros, y evitar la duplicación de esfuerzos.
- Definición de criterios para la **transferencia de tecnología** a nivel internacional y nacional, desarrollo de paquetes tecnológicos para el manejo de tierras y asistencia técnica para su utilización por parte de los usuarios de ellas, quienes, en última instancia, son los responsables de la utilización y manejo del Recurso.
- **Definición y normas de manejo** de tierras con la finalidad de asegurar su uso y manejo sostenible. En este aspecto las zonificaciones de las tierras (ejemplos: capacidad de uso, zonificación agroecológica, zonificaciones biofísicas a nivel departamental, zonificaciones por «vocaciones» de las tierras, zonificaciones basadas en evaluaciones multidisciplinarias de las tierras mediante aplicación de Metodologías como la de la **FAO**, 1984, etc.), tienen un valor muy importante puesto que generan el marco espacial para la aplicación de las políticas.
- **Definición de áreas y normas** que conduzcan a la conservación y protección de los suelos.
- **Definición y normas de manejo** de suelos hidromórficos, humedales, suelos orgánicos y de aquellos sometidos a actividades de riego y drenaje.
- Definición de áreas en **conflicto de uso** y asignar responsabilidades para resolverlos.
- Definición de **estándares y normalización de los Levantamientos de Suelos** y de los **Métodos Analíticos** (Laboratorio) para evaluar tanto su fertilidad como los relacionados con su manejo físico y su taxonomía.

Bibliografía

Ahrens, R. J. ; R. J. Engel. 1994. Soil Taxonomy-The Changes and their rationale. In Vol. 6a : Commission V : Poster Sessions. Transactions. 15 Congr. Mundial de la Ciencia del Suelo. Acapulco, México. p. 352-353.

- Alameda, O. R. 1994. Breve análisis de la evolución histórica de la propiedad rural y de la producción agrícola. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Económicas. (29) : p. 22 - 24.
- Beek, J. K. 1997. Opening Address. Conference on Geo-Information for Sustainable Land Management. Enschede. The Netherlands. 7 p.
- Burgos, L. 1994. Clasificación de tierras por su capacidad de uso. Inst. Geog. Ag. Codazzi. Subd. Agrol. Bogotá (comunicación personal).
- Cortés, L. A. ; C. D. Malagón. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombiana de Impresos Ltda. Bogotá. 360 p.
- Del Llano, B. M. 1956. Phylogenetic classification of the soils of the world. C. R. 6e. Congr. Intern. Sci. Sol. Paris. p : 275-278.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 1996. Encuesta Nacional Agropecuaria. Bogotá.
- Echavarría, O. H. 1985. El sentido común en la reforma agraria. Ed. Andes. Bogotá. 194 p.
- FAO. 1976. A framework for Land Evaluation. Soils Bulletin. 32. Rome.
- _____. 1976. Esquemas para la evaluación de tierras. Boletín de Suelos 32. Servicio de recursos, fomento y conservación de suelos. Dirección de fomento de tierras y aguas.
- _____. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 p.
- _____. 1983. Directivas : Evaluación de tierras para la agricultura en Secano. Boletín de Suelos. (52) :. Roma. 237 p.
- FAO. 1984. A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. Wageningen. 87 p.
- _____. 1990 a. Directivas : Evaluación de tierras para usos forestales. Boletín de Montes 48. Roma.
- _____. 1990 b. Evaluación de tierras para la agricultura en regadío. Directivas. Boletín de Suelos 55. Roma. 289 p.
- Farshad, A. ; J. A. Zinck. 1993. Seeking agricultural sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 47, Elsevier Sci. Publ. Amsterdam. p. 1 - 12.
- Fitzpatrick, S. 1997. Reunión Internacional del WRB. Suelos pampeanos. Mesas de discusión durante la reunión. Argentina.
- Haskett, D. J. 1995. The philosophical basis of soil classification and its evolution. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 59. p. 179-184.
- HIMAT. 1984. Aporte de sedimentos (mapa escala 1 : 1.500.000). Informe preliminar no publicado.
- INDERENA. 1984. Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. Ed. Univ. Pedag. y Tecnol. de Colombia. Tunja. 140 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 1996. Manual para el diagnóstico y monitoreo de la erosión. Elaborado por Jaime Rey. Proyecto Erosión.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1954. Estudio de suelos del distrito de irrigación del río Coello, departamento del Tolima. Bogotá. 198 p. Dos mapas.
- _____. 1973. Clasificación de tierras por su capacidad de uso. Subd. Agrol. Bogotá. 18 p.

- _____. 1975. Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Subd. Agrol. Bogotá. 21 p.
- _____. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa del mapa ecológico. Subd. Agrol. Bogotá. 238 p.
- _____. 1980. Estudio general de suelos de la región del Darién. Bogotá. Subd. Agrol. 654 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 1981. Normas y especificaciones para los estudios de tipo general y semidetallado. 37 p.
- _____. 1983. Mapa de suelos de Colombia. Subd. Agrol. Bogotá. 86 p.
- _____. 1986. Clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá, D. E. Subd. Agrol. 36 p.
- _____. 1986. Diagnóstico geográfico de la Orinoquia colombiana. Proyecto de investigación en la Orinoquia. Programa Segunda Expedición Botánica. Subd. de Geografía. Bogotá. 6 volúmenes. Mapas.
- _____. 1987. Mapa de uso actual de la tierra en Colombia. Bogotá. 43 p.
- _____. 1988. Suelos y bosques de Colombia. Subd. Agrol. Bogotá. 135 p.
- _____. 1989. Actividades y realizaciones de la Subdirección de Agrología. 2a. Ed. Bogotá. 40 p.
- _____. 1990. Métodos analíticos del Laboratorio de Suelos. V Edición. Subd. Agrol. Bogotá. 502 p.
- _____. 1990 a. Plegable Museo de Suelos de Colombia. Laboratorio de Suelos. Subd. de Agrología. Bogotá, D. E.
- _____. 1990 b. Propiedades físicas de los suelos. Subd. Agrol. Bogotá. 813 p.
- _____. 1991. Estudio semidetallado de suelos del sector Carimagua-Gaviotas. (Dptos del Meta y Vichada). Subd. Agrol. Bogotá. 336 p. y mapas.
- _____. 1993. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento de Caquetá. Programa Investigaciones para la Amazonia-INPA. Ed. Tercer Mundo. Tres tomos y mapas. Bogotá. 1641 p.
- _____. 1995. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Subd. Agrol. Bogotá. 632 p.
- _____. 1995 a. Conceptos básicos sobre sistemas de información geográfica y aplicaciones en Latinoamérica. Subd. de Cartografía. Bogotá. 100 p.
- _____. 1995 b. Modelo de datos. Catálogo de objetos CO-25. Versión 2.0. Subd. de Cartografía. Publ. Cultural. Bogotá. 115 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 1995 c. Clasificación agroecológica. Subd. Agrol. (documento interno). 23 p.
- _____. 1996. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú (Dpto de Vaupés). Subd. Agrol. Ed. Linotipia Bolívar y Cía. Bogotá. 3 Tomos. Anexos y mapas. 1261 p.
- _____. 1996 a. Catastro Nacional. Subd. Catastro. (comunicación personal).
- _____. 1996 b. Cobertura y uso : Clasificación del uso actual de las tierras. Subd. Agrol. Santa Fe de Bogotá. 52 p.
- _____. 1996 c. Manual codificado para levantamientos de suelos. Subd. de Agrología. Bogotá.
- _____. 1996 d. Modelo de datos urbano. Catálogo de objetos CO-U y Catálogo de símbolos CS-2000. Subd. de Cartografía. Ed. Gráficas Colorama. Bogotá. 112 p.
- _____. 1997. Areas homogéneas de tierras con fines catastrales. Elaborado por Hipólito Chaves B. Subd. Agrología. Bogotá (sin publicar). Bogotá. 51 p.
- _____. 1997 a. Evaluación de tierras por su aptitud de uso con aplicación del Programa ALES. Estudio de caso : Cuenca del Embalse del Muña. Depto de Cundinamarca. Elaborado por Edna Margarita Garzón G. Subd. de Agrol. Doc. interno. Bogotá.
- _____. 1997 b. Historia Presupuestal del IGAC. Oficina de Planeación y Evaluación de Operaciones. Bogotá. 11 p.
- _____. 1997 c. Investigaciones para la Amazonia, INPA III. Estudio diagnóstico sobre los medios biofísico y socioeconómico como base para el ordenamiento territorial del Trapecio Amazónico (Leticia, Puerto Nariño y Tarapacá) depto de Amazonas. Segundo informe de avance. Bogotá. 204 p.
- _____. 1997 d. Los suelos de la región Caribe. Subd. Agrol. Bogotá. 113 p.
- _____. **Instituto Colombiano Agropecuario.** 1985. Zonificación agroecológica (Memoria explicativa). Bogotá, D. E. Subd. Agrol. 86 p.
- _____. **Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente.** 1984. Mapa de Bosques de Colombia (Memoria explicativa). Bogotá, D. E. 206 p.
- Iragorri, J. A. ; Santacruz, F.** 1987. Problemas significativos de la estructura agraria colombiana. Fondo de Publicaciones del Senado. Ed. Elocuencia. Bogotá. 354 p.
- Jenny, H.** 1948. Grandes grupos de suelos en las regiones ecuatoriales de Colombia, Suramérica. Trad. Soil Sci : Vol. 66. No. 1. Julio/48.
- _____.; **F. Bingham ; S. B. Padilla.** 1948. Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia, S. América. Soil Sci. 66(3) : 173-186.
- _____. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. Soil Science. Vol. 68 (6) : 419-432.
- _____. 1950. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. Soil Sci. Vol. 69 :63-69.
- _____. 1961. Comparison of soil nitrogen and carbon in tropical and temperate regions. Missouri Agr. Exp. Stat. Res. Bull. 765 :5-31.
- Klingebiel, A. A. ; Montgomery, P. H.** 1961. Land capability classification. USDA. Agr. Handbook 210. Soil Conserv. Serv. Print Office. Washington. 21 p.
- Lafaurie Acosta, Jose V.** 1946. Clasificación y valorización de tierras. Inst. Geogr. A. Codazzi. Ed. Centro. Bogotá. 320 p.
- Malagón, C. D. ; E. Olmos M.** 1995. Colombia (Country Report). In Soil Survey : Perspectives and strategies for the 21st century. Ed. J. A.

- Zinck. Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands. p. 69 - 77.
- Maletic, J. T. ; T. B. Hutchings.** 1967. Selection and classifications of irrigable land. *In Irrigation of agriculture lands* : Hagan, R. M. Haise, H. R. ; T. W. Edminster Ed. Madison. Amer. Soc. Agron. P. 125-173.
- Ministerio de Agricultura. INCORA.** 1987. Seminario sobre colonización. Paipa, Boyacá.
- National Soil Survey Laboratory Staff.** 1995. Soil Survey Laboratory Information Manual. USDA. NRCS. Soil Survey Inv. Report. No. 45. Versión 1.0. Nat. Soil Survey Lab. Lincoln. Nebraska 305 p.
- _____. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. USDA. NRCS. Soil Survey Inv. Report. No. 42. Versión 3.0. Nat. Soil Survey Center. Washington. 693 p
- Pérez Arbeláez, E.** 1959. Recursos Naturales de Colombia. Quinta entrega. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Depto. de Investigaciones. Sección de Investigaciones Geoeconómicas. Vol. II Imprenta del Banco de la República. Bogotá. 74 p.
- Proyecto Radargrametrico del Amazonas (PRORADAM).** 1979. La Amazonia colombiana y sus recursos. 5 Tomos. Bogotá. IGAC, CIAF. 590 p.
- Rossiter, G. D.** 1994. Non-FAO land classification methods. Cornell University. [http:// www.scas.cit.cornell.edu/landeval/lenotes/s491.chzhm](http://www.scas.cit.cornell.edu/landeval/lenotes/s491.chzhm).
- Rossiter, D.; Jiménez, A. y Van Wambeke, A.** 1995. Sistema automatizado para la evaluación de tierras (ALES). Versión 4.5 en español : Manual para usuarios. Revisión 5. Ithaca, USA : Cornell, University. Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences. SCAS. 222 p.
- Ruiz, J. I. ; García Espinel.** 1952. Plan de diez años para la Clasificación de los Suelos de Colombia. Inst. Geogr. Ag. Codazzi. Sección de Suelos. Pub. Especial No. 8. Ed. Colombia. Bogotá. 37 p.
- U. S. Department of Agriculture. SCS.** 1983. National Soils Handbook. Washington. U. S. Gov. Print. Office.
- U.S. Department of the Interior.** 1951. Irrigated land use. Part 2 : Land Classifications. Bureau of Reclamation Manual. Vol. 5. Washington. U. S. Gov. Print. Office.
- Salinity Laboratory. USSL.** 1997. Why do we irrigate ? What happen when you irrigate ?. Internet :www.usss.ars.usda.gov.
- Sánchez, P. A.; Huehara.** 1977. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. *In The role of phosphorus in agriculture.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wis. p.417-514.
- Schaufelberger, P.** 1944. Apuntes geológicos y pedológicos de la zona cafetera de Colombia. Tomo I. Imprenta Nal. Manizales.
- _____. 1955. Un sistema para la clasificación de los suelos de Colombia. Bol. Inf. Centro Nal. Inv. Café. Chinchiná. Vol. VI. No. 63. 83 p.
- Simmonson, W. R.** 1985. Historical aspects of soil survey and soil classification. Part IV: 1931-1940. Soil Taxonomy News No. 10 :16-17.
- Simmonson, W. R.,** 1985 a. Historical aspects of soil survey and soil classification. Part VI : 1951-1960. Agrot. Transfer. (1) : 9-11.
- Smyth, A. J. ; Dumanski.** 1993. FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resource Reports 73, Rome.
- Soil Survey Division Staff.** 1993. Soil Survey Manual. USDA. Handbook 18. Washington. 437 p.
- Soil Survey Staff.** 1951. Soil Survey Manual. USDA. Handbook. 18. U. S. Govt. Print. Office. Wash. D. C.
- _____. 1975. Soil Taxonomy. Agric. Handbook 436. SCS-USDA. 744 p.
- _____. 1983. Guide for interpreting engineering uses of soils. Soil Conservation Service. USDA. Nat. Soils Handbook. P. 603.
- _____. 1996. Keys to Soil Taxonomy. Seventh Ed. USDA. NRCS. 644 p.
- Sunkel, O.** 1983. La interacción entre los estilos de desarrollo y medio ambiente en América Latina. *En Ecodesarrollo, el pensamiento del decenio.* INDERENA, PNUMA. P. 179-240.
- Urrego, M. G.** 1985. La distribución de la tierra en Colombia. Comportamiento en el período 1960-1984. Revista ICA (20) : p. 76-82.
- Valenzuela, C. R.** 1988. ILWIS overview. ITC Journal 1988. P. 45-50.
- Zinck, J. A.** 1988. Physiography and Soils. Soil Survey Courses. Subject matter: KG 1988/89. Chapter 2. ITC. Holanda. 156 p.
- Zinck, J. A.** 1990. Soil Survey-Epistemology of a vital discipline. Internat. Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands. 40 p
- Zinck, J. A. (Ed).** 1995. Soil Survey : Perspectives and Strategies for the 21st. Century. Internat. Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands. 132 p.

ATMOSFERA Y OCEANO EN EQUILIBRIO RADIATIVO¹

por

Joaquín Pelkowski*

Resumen

Pelkowski, J.: *Atmósfera y océano en equilibrio radiativo.* Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 53-67. 1998. ISSN 0370-3908.

Se describe una extensión de un modelo clásico de la teoría de capas planetarias en equilibrio radiativo. El tratamiento se hace de acuerdo con el conocido esquema de Eddington. La extensión consiste en incorporar los efectos de la reflexión (isotrópicamente difusa) de la energía solar en la superficie que separa la atmósfera de un planeta y su capa superficial. El modelo, en cuyo diseño también se tiene en cuenta la absorción de radiación de onda corta, comprende los modelos de la misma clase hasta ahora elaborados. A título de ilustración, el modelo es aplicado a la atmósfera terrestre y al océano, para los cuales se calculan posibles perfiles de temperatura.

Palabras claves: Radiación planetaria, perfiles de temperatura en equilibrio radiativo

Abstract

The article describes an extension of a classical model in the theory of radiative equilibrium of planetary layers. It is elaborated in the spirit of the Eddington approximation, by virtue of which analytical solutions become feasible. The extension consists in allowing for the (isotropically diffuse) reflection of solar radiation at the interface between a planet's atmosphere and its surface layer. Since the model also incorporates absorption of short-wave radiation, it encompasses earlier models of the same kind. As an illustration, it is applied to calculating the temperature profiles of both the Earth's atmosphere and its ocean.

Key words: Planetary radiation, temperature profiles in radiative equilibrium

¹ Trabajo realizado dentro del marco del Grupo de Investigaciones en Meteorología-U.N., con el apoyo financiero de COLCIENCIAS y el BID: Contrato COLCIENCIAS-Universidad Nacional de Colombia, 539/96.

* Profesor Asociado - Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia.

Introducción

La Tierra se encuentra, climatológicamente hablando, en equilibrio energético o, como suele decirse en meteorología, en equilibrio radiativo. Esto significa que la Tierra emite en promedio exactamente la misma cantidad de energía que la que absorbe en forma de radiación electromagnética proveniente del Sol. De no ser así, la Tierra se calentaría o enfriaría gradualmente. Para los fines de la climatología, cabe considerar al Sol como un *cuerpo negro*, que se mantiene mediante reacciones termonucleares a una temperatura de unos 5780 K. En realidad, esta temperatura, denominada en astrofísica *temperatura efectiva*, T_g , no es sino una temperatura característica de la fotosfera solar; representa simplemente la temperatura que debería tener el supuesto cuerpo negro, para emitir, según la ley de Stefan-Boltzmann, exactamente la cantidad de energía que por unidad de área y tiempo irradia el Sol. Asimismo, midiendo la cantidad de energía emitida por nuestro planeta (desde un satélite, por ejemplo), podemos atribuirle una temperatura efectiva, T_{ef} , la cual resulta ser aproximadamente igual a 18°C bajo cero ($T_{ef} = 255^\circ\text{K}$; cf. Trenberth, 1992). Esta temperatura puede explicarse suponiendo que la Tierra emite como un cuerpo negro de forma esférica, al mismo tiempo que absorbe un 70 % de la energía solar interceptada, rechazando el 30 % restante en virtud de su albedo o poder de reflexión. El valor promedio actual de este albedo global (o planetario, con A por símbolo) es la fracción correspondiente, que distinguiremos mediante un subíndice ($A_0 = 0.3$). En términos matemáticos, podemos expresar la condición de equilibrio radiativo global terrestre (pero válida para cualquier planeta de características semejantes) como el siguiente balance energético:

$$(1) \quad \sigma T_g^4 \Gamma_0 \pi R_\oplus^2 (1 - A_0) = \sigma T_{ef}^4 4\pi R_\oplus^2$$

donde hemos empleado la emisión del *cuerpo negro* según la ley de Stefan-Boltzmann, y donde R_\oplus y R_g representan los radios de la Tierra y el Sol, respectivamente. Hemos incluido el factor de dilución $\Gamma_0 = (R_g / D_0)^2$, de la energía emitida por el Sol al nivel de su "superficie", el cual tiene en cuenta la circunstancia geométrica de que la densidad por unidad de área de la energía solar irradiada isotrópicamente disminuye en la proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia media entre el planeta receptor y el Sol (así, para la

Tierra, $D_0 \approx 150.000.000$ km). Además, hemos tenido en cuenta que la energía solar interceptada por la Tierra baña, en promedio, a todo el globo, tras haber atravesado, casi perpendicularmente, un disco imaginario (proyección bidimensional de la esfera) de radio igual al terrestre, lo que explica que en el miembro izquierdo sólo aparece el cuarto de la superficie de una esfera. Despejando la temperatura efectiva de la Tierra y empleando los valores astronómicos medios de las magnitudes que figuran en la ecuación, obtenemos $T_{ef} = 255$ K, valor que concuerda con el observado.

Este modelo en bloque permite reproducir un dato climatológico importante, como lo es la temperatura efectiva de un planeta. Es un modelo radiativo, el más sencillo en una jerarquía de modelos climáticos gradualmente más complejos. El siguiente escalafón en la jerarquía es un modelo radiativo que permita tener en cuenta un hecho fundamental de la termodinámica del sistema solar, y es la observación de que todos los cuerpos en él exhiben un gradiente de temperatura en sus capas gaseosas. Que el modelo sea radiativo significa que deliberadamente se prescinde de considerar procesos de transferencia energética que no sean debidos a la propagación de energía electromagnética. Si además se considera que los volúmenes infinitesimos absorben la misma cantidad de energía electromagnética que la que emiten, el modelo representa estados locales en equilibrio. A tales modelos se los caracteriza como de "equilibrio radiativo".

La noción de atmósfera en equilibrio radiativo se originó en un estudio de la distribución de temperatura en la fotosfera solar (Schwarzschild, 1906). Desde entonces, no se ha dejado de utilizar en los tratados, tanto astrofísicos como meteorológicos, que se ocupan de la transferencia de energía electromagnética a través de la envoltura gaseosa de un cuerpo celeste. El primer investigador en aplicarlo a una atmósfera planetaria, y particularmente a la terrestre, fue Emden (1913).

El modelo de una atmósfera en equilibrio radiativo, después de haber sido creado a principios de este siglo, gozó de gran popularidad en astrofísica y meteorología, sobre todo en la primera mitad del mismo, tras de que Eddington propusiera una aproximación que permite la solución de la ecuación principal que rige el intercambio radiativo¹. En meteorología, su divulgación tuvo mucho que ver con la búsqueda de la explicación, tras el descubrimiento de la estratosfera en 1900, de la isoterma (aparente) de sus capas inferiores. El modelo de

Eddington se ha consagrado como clásico. En meteorología, después de haberse abandonado como instrumento de investigación, parece tener lugar un renacimiento del mismo en el contexto de modelación del clima.

El modelo del equilibrio radiativo presupone coeficientes de absorción independientes de la longitud de onda, un supuesto que se conoce como emisión gris en teoría de la radiación. En el modelo de Eddington, tal como se suele aplicar en los textos de meteorología, se tiene en cuenta solamente la absorción y emisión de energía electromagnética de onda larga (o infrarroja), mientras que se puede admitir que la energía de onda corta (o visible) atraviesa inalterada la atmósfera terrestre. Esto se debe a que los espectros de la energía solar incidente y de la energía telúrica emergente corresponden a temperaturas muy distintas, de modo que los espectros mencionados, al promediarse con respecto a las distintas direcciones de propagación posibles, resultan no traslaparse, y a que la atmósfera de la Tierra deja pasar una fracción importante de la radiación solar. En una primera etapa de desarrollo del modelo, por consiguiente, es razonable suponer que el coeficiente de absorción del planeta tenga dos valores: cero en la parte del espectro visible y no nulo en el infrarrojo (modelo a veces conocido como semigris). Sin embargo, **Emden** (1913), a quien ya mencionamos como el autor del primer modelo de equilibrio radiativo en meteorología, no se limitó a omitir la absorción en el visible, sino que anticipó lo que muchas décadas después (vid. p. ej., **Goody & Yung**, 1989), se propuso, como el artificio más fácil de tener en cuenta la relativamente pequeña fracción de energía solar absorbida por la atmósfera (un 20% de la incidente), utilizar en la región espectral de ondas cortas un coeficiente de absorción que represente una fracción de la absorción en el infrarrojo. El modelo resultante ha sido aplicado a la atmósfera de Venus (**Gierasch & Goody**, 1970). Esta extensión del modelo clásico permite explicar cualitativamente el aumento de la temperatura con la altura en las partes superiores de algunas atmósferas del sistema solar, donde tiene lugar la absorción de radiación ultravioleta (solución "termosférica").

Además de estas simplificaciones físicas, adoptaremos la geometría más común en las investigaciones sobre

transferencia radiativa, esto es, la de una capa plana y paralela (o estratificada). Semejante capa se caracteriza por su uniformidad horizontal (cualquier variable dependiente sólo puede variar espacialmente en dirección perpendicular a la capa). Como modelo de una atmósfera de espesor suficientemente delgado, comparado con el radio del planeta correspondiente, ha sido de gran utilidad en el pasado.

Nosotros nos proponemos extender una vez más el modelo clásico, incorporando la reflexión de energía solar en la superficie de la Tierra, puesto que la energía reflejada representa una fracción importante (el 30 %) de la energía incidente. Esta extensión se hará naturalmente de la forma más sencilla, es decir, suponiendo reflexión isotrópica de los rayos incidentes. Señalo de antemano que no se tiene en cuenta en estos modelos el *esparcimiento* (o *difusión* o *dispersión*) de la radiación visible, el cual no solo es responsable de los colores que vemos durante el día, especialmente del azul celeste, sino de las dificultades formidables que surgen en su tratamiento matemático. Las ecuaciones que obtendremos en el caso más general, aunque más complejas, no sacrifican el límpido esquema original del modelo, al mismo tiempo que acrecientan su flexibilidad. El modelo extendido contiene en todo caso los modelos anteriores, que se obtienen anulando el albedo de la superficie y el coeficiente de absorción en el visible.

Breve repaso de la teoría de transferencia radiativa

Empezamos por definir fenomenológicamente el campo de radiación, tal y como se ha de especificar en la descripción de su interacción con las capas materiales a considerar (atmósferas, hidrosferas o litosferas).

En cada punto del medio (plano y paralelo) podemos "anclar" una esfera de radio unidad (simbolizada como S^2), cuyos puntos en la superficie, de coordenadas (θ, φ) , fijan cada uno una dirección alrededor del centro de la esfera (dirección representada por un vector unitario $\vec{\omega}$), de modo que se tiene un número infinito de direcciones. A cada una de ellas se le puede asignar una infinitud de magnitudes que llamaremos el espectro de *intensidades* o *radiancias* del campo de radiación. Es decir, para cada dirección hay una infinitud de radiaciones de distintas longitudes de onda (existe por lo general toda una gama de colores). Las intensidades pueden variar en el espacio y en el tiempo. Con todo, definimos la función de siete variables, $I_\lambda(x, y, z, \theta, \varphi, t)$, que depende de: la longitud de onda (índice λ), de la posición (x, y, z) en el espacio, de la dirección (θ, φ) , y del tiempo t . A

¹ No cito ninguna obra de Eddington al respecto, pues no conozco ninguna. La apelación modelo o aproximación de Eddington, como también las hipótesis que se conocen bajo su nombre, es común en las obras pertinentes sobre astrofísica o radiación atmosférica.

este campo se le llama *intensidad* o *radiancia monocromática*.

La suposición de una atmósfera plana y paralela implica que no hay variación de intensidad en el plano horizontal ($\partial I_\lambda / \partial x = \partial I_\lambda / \partial y \equiv 0$). Esta hipótesis simplificadora a su vez acarrea la uniformidad acimutal de la intensidad (es decir, $\partial I_\lambda / \partial \phi \equiv 0$). A estas simplificaciones viene a juntarse la invariabilidad temporal, o estacionariedad de todos los campos que consideraremos en este estudio. De modo que en una atmósfera estratificada, la intensidad monocromática se reduce a una función de tres variables:

$$I_\lambda(z, \theta)$$

Esta intensidad sufre alteraciones, por extinción y reforzamiento, al atravesar la atmósfera. Estos cambios se describen mediante una ecuación diferencial conocida como ecuación de transferencia radiativa (o ecuación de Schwarzschild):

$$(2) \quad \frac{dI_\lambda}{dr} = -\rho k_\lambda I_\lambda + \eta_\lambda$$

El primer término del miembro derecho representa el debilitamiento, por absorción, de la intensidad que se propaga a lo largo de un "rayo de luz" (ley de Lambert-Bouguer). El rayo de luz puede describirse mediante el parámetro de arco r , a partir de un punto de referencia ($r = 0$). Al mismo tiempo, la energía de un rayo monocromático puede intensificarse debido a la emisión de energía dentro del medio material. Como no incluiremos el esparcimiento, la "función fuente" η_λ se debe exclusivamente a la emisión. Si el medio estuviese en equilibrio termodinámico (uniformidad térmica total), la intensidad tiene una distribución espectral tan conocida como universal $\frac{3}{4}$ la función de Planck:

$$(3) \quad B_\lambda(T) = \frac{2hc_0^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc_0/\lambda kT} - 1}$$

donde h es la constante de Planck, k la de Boltzmann, y c_0 indica la velocidad de la luz en el vacío. La radiación descrita por esta fórmula no está polarizada. No es necesario incluir la polarización en la clase de modelo que estamos confeccionando.

En la situación del equilibrio termodinámico, la intensidad es uniforme y, por consiguiente, la ecuación

(2) se reduce a la relación $\rho k_\lambda I_\lambda = \eta_\lambda$, o, con la ec. (3), a la ley de Kirchhoff:

$$\eta_\lambda = \rho k_\lambda B_\lambda(T)$$

En meteorología se suele emplear como función fuente a esta expresión, aun cuando la atmósfera en conjunto jamás se encuentra en equilibrio térmico. Para justificarla, se postula que *localmente* se dan las condiciones del equilibrio térmico. Aceptamos el argumento, sin mayor reparo, pues la hipótesis es utilizada universalmente en meteorología e ingeniería (en astrofísica también, pero hoy en día con más escrúpulos). Así obtenemos como ecuación de transferencia radiativa (ETR) la que el lector puede encontrar en cualquier texto o monografía pertinentes (véase, p.ej., **Mihalas**, 1978; **Battaner**, 1986; **Goody & Yung**, 1989; **Modest**, 1993):

$$(4) \quad \frac{dI_\lambda}{dr} = \rho k_\lambda (B_\lambda - I_\lambda)$$

Esta es la ecuación básica de la teoría de transferencia radiativa, siempre que sea lícito descartar el esparcimiento de los rayos electromagnéticos, es decir, cuando éstos no sufren desviaciones de sus trayectos de propagación, causadas por moléculas (esparcimiento de Rayleigh) o por partículas en suspensión (esparcimiento de Mie). Más adelante operaremos con intensidades integradas con respecto a las longitudes de onda (intensidades que propongo calificar de *holocromáticas*, por oposición a *monocromáticas*), así que no está de más recordar que:

$$\int_0^\infty B_\lambda(T) d\lambda = \frac{\sigma T^4}{\pi}$$

Esta intensidad holocromática, multiplicada por π , no es otra cosa que el flujo de radiación emitido por (la superficie) de un cuerpo negro a la temperatura T (ley de Stefan-Boltzmann).

Antes de seguir adelante, nos detendremos un momento en el sentido del operador diferencial $d() / dr$: para los campos estacionarios del modelo, el operador, en coordenadas cartesianas, tiene la siguiente forma (véase, p.ej., **Goody & Yung**, 1989):

$$\frac{dI_\lambda}{dr} = \vec{\omega} \cdot \nabla I_\lambda$$

Si recordamos que nuestro modelo no admite dependencia horizontal de campos, el operador en cuestión se reduce a:

$$(5) \quad \frac{dI_\lambda}{dr} = \mu \frac{\partial I_\lambda}{\partial z}$$

donde $\mu = \cos\theta$ es el coseno del ángulo cenital, o componente vertical del vector unitario $\vec{\omega}$. Como la ecuación de transferencia radiativa no contiene derivadas respecto al ángulo cenital, ni respecto a la longitud de onda, la derivada respecto a z bien puede escribirse como una derivada ordinaria.

Hemos sustituido la variable independiente θ por su coseno, μ . Un segundo cambio de variable llevará a fórmulas mucho más cómodas. En lugar de medir la posición vertical de un elemento de volumen (atmosférico) indicando su *altura geométrica* z , es conveniente introducir la *profundidad óptica* τ , que se define como la integral

$$\tau(z) = \int_z^{H_t} \rho k d\zeta$$

Esta nueva variable *independiente* tiene en cuenta tanto la cantidad de materia absorbente, por unidad de área ($\int \rho d\zeta$), como la capacidad o eficiencia de absorción (a través del coeficiente de absorción k). H_t representa la altura de la frontera superior de la capa en cuestión, y $\tau(0) \equiv \tau_b$ es su profundidad óptica.

La profundidad óptica depende generalmente de la frecuencia, debido a que la absorción es selectiva (según el color). Por ejemplo, para radiaciones de longitud de onda en la gama del ultravioleta ($\lambda \leq 0.3$ aproximadamente), la atmósfera es, ópticamente hablando, infinitamente profunda (u opaca), mientras que, para las radiaciones que el ojo humano puede percibir es, incluso si se tuviera en cuenta el esparcimiento, casi transparente (ópticamente panda o somera). En la naturaleza las profundidades ópticas suelen ser funciones espectrales bastante irregulares, lo cual presenta un gran obstáculo a un tratamiento analítico. Por eso, se ha ideado el modelo de la *atmósfera gris*, consistente en suponer que el coeficiente de absorción no depende de la frecuencia de la radiación (incidente o emitida). Así, en lugar de la infinitud de valores de la profundidad óptica, se opera con solo un valor (medio en algún sentido), constante a lo largo de todo el espectro (absorción gris), o, algo más general, con dos valores representativos de

las características distintas de la absorción en el visible y en el infrarrojo (absorción a veces denominada semigris). Esta última hipótesis se ajusta mejor al caso de la atmósfera, y en todo caso contiene el anterior. **Emden** (1913) fue el primero en introducirla, y Milne planteó el problema de la atmósfera gris en un contexto astrofísico (**Battaner**, 1986). Hoy se considera ser una aproximación demasiado cruda; no obstante, permite aclarar algunos puntos teóricos que bien pueden ser refinados posteriormente. Por lo demás, en estudios con modelos climáticos, la complejidad de las interacciones a menudo no permite ir más allá del modelo que estamos definiendo.

Designaremos la profundidad óptica en la región espectral de las ondas relativamente largas (el régimen infrarrojo) con la letra τ . En el régimen visible utilizaremos el símbolo τ_g . Para evitar tener que considerar dos variables independientes, τ y τ_g , nos serviremos, en un empeño por buscar siempre el planteamiento más sencillo, del expediente de suponer que ambas profundidades son proporcionales (**Emden**, 1913; **Goody & Yung**, 1989):

$$\tau_g = \varepsilon \tau$$

Cuando $\varepsilon = 1$, tendremos el caso de la absorción gris. Si $\varepsilon = 0$, tenemos el caso de la atmósfera semigris, muy popular en meteorología, por cuanto permite ilustrar en forma drástica el efecto invernadero.

Con las nuevas variables independientes, podemos reescribir la ecuación (4) como una ecuación en el "espacio óptico":

$$(7) \quad \mu \frac{dI_\lambda}{d\tau} = I_\lambda(\tau, \mu) - B_\lambda(\tau)$$

En esta ecuación la función fuente depende de la profundidad óptica, a través de la temperatura que aparece en la función de Planck, cuya distribución espacial se puede representar en términos de τ :

$$B_\lambda(\tau) = B_\lambda \circ T(\tau)$$

Continuando la descripción matemática del campo radiativo, pasamos a definir el flujo monocromático de energía radiante, por unidad de área y tiempo, como la integral:

$$\vec{F}_\lambda(z) = \int_{S^2} I_\lambda(\tau, \theta) \vec{\omega} d\omega$$

Teniendo en cuenta que, salvo en el caso de la energía solar incidente, en un modelo con estratificación vertical las componentes horizontales del flujo de energía se anulan, la única componente que se ha de considerar es la vertical, que se obtiene de la última integral, mediante la proyección del vector flujo \vec{F} sobre el vector vertical unitario \vec{k} (perpendicular al plano de estratificación y apuntando hacia el cenit). Si además integramos respecto al ángulo acimutal φ y a la longitud de onda λ , obtenemos el flujo vertical holocromático neto. En meteorología y astrofísica es más conveniente introducir el valor negativo de dicho flujo:

$$(8) \quad F \equiv -\vec{F} \cdot \vec{k} = -2\pi \int_0^\infty \int_{-1}^1 I_\lambda(\tau, \mu) \mu d\mu d\lambda$$

El flujo radiativo también es una función de τ . Como la capa plana y paralela es atravesada por flujos en una dirección con dos sentidos, es idóneo distinguir además flujos correspondientes: por un lado, el flujo ascendente (compuesto de rayos con ángulos cenitales menores que un recto)

$$(9) \quad F^\uparrow(\tau) = 2\pi \int_0^\infty \int_0^1 I_\lambda(\tau, \mu) \mu d\mu d\lambda$$

y el flujo descendente (al cual contribuyen las intensidades con un ángulo cenital mayor que 90° , es decir, para las cuales $\mu < 0$), que definimos así:

$$(10) \quad F^\downarrow(\tau) = -2\pi \int_0^\infty \int_{-1}^0 I_\lambda(\tau, \mu) \mu d\mu d\lambda$$

De modo que podemos escribir $F = F^\downarrow - F^\uparrow$

Tras establecer los flujos que acabamos de reseñar, nos atendremos además a la división tradicional según la composición espectral predominante: flujos asociados con energía de onda corta, centrada alrededor de 0.5 μm , que designaremos por $Q(\tau)$, y flujos infrarrojos que resultan de integrar el espectro de ondas relativamente largas (alrededor de 10 μm), $R(\tau)$, con lo que podemos escribir para el flujo holocromático total

$$(11) \quad F(\tau) = Q(\tau) + R(\tau) = Q^\downarrow(\tau) - Q^\uparrow(\tau) + R^\downarrow(\tau) - R^\uparrow(\tau)$$

Esta ecuación permite calcular el balance de la radiación total en el nivel de la profundidad τ , o sea, a la altura z . $Q(\tau)$ se refiere a la radiación solar, y $R(\tau)$ a la infrarroja. Nos ocuparemos primero de la radiación solar.

Debilitamiento de la radiación solar

El objetivo principal de este apartado es calcular el flujo de radiación solar. Como ésta está constituida en su mayor parte de radiación de onda corta (en meteorología esto significa: de onda menor que unos 4 μm), por ser radiación proveniente de un cuerpo de alta temperatura (alrededor de 6000°C), al atravesar la atmósfera, su intensidad va a ser extinguida paulatinamente, sin ser reforzada al mismo tiempo, ya que las temperaturas atmosféricas son demasiadas bajas como para contribuir en forma apreciable al espectro de ondas cortas (sólo contribuyen al espectro de ondas largas, mayores que 4 μm). Esto implica que en la ecuación de transferencia de energía radiativa solar no figura la función fuente (siempre que se excluya, como en todo nuestro tratamiento, el esparcimiento). Así:

$$(12) \quad \mu \frac{dI_\lambda^8}{dz} = -\rho k_\lambda I_\lambda^8$$

donde I_λ^8 es la intensidad monocromática de la radiación solar, igual a $B_\lambda(T_8)$, en el tope de la atmósfera. Antes de integrar esta sencilla ecuación, examinemos el ángulo sólido que envuelve los rayos solares.

Supondremos inicialmente que el Sol se encuentra en el cenit, es decir, en la dirección \vec{k} , perpendicular a los planos paralelos de la capa que nos interesa. El Sol, considerado como cuerpo negro, emite radiación de intensidad conocida: a cada rayo solar va asociado un espectro *normal* (o de Planck, vid. ec. (3)), correspondiente a la temperatura de 5780°K . El haz de rayos solares está confinado en un ángulo sólido finito, cuyo vértice puede suponerse ubicado en el tope de la capa ($z = H_t$), y cuyo eje (en dirección del vector unitario *antisolar* $\vec{\omega}_0 = -\vec{k}$) une al observador con su cenit. La semiapertura del ángulo sólido subtendido por el Sol, que tiene forma de cono circular, se notará como θ_s . Los rayos que inciden bajo un ángulo cenital mayor que $\pi - \theta_s$, no pudiendo haberse originado en la fotosfera solar, tienen una intensidad despreciable (correspondiente, si descontamos la contribución ínfima de otros cuerpos celestes, a los 2.7°K de la radiación de fondo).

El ángulo sólido subtendido por el Sol se puede calcular pensando en la constelación que acabamos de describir:

$$\Omega_8 = \int d\omega = \int_0^{2\pi} \int_1^{\mu_*} d\mu d\varphi = 2\pi(1 - \mu_*) = 2\pi \frac{\Gamma_0}{1 + \mu_*} \approx \pi \Gamma_0$$

donde $\mu_* = \cos\theta_*$. Hemos aprovechado además la relación geométrica entre el ángulo de la semiapertura y el factor de dilución Γ_0 , esto es, $\sin^2\theta_* = \Gamma_0$, y el hecho de que $\mu_* = 0.999989 \approx 1$.

Si integramos la intensidad de los rayos solares con respecto a las direcciones comprendidas en este ángulo sólido y a lo largo del espectro de frecuencias, obtenemos, con una aproximación excelentísima, lo que se conoce como la *constante solar* Q_0 :

$$\int_0^\infty \int_{\Omega_0} B_\nu(T_8) d\omega d\nu = \frac{\sigma T_8^4}{\pi} \Omega_8 \approx \sigma T_8^4 \Gamma_0 \equiv Q_0$$

Si integramos los vectores unitarios asociados a cada rayo solar, ponderados con sus respectivas intensidades holocromáticas, obtenemos por definición el flujo de energía radiante en la dirección antisolar $\vec{\omega}_0 = -\vec{k}$. Como las direcciones se arraciman alrededor de la dirección del eje del ángulo sólido Ω_8 , podemos reemplazarlas a todas por $\vec{\omega}_0$, lo cual permite fácilmente la integración:

$$\int_0^\infty \int_{\Omega_0} B_\nu(T_8) \vec{\omega}_0 d\omega d\nu \approx Q_0 \vec{\omega}_0$$

Es patente que esta expresión es válida para cualquier inclinación del Sol. Si llamamos μ_8 al coseno del ángulo cenital θ_8 del Sol, podemos calcular el valor de frontera del flujo descendente como la proyección de este vector sobre el vector unitario $-\vec{k}$:

$$(13) \quad -Q_0 \vec{\omega}_0 \cdot \vec{k} = Q^\downarrow(\tau=0) = Q_0 \mu_8$$

Si integramos la ecuación diferencial (12), empleando el valor de frontera $I_\lambda^8(H, -\mu_8) = B_\nu(T_8)$, y sustituyendo a μ por μ_8 , puesto que las diferencias son despreciables, obtenemos la radiancia solar en función de la profundidad óptica:

$$I_\lambda(\tau, \mu_8) = B_\lambda(T_8) e^{-\epsilon\tau/\mu_8}$$

es decir, un debilitamiento exponencial (en el espacio óptico).

Es fácil reproducir el razonamiento anterior, pero ahora para cualquier nivel en la capa absorbente, para inferir que:

$$(14) \quad Q^\downarrow(\tau) = \mu_8 Q_0 e^{-\epsilon\tau/\mu_8}$$

Los rayos solares inciden sobre la faz de la Tierra, después de atravesar la atmósfera, debilitados por la absorción en ella, bajo ángulos cenitales vecinos a $\pi - \theta_8$, para ser parcialmente reflejados (de manera difusa), y parcialmente transmitidos hacia el interior (del mar o la tierra), fracción que acaba siendo absorbida en esta "capa superficial del planeta". La fracción reflejada vuelve a atravesar la atmósfera, pero ahora rellenando el ángulo sólido igual a un hemisferio (2π). Además, el suponer que la reflexión difusa sea isótropa, nos permite establecer una expresión de la radiancia reflejada en la superficie terrestre:

$$I_\lambda^8(\tau_b, \mu > 0) = \mu_8 r_0 \Gamma_0 B_\lambda(T_8) e^{-\epsilon\tau_b/\mu_8}$$

Resolviendo nuevamente la ecuación (12), pero ahora con esta condición de frontera, vemos que la radiancia sufre nuevamente un debilitamiento exponencial. Así obtenemos para el flujo ascendente de radiación solar:

$$(15) \quad Q^\uparrow(\tau) = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi I_\lambda^8(\tau_b, \mu) e^{-\epsilon(\tau_b-\tau)/\mu} \mu d\mu d\varphi = 2r_0 Q^\downarrow(\tau_b) E_3(\epsilon(\tau_b - \tau))$$

donde

$$E_n(x) = \int_1^\infty \frac{e^{-x\xi}}{\xi^n} d\xi$$

define la integral exponencial de orden n . El flujo neto de radiación solar hacia la capa atmosférica situada por debajo de la altura correspondiente a la profundidad τ es, simplemente, igual a la diferencia de los flujos descendente y ascendente:

$$(16) \quad Q(\tau) = Q^\downarrow(\tau) - Q^\uparrow(\tau) = Q^\downarrow(0) [e^{-\epsilon\tau/\mu_8} - 2r_0 e^{-\epsilon\tau_b/\mu_8} E_3(\epsilon(\tau_b - \tau))]$$

Para la atmósfera, e incluso para todo el planeta, este flujo resulta ser:

$$Q(0) = \mu_8 Q_0 (1 - A)$$

donde se ha definido el albedo planetario o global como:

$$(17) \quad A \equiv 2r_0 e^{-\epsilon\tau_b/\mu_8} E_3(\epsilon\tau_b)$$

Según esta definición, el albedo global es una función del albedo superficial y de la profundidad óptica en el

visible. Si adoptamos el valor particular $\mu_0 = 0.25$ ($\theta_0 = 75.5^\circ$), y $A = A_0 = 0.3$, deducimos que $Q(0) = \frac{Q_0(1-A_0)}{4} = \sigma T_0^4$, donde la última igualdad obedece a la definición en la ec. (1).

Habiendo considerado el flujo de radiación solar, que es un flujo asociado sobre todo con radiación de onda corta, tenemos que ocuparnos de la radiación de onda larga, radiación que corresponde a las temperaturas del planeta y que se califica de infrarroja. Por lo general, las atmósferas planetarias absorben esta radiación con mayor eficacia que la radiación solar, de modo que pueden considerarse en el infrarrojo como ópticamente opacas.

Transferencia radiativa en el infrarrojo

En el infrarrojo no sólo tiene lugar un debilitamiento de la intensidad de los rayos, sino al mismo tiempo un reforzamiento debido a la emisión de la materia absorbente, la cual, si se considera una porción suficientemente pequeña, se supone estar a la temperatura local del medio (hipótesis conocida como *equilibrio termodinámico local*). En tal caso la ecuación de transferencia radiativa deja de ser homogénea. Buscamos resolver esta ecuación, mucho más compleja que en el caso anterior de la radiación solar, porque ahora el término adicional es una función de la temperatura, y ésta no puede calcularse si no se conoce la intensidad de la radiación (visible e infrarroja), que a su vez depende de ella. El problema es matemáticamente de tal complejidad que no se ha resuelto exactamente (véase **Rutly & Bergeat**, 1994, quienes ofrecen una reciente solución analítica para una familia de ecuaciones parecidas, pero aparentemente excluyendo nuestro caso). Es preciso, pues, simplificar. Lo haremos utilizando un esquema de aproximación clásico, planteado por Eddington (vid. **Chamberlain & Hunten**, 1987; **Goody & Yung**, 1989). En el modelo de Eddington se asume *isotropía hemisférica*: las intensidades de los rayos ascendentes, como la de los descendentes, son consideradas independientes de la dirección en los hemisferios correspondientes. Esto facilita las integraciones respecto a los ángulos.

Llamemos a las intensidades con ángulos cenitales menores que $\pi/2$ (de cosenos positivos) I^+ y a aquellas con cosenos negativos I^- . Para que pueda haber flujos radiativos no nulos, es preciso que $I^+ \neq I^-$. El flujo neto infrarrojo se define como la integral (8), pero en lugar de F , se ha de escribir R . Recordemos que $R(\tau) = R^\downarrow(\tau) - R^\uparrow(\tau)$.

La integración, pues, de la ecuación (7) con respecto a μ y λ , conduce a una ecuación para el flujo infrarrojo:

$$(18) \quad \frac{dR}{d\tau} = -4\pi(\mathfrak{J} - B)$$

$$\text{donde} \quad B = \frac{\sigma T^4}{\pi}$$

representa la función de Planck integrada en longitud de onda e

$$\mathfrak{J}(\tau) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \int_{-1}^{+1} I_\nu d\mu d\nu$$

define la intensidad (local) media, la cual viene a ser, en vista de la isotropía hemisférica, simplemente:

$$(19) \quad \mathfrak{J} = \frac{1}{2}(I^+ + I^-)$$

Igualmente obtenemos de las ecs. (9) y (10) los flujos ascendente y descendente:

$$(20) \quad R^\uparrow(\tau) = \pi I^+(\tau)$$

$$(21) \quad R^\downarrow(\tau) = \pi I^-(\tau)$$

Equilibrio radiativo de una capa plana y paralela

Pasemos a considerar la condición determinante del modelo. El equilibrio radiativo se define como aquella condición (estacionaria) en la que un volumen infinitesimal de la capa ni pierde ni acumula energía (radiante). Recordemos que en los modelos radiativos no se tienen en cuenta flujos de energía que no sean electromagnéticos. Luego la condición significa que la divergencia del flujo radiativo se anula en todas partes. En el caso unidimensional que nos ocupa, la condición se expresa (en función de τ) sencillamente así:

$$(22) \quad \frac{dF}{d\tau} = \frac{dF^\downarrow}{d\tau} - \frac{dF^\uparrow}{d\tau} \equiv 0$$

donde $F(\tau) = Q(\tau) + R(\tau)$ (ver ec. (11)) representa el flujo total (de energía radiante). El equilibrio radiativo implica, pues, la constancia de este flujo total en función de la profundidad óptica:

$$(23) \quad F(\tau) = F(0) = Q(0) + R(0) = \mu_0 Q_0(1-A) + R^\downarrow(0) - R^\uparrow(0)$$

Podemos definir una temperatura efectiva mediante la ecuación:

$$\sigma T_{ef}^4 = R^\uparrow(0)$$

temperatura que habría de tener un cuerpo negro para emitir la misma cantidad de energía (infrarroja) que la observada a la profundidad óptica nula.

De la ecuación (18), con intervención de las ecs. (19), (20), (21) y (23), deducimos que para $\tau = 0$:

$$B(0) = \frac{1}{4\pi} \frac{dR}{d\tau}(0) + \frac{1}{2}(I^* + I)(0) = \frac{1}{4\pi} \frac{dR}{d\tau}(0) + \frac{R^\uparrow(0)}{\pi} + \frac{1}{2\pi}[Q(0) - F(0)]$$

Teniendo en cuenta la expresión explícita del flujo de radiación solar, ec. (16), y aprovechando la condición de equilibrio radiativo, ecuación (22), podemos expresar la derivada del flujo infrarrojo con respecto a τ como:

$$\frac{dR}{d\tau} = -\frac{dQ}{d\tau} = -\varepsilon Q^\downarrow(0) \left[\frac{e^{-\varepsilon\tau/\mu_0}}{\mu_0} - 2r_0 e^{-\varepsilon\tau_b/\mu_0} E_2(\varepsilon(\tau_b - \tau)) \right]$$

lo cual nos permite expresar el valor de frontera en cuestión como

(24)

$$B(0) = \frac{Q^\downarrow(0)}{2\pi} \left\{ 1 - A + \frac{\varepsilon}{2} \left[\frac{1}{\mu_0} + 2r_0 e^{-\varepsilon\tau_b/\mu_0} E_2(\varepsilon\tau_b) \right] \right\} + \frac{R^\uparrow(0)}{\pi} - \frac{F(0)}{2\pi}$$

La solución de nuestro problema se obtiene por un lado a partir de la ec. (18), derivándola con respecto a τ :

$$\frac{d^2 R}{d\tau^2} = 4\pi \left(\frac{dB}{d\tau} - \frac{d\mathfrak{S}}{d\tau} \right)$$

y por otro integrando la ec.(7), después de multiplicarla por μ , con respecto al ángulo sólido, siendo el resultado:

$$\frac{4}{3} \pi \frac{d\mathfrak{S}}{d\tau} = -R$$

Combinando ambas ecuaciones, podemos establecer una ecuación diferencial con miembro derecho conocido:

$$(25) \quad \frac{dB}{d\tau} = \frac{1}{4\pi} \frac{d^2 R}{d\tau^2} - \frac{3}{4\pi} R$$

Ahora no hace falta sino integrar esta ecuación con respecto a τ , recordando que $R(\tau) = F(0) - Q(\tau)$ y recurriendo a la ecuación (16), obteniéndose así la función fuente:

(26)

$$B(\tau) = B(0) - \frac{3F(0)}{4\pi} \tau + \frac{Q^\downarrow(0)}{4\pi} \left\{ \frac{\mu_0}{\varepsilon} \left(3 - \frac{\varepsilon^2}{\mu_0^2} \right) (1 - e^{-\varepsilon\tau/\mu_0}) + 2r_0 e^{-\varepsilon\tau_b/\mu_0} \left[\varepsilon [E_2(\varepsilon(\tau_b - \tau)) - E_2(\varepsilon\tau_b)] - \frac{3}{\varepsilon} [E_4(\varepsilon(\tau_b - \tau)) - E_4(\varepsilon\tau_b)] \right] \right\}$$

expresión general del modelo que nos permitirá establecer las formas analíticas de los perfiles de temperatura tanto atmosférico como oceánico.

Temperatura superficial

La temperatura superficial es, en el fondo, la temperatura efectiva de la capa superficial (mar o tierra). Si se desea suponer que ésta es térmicamente uniforme, la temperatura correspondiente no puede ser otra que la temperatura superficial T_s .

Esta temperatura no es una variable en un modelo del equilibrio radiativo, sino está determinada por las condiciones impuestas al modelo (p. ej., equilibrio radiativo global). Para calcularla, partimos de las ecuaciones (20) y (21), a las que sumamos y restamos $\pi I^- / 2$ y $\pi I^+ / 2$, respectivamente, para reconocer que se pueden escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \pi I^+(\tau) &= \pi \mathfrak{S}(\tau) - \frac{R(\tau)}{2} \\ \pi I^-(\tau) &= \pi \mathfrak{S}(\tau) + \frac{R(\tau)}{2} \end{aligned}$$

de donde, en virtud de las ecs. (18), (24), y de la condición $R(\tau) = F(0) - Q(\tau)$, se siguen las expresiones:

$$(27) \quad R^\dagger(\tau) = \pi B(0) - \frac{R(0)}{4} - \frac{3}{4} F(0)\tau + \frac{3}{4} \int_0^\tau Q(t) dt - \frac{F(0)}{2} + \frac{Q(\tau)}{2}$$

$$(28) \quad R^\dagger(\tau) = \pi B(0) - \frac{R(0)}{4} - \frac{3}{4} F(0)\tau + \frac{3}{4} \int_0^\tau Q(t) dt + \frac{F(0)}{2} - \frac{Q(\tau)}{2}$$

Definiendo la temperatura superficial T_s mediante la relación $R^\dagger(\tau_b) = \sigma T_s^4$ podemos derivar una ecuación para la temperatura efectiva de la superficie del planeta, aprovechando las ecuaciones (16) y (24):

(29)

$$T_s = \left(\frac{\mu_2 Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A + (1 - r_0) e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} + \frac{3\mu_2}{2\varepsilon} (1 - e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2}) - r_0 e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} \left[2\varepsilon(1 - E_2(\varepsilon \tau_b)) + \frac{1}{\varepsilon} (1 - 3E_4(\varepsilon \tau_b)) \right] + R^\dagger(0) - F(0) \left(1 + \frac{3}{4} \tau_b \right) \right\}^{1/4}$$

Nosotros nos limitaremos, como se explicará en la siguiente sección, a considerar perfiles para los cuales $R^\dagger(0) = F(0) = 0$. Entonces T_s representa la temperatura a la que ha de mantenerse la capa superficial de un planeta para garantizar el equilibrio radiativo global.

Si $\varepsilon = 0$ (o mejor, para $\varepsilon \rightarrow 0$), obtenemos de (29) la expresión

$$T_s = \left(\frac{\mu_2 Q_0 (1 - r_0)}{\sigma} \right)^{1/4} \left(1 + \frac{3}{4} \tau_b \right)^{1/4} = T_{ef} \left(1 + \frac{3}{4} \tau_b \right)^{1/4}$$

expresión clásica (cf. Chamberlain & Hunten, 1987; Goody & Yung, 1989) que refleja el efecto de invernadero: si aumenta la profundidad óptica de la atmósfera (en virtud del aumento de la masa total de ciertos gases traza), la temperatura superficial aumenta (en los modelos radiativos el aumento es mucho más pronunciado que en la realidad).

Atmósfera en equilibrio radiativo

Consideramos de ahora en adelante solamente el caso de un planeta en equilibrio radiativo global (balance energético total está equilibrado). Como la atmósfera no recibe radiación de onda larga apreciable en su frontera superior, es decir, $R^\dagger(0) = 0$, la condición se traduce a lo siguiente (cf. ec.(1)):

$$F(0) = 0 \quad \Rightarrow \quad Q(0) = \sigma T_{ef}^4$$

Con estas condiciones de frontera, y teniendo en cuenta la hipótesis del equilibrio termodinámico local, es decir, la relación $B(\tau) = \sigma T^4 / \pi$, de la ecuación (24) y de la típica relación $\tau(z) = \tau_b e^{-z/H_s}$, válida para el vapor de agua en la atmósfera (y útil en el caso de gases que conforman el efecto invernadero), deducimos la expresión analítica de la distribución vertical de temperatura atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar:

$$T(z) = \left(\frac{\mu_2 Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A + \frac{\varepsilon}{2} \left[\frac{1}{\mu_2} + 2r_0 e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} E_2(\varepsilon \tau_b) \right] + \frac{\mu_2}{2\varepsilon} \left(1 - e^{-\varepsilon \tau_b (e^{-z/H_s}) / \mu_2} \right) \left(3 - \frac{\varepsilon^2}{\mu_8^2} \right) + r_0 e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} \left[\varepsilon \left[E_2(\varepsilon \tau_b (1 - e^{-z/H_s})) - E_2(\varepsilon \tau_b) \right] - \frac{3}{\varepsilon} \left[E_4(\varepsilon \tau_b (1 - e^{-z/H_s})) - E_4(\varepsilon \tau_b) \right] \right] \right\}^{1/4} \quad (30)$$

La Fig.1 muestra este perfil de temperatura, con valores de los parámetros que se citarán y explicarán en la última sección.

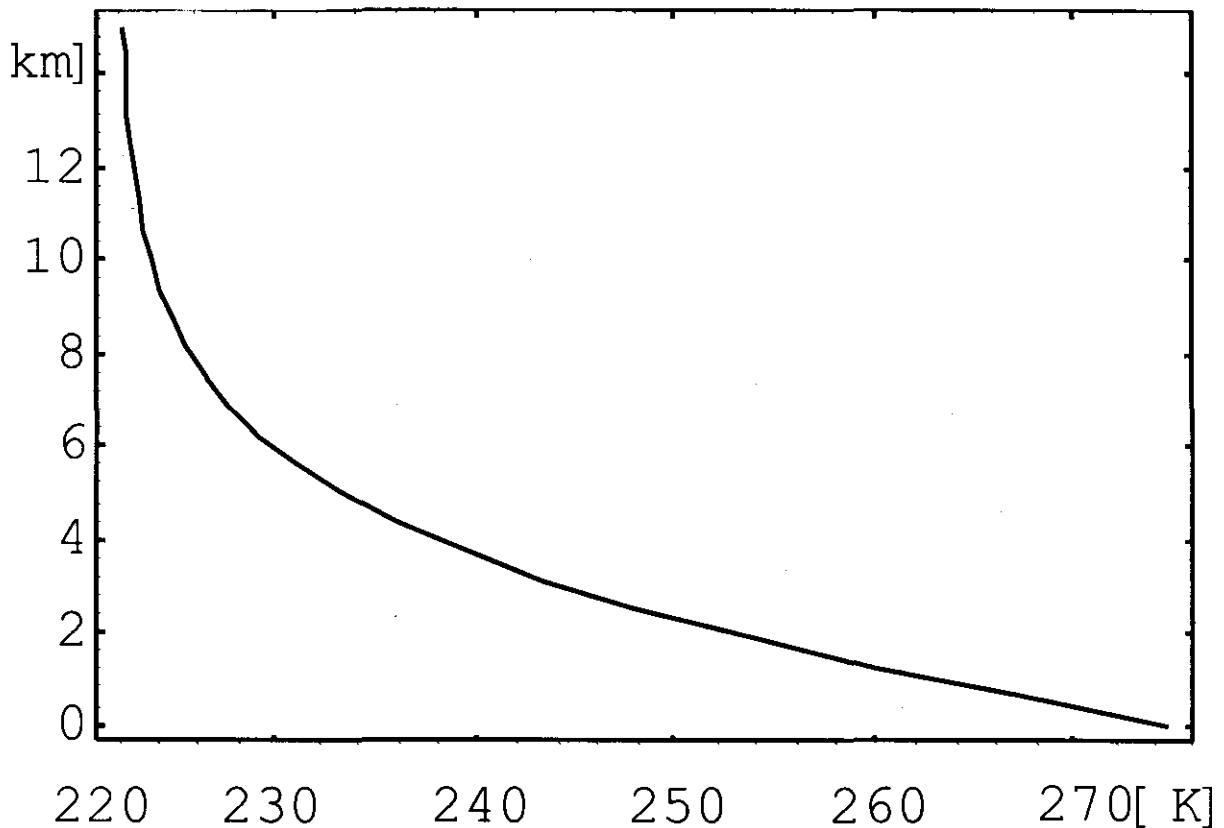


Figura 1. Distribución vertical de temperatura en la atmósfera terrestre en equilibrio radiativo, calculada para valores climático-lógicos de ciertos parámetros. (Escala de altura: $H_g = 25$ km.)

Si el albedo superficial fuese nulo, como en los modelos hasta hoy publicados, se tendría

$$T(z) = \left(\frac{\mu_1 Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - \frac{\varepsilon}{2\mu_1} + \frac{\mu_2}{2\varepsilon} \left(1 - e^{-\varepsilon \tau_b (e^{-z/H_g})/\mu_1} \right) \left(3 - \frac{\varepsilon^2}{\mu_1^2} \right) \right\}$$

ecuación que aparece en Goody & Yung (1989), capítulo noveno. En el límite $\varepsilon \rightarrow 0$, esta última ecuación se reduce a

$$T(z) = T_{ef} \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4} \tau_b e^{-z/H_g} \right)^{1/4}$$

expresión clásica que, en términos de τ , aparece en muchos libros de texto relacionados con nuestro tema.

Océano en equilibrio radiativo

Para nuestros fines es suficiente recordar, con más brevedad que fidelidad, algunas características radiativas del mar. Citaremos un pasaje del libro de Cifuentes et al. (1986). "Las radiaciones solares que llegan a la superficie del mar penetran en su masa, alcanzando generalmente una profundidad media de cien metros, pero que puede extenderse hasta los mil metros. La penetración de estas radiaciones depende principalmente de la turbiedad, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentre en suspensión. Conforme la profundidad aumenta van penetrando menos radiaciones, por lo que la temperatura disminuye. Por lo anterior, en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 m de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Abajo de ella existe una zona limítrofe en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada *termoclina*, que divide a estas aguas

superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas." Las temperaturas marinas pueden oscilar espacialmente entre -2°C hasta 32°C . En el libro mencionado se afirma que el principal aporte calorífico al mar se debe a las radiaciones energéticas que llegan del Sol. Enumeran otras fuentes menos importantes, pero no parecen interesarse por la radiación infrarroja que proviene de la atmósfera, que también es absorbida casi completamente por el océano. Podemos intentar reproducir el perfil descrito en la cita aplicando nuestro modelo a una capa marítima en equilibrio radiativo.

Cabe, pues, destacar que el caso del océano se distingue del atmosférico en dos puntos esenciales (continuamos despreciando el esparcimiento): 1) el océano, si es suficientemente profundo, absorbe toda la radiación solar que no ha sido rechazada por reflexión difusa en su superficie superior, y 2) el océano es irradiado por la atmósfera, de modo que aparece una contribución infrarroja (que constituye el efecto invernadero), ausente en el caso atmosférico. O sea, si la capa en equilibrio radiativo es el océano, los valores de frontera han de tener en cuenta la presencia de la atmósfera. Por otro lado, el océano absorbe por igual la radiación tanto de onda corta como de onda larga. En tal caso, la capa puede considerarse como un absorbedor gris. La profundidad óptica puede tomarse como infinita, ya que los rayos que penetran en el mar son absorbidos enteramente allí. Para no confundir fórmulas, emplearemos en esta sección la letra δ en lugar de τ . Así, tenemos que $\delta_b = \infty$; también suponemos que en el fondo del océano $r_0 = 0$.

El balance radiativo al nivel del mar tiene la misma forma que la ec. (23):

$$F_m(0) = Q_m(0) + R_m(0) = Q_m^{\downarrow}(0) - Q_m^{\uparrow}(0) + R_m^{\downarrow}(0) - R_m^{\uparrow}(0)$$

donde el subíndice "m" indica valores que se refieren a la capa marítima, y donde ahora $R_m^{\downarrow}(0) = R^{\downarrow}(\tau_b)$. Hay que tener cierto cuidado con los flujos solares, porque la reflexión de radiación solar se supone tener lugar en la superficie (matemática) del mar, y no dentro del mismo. Podríamos obviar el problema introduciendo una interfase (o fase intermedia), pero no es preciso ir tan lejos. Lo importante es que el balance de la radiación solar en el nivel del mar sea en cualquier caso el mismo, ya que es la energía que de hecho absorbe el mar.

Si nos acercamos desde el interior de la atmósfera al nivel del mar (operación insinuada escribiendo como argumento $0+$), tenemos:

$$Q_m^{\downarrow}(0+) = Q^{\downarrow}(\tau_b)$$

y

$$Q_m^{\uparrow}(0+) = r_0 Q^{\downarrow}(\tau_b)$$

Pero si nos acercamos a dicho nivel desde el mar (valores negativos de z , signo menos en el argumento), tenemos:

$$Q_m^{\downarrow}(0-) = Q^{\downarrow}(\tau_b)(1 - r_0)$$

$$Q_m^{\uparrow}(0-) = 0.$$

En ambos casos

$$Q_m(0) = Q_m^{\downarrow}(0) - Q_m^{\uparrow}(0) = Q_m(0+) = Q_m(0-) = Q^{\downarrow}(\tau_b)(1 - r_0)$$

También está claro que conocemos el flujo infrarrojo emergente del océano, puesto que por definición

$$R_m^{\uparrow}(0) = \sigma T_s^4,$$

siendo T_s la temperatura efectiva del mar, calculable de acuerdo con la ec. (29).

De la ec. (28), con el auxilio de las ecs. (16) y (24), las operaciones indicadas conducen a la siguiente expresión de la energía que contribuye al efecto de invernadero:

$$R^{\downarrow}(\tau_b) = \frac{Q^{\downarrow}(0)}{2} \left\{ 1 - A - (1 - r_0) e^{-\epsilon \tau_b / \mu} + \frac{344}{2\epsilon} (1 - e^{-\epsilon \tau_b / \mu}) - \frac{r_0}{\epsilon} e^{-\epsilon \tau_b / \mu} [1 - 3E_3(\epsilon \tau_b)] \right\}$$

Con los flujos fronterizos exhibidos en este apartado y las ecs. (24) y (26), deducimos la expresión para la distribución vertical de la temperatura marítima:

$$(31) \quad T_m(\delta) = \left[\frac{\mu_2 Q_0}{2\sigma} \right]^{1/4} \left\{ 1 - A + (1 - r_0) e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} \left[\frac{\varepsilon_m}{2\mu_2} + \frac{\mu_2}{2\varepsilon_m} \left(3 - \frac{\varepsilon_m^2}{\mu_2^2} \right) (1 - e^{-\varepsilon_m \delta / \mu_2}) \right] + \frac{3}{2} \frac{\mu_2}{\varepsilon} (1 - e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2}) - \frac{r_0}{\varepsilon} e^{-\varepsilon \tau_b / \mu_2} [1 - 3E_4(\varepsilon \tau_b)] \right\}^{1/4}$$

Para poder representar esta expresión en función de la profundidad geométrica en el océano, se necesita una relación entre la profundidad óptica y la profundidad geométrica. No disponiendo de una relación conocida como en el caso atmosférico, donde hemos empleado la relación válida para el vapor de agua, optamos por una forma genérica arbitraria, cuyos parámetros podemos ajustar. Este paso en el modelo plantea un problema importante, con vínculos empíricos. Pero no deseamos dedicarle espacio a esta cuestión en este artículo, dejándola para otra ocasión. Sin embargo, a fin de demostrar las posibilidades que ofrece el modelo, supondremos que:

$$(32) \quad \delta(d) = \alpha d^n (e^{\beta d} - 1)$$

donde d es la profundidad geométrica. El caso particular $n = 0$ se puede justificar, integrando la ecuación (6), con la densidad constante (agua incompresible) y con un coeficiente de absorción exponencial. Seleccionando (hipotéticamente) los valores $n = 3$, $\alpha = 100 \text{ km}^{-3}$ y $\beta = 0.005 \text{ km}^{-1}$ podemos calcular una distribución de temperaturas marítimas con rasgos que corresponden plenamente a los perfiles observados en latitudes bajas y medias (ver Fig.2).

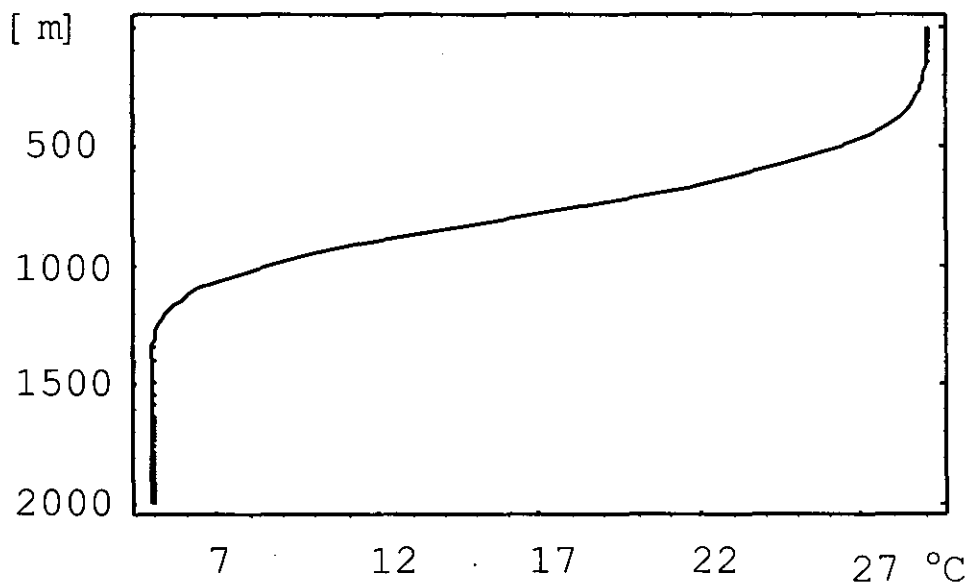


Figura 2. Distribución vertical de temperaturas marítimas, calculadas para un océano (climatológico) en equilibrio radiativo (para la representación gráfica se ha recurrido a la relación (32) con $n = 3$).

Ejemplo numérico

Consideraremos un estado climatológico, correspondiente al equilibrio radiativo global actualmente observado (el cual reproduce la temperatura efectiva del planeta, $T_{ef} = 255$ K). Dicho estado se calcula con los siguientes valores:

$$Q_0 = 1370 \text{ W/m}^2; \mu_2 = 0.25; A_0 = 0.3$$

Para el cálculo de las distribuciones de temperatura es necesario prescribir la opacidad infrarroja de la atmósfera. Empero, no existe un valor climatológico de ese parámetro. Un criterio que nos permite fijarlo es hacer corresponder la temperatura efectiva del océano a la temperatura superficial observada, cuyo valor climatológico es de 15°C , o sea $T_s = 288^\circ\text{K}$. Con los valores de los distintos parámetros que citaremos a continuación, el modelo reproduce esta temperatura para un valor de la opacidad infrarroja un poco superior a la unidad, a saber: $\tau_b = 1.23$.

Con el fin de fijar otros parámetros, recurriremos a los datos del clima terrestre: aproximadamente un 20% de la radiación solar es absorbida por la atmósfera. Por lo tanto, la superficie terrestre absorbe aproximadamente la mitad de la radiación solar incidente en la frontera superior de la atmósfera. Llamemos γ_0 a esta fracción. Estas ligaduras estadísticas nos fijan el valor climatológico de ε y r_0 , como demostramos a continuación.

La energía solar que absorbe la superficie es igual a $Q(\tau_b)$. Por lo tanto,

$$\gamma_0 = \frac{Q(\tau_b)}{Q^\downarrow(0)} = (1 - r_0)e^{-\varepsilon\tau_b/\mu_2}$$

Por otro lado está la definición del albedo global, ec. (17), cuyo valor climatológico A_0 es igual a 0.3; de ambas ecuaciones deducimos que

$$\left[e^{-\varepsilon\tau_b/\mu_2} - \gamma_0 \right] 2E_3(\varepsilon\tau_b) = A_0 = 0.3$$

Estas ecuaciones nos fijan los valores de ε y r_0 (para la profundidad óptica infrarroja estipulada y en función de γ_0 y A_0). (Claro está que podríamos fijar el valor de

dos variables cualesquiera de las cuatro, y calcular las dos restantes).

Con $\gamma_0 = 0.5$ y $A_0 = 0.3$ obtenemos $\varepsilon = \frac{0.04717}{\tau_b}$ y $r_0 = 0.396$. Este valor del albedo superficial significa que para que la Tierra pueda mantener el valor climatológico del albedo global, con una atmósfera en equilibrio radiativo que absorbe el 20% de la energía solar, se precisa un albedo superficial mayor que el valor del albedo global. Todos estos valores han sido utilizados en las representaciones gráficas de las secciones precedentes.

El lector atento habrá notado, escudriñando las gráficas, que en el nivel del mar las distintas temperaturas límites no coinciden, sino que saltan de un valor a otro:

$$T(0) < T_s = 288 \text{ K} < T_m(0)$$

Es éste un rasgo esencial de todo modelo de capas en equilibrio radiativo (véase p. ej. Chamberlain & Hunten, 1987; o, para una demostración rigurosa, Pelkowski, 1993).

Conclusión

El modelo desarrollado en este ensayo se concibe como un complemento de los modelos clásicos destinados a describir o ilustrar distintos aspectos de la teoría de la radiación, y de los cuerpos a los que se aplica. La extensión contemplada aquí permite ilustrar de una manera casi clara y elemental, lo que los poderosos y complejos modelos oceano-atmosféricos no pueden ofrecernos: una oportunidad de comprender cualitativamente la física de los procesos radiativos de retroalimentación. Los modelos clásicos nos han brindado una exquisita ilustración del efecto invernadero y una contundente explicación del oscurecimiento hacia el borde del disco solar, como también la posibilidad de describir el efecto de un calentamiento de las capas superiores de la atmósfera, debido a la presencia de oxígeno y ozono. El modelo extendido que aquí ofrecemos, al incorporar los efectos de variaciones del albedo superficial y global, pone de manifiesto los cambios de temperatura, tanto en la atmósfera como en el océano, demostrando, por ejemplo, la interrelación de tres de los factores climáticos más importantes: gases invernadero, aerosoles (que absorben energía solar), y los albedos superficial y global.

El modelo, repito, constituye una ampliación de los modelos clásicos, cuyo valor didáctico ha sido inestimable. No pretende ser realista en un sentido cuantitativo. Pero como instrumento de modelización puede ser una guía útil. Como tal, tiene sobradas posibilidades de refinamiento, especialmente en cuanto a las relaciones entre profundidad óptica y altura en la atmósfera, o entre profundidades óptica y geométrica del mar. Otra posibilidad inmediata, y de interés particular, sería la inclusión de una capa de nubes con su propio albedo. Esto lo dejaremos para un trabajo futuro, en el cual se tendrá en cuenta, también de la manera más simple, el esparcimiento de la radiación solar dentro de dicha capa de nubes, permitiendo así la investigación de efectos climatológicos adicionales, como lo es la nubosidad variable.

Bibliografía

- Battaner, E.**, 1986: Fluidos Cósmicos. Editorial Labor, Barcelona.
- Chamberlain, J.W. y D.M. Hunten**, 1987: Theory of Planetary Atmospheres. An Introduction to their Physics and Chemistry. Segunda edición, Academic Press, Orlando.
- Cifuentes, J.L., P. Torres-García y M. Frías**, 1986: El océano y sus recursos. Vol. III. Fondo de Cultura Económica, México.
- Emden, R.**, 1913: Ueber Strahlungsgleichgewicht und atmosphaerische Strahlung. Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Math.-Phys. Klasse, 55.
- Gierasch, P. y R.M. Goody**, 1970: Models of the Venus Clouds. J. Atmos. Sci. 27, 224.
- Goody, R.M. y Y.L. Yung**, 1989: Atmospheric Radiation. Theoretical Basis. Segunda edición, Oxford University Press, New York.
- Houghton, J.T.**, 1986: The Physics of Atmospheres. Segunda edición. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mihalas, D.**, 1978: Stellar Atmospheres. Segunda edición, W.H. Freeman & Company, San Francisco.
- Modest, M.F.**, 1993: Radiative Heat Transfer, McGraw-Hill, Nueva York.
- Pelkowski, J.**, 1993: Approximating the source function of an atmosphere in radiative equilibrium: A variational method. Beitr. Phys. Atmosph., 66, 259.
- Rutly, B. y J. Bergeat**, 1994: The solution of the Schwarzschild-Milne integral equation in an homogeneous isotropically scattering plane-parallel medium. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 51, 823.
- Schwarzschild, K.**, 1906: Ueber das Gleichgewicht der Sonne. Goettinger Nachrichten, 41-53.
- Sobolev, V.**, 1990: Cours d'astrophysique théorique. Éditions Mir, Moscú.
- Trenberth, K.E.**, 1992: Climate System Modeling. Cambridge University Press, Cambridge.

UNA INTERESANTE COLECCION ETNOGRAFICA

por

Santiago Díaz-Piedrahita*

Resumen

Díaz-Piedrahita, S.: Una interesante colección etnográfica. Rev. Acad. Colomb. Cienc.22(82): 69-99. ISSN 0370-.3908

Se da a conocer una importante colección de 12 acuarelas costumbristas de la autoría de Juan Francisco Mancera, pintor natural de Soatá, Boyacá, quien aprendió la técnica de la acuarela como dibujante de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783 - 1816), empresa de la que se retiró en 1811. Se hacen comentarios relativos al origen del miniaturismo y la caricatura en Colombia, así como a la formación artística de Mancera, a la técnica por él empleada y a la composición y contenido de sus pinturas.

Palabras claves: Etnografía, Colombia, siglo XIX, Expedición Botánica, Juan Francisco Mancera.

Abstract

An important collection of 12 folkloric water colors done by Juan Francisco Mancera, a painter native to Soatá, Boyacá, who learned water color techniques as an illustrator of the Royal Botanical Expedition of the New Kingdom of Granada (1783-1816) from which he retired in 1811. Commentaries are given relative to the origin of the miniaturism and the caricature in Colombia, as well as Mancera's artistic training, his techniques, his composition, and content of his paintings.

Key words: Ethnography, Colombia, XIX Century, New Grenada Botanical Expedition, Juan Francisco Mancera.

Durante la primera mitad del siglo XIX, no fue frecuente en Colombia el empleo de la acuarela como técnica pictórica para representar tipos etnográficos o para

mostrar situaciones en forma un tanto caricaturesca. Tal vez, el principal exponente de este estilo haya sido José Manuel Groot¹ (1800 - 1878), quien, además de destaca-

* Profesor Titular, Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495 Santafé de BOGOTÁ, Colombia, sdiaz@ciencias.ciencias.unal.edu.co

¹ Interesantes datos sobre Groot como cultor de este estilo pueden verse en Historia de la Caricatura en Colombia. Biblioteca Luis Angel Arango, Banco de la República, Santafé de Bogotá, 1991.

do educador, escritor costumbrista, crítico, poeta e historiador fue pintor y dibujante, sobresaliendo como paisajista y como pintor costumbrista. Groot mostró preferencia por el dibujo tanto en lápiz como en tinta, trabajando con similar interés la acuarela y la miniatura. Hoy le recordamos como caricaturista de tipo social y político, faceta en la que el intelectual bogotano, curiosamente está conectado con la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, debido a que se inició en estas artes de la mano del pintor Mariano de Hinojosa, uno de los artistas venidos de Quito, y que una vez finalizadas las labores de la Expedición, abrió escuela de dibujo en Santafé².

Dados los antecedentes de su maestro, no es de extrañar el que Groot haya sido miniaturista, continuando con un estilo y una técnica arraigados entre los pintores formados o madurados a la sombra de Mutis. El segundo maestro de Groot en las artes plásticas fue Pedro José Figueroa, de quien aprendió el manejo del óleo. Aunque el artista produjo varios cuadros de indudable valor, en la técnica en que se ponen de manifiesto sus dotes de observador perspicaz y crítico, es en la de los dibujos costumbristas, donde destaca con trazos magistrales la conducta y temperamento habitual de las personas.

Por la misma época en que Groot, con una vocación temprana se dedicaba a pintar láminas de tipos de costumbres, en la provincia boyacense un personaje muy poco conocido, y con vínculos aun más estrechos con la Expedición Botánica, se dedicaba al mismo oficio. Se trata del pintor Juan Francisco Mancera, aparentemente natural de Soatá y de quien hoy sacamos a la luz pública doce miniaturas preciosamente elaboradas mediante la técnica de la acuarela atemperada, las que pintó como parte de una serie titulada **"Cuadros de costumbres de las provincias de Tunja y Pamplona"**,³

Tras ejercer su apostolado en la Diócesis de Trujillo en el Perú, en 1791 vino a la Nueva Granada como Obispo de Santafé Monseñor Baltasar Jaime Martínez Compañón; durante su permanencia en el Perú, además de ejercer generosamente la caridad y de cumplir con sus

deberes de prelado, se distraía en sus ratos libres elaborando pequeños cuadros de costumbres, a tal punto que legó a la posteridad varios álbumes en los que dejó plasmados los tipos humanos, las costumbres y los paisajes de dicha región⁴. Las pinturas de Martínez son algo ingenuas y carecen de cualquier viso caricaturesco. Infortunadamente en nuestro suelo no contó con las circunstancias de tiempo y de lugar que le permitieran realizar una tarea similar, aunque pasó a la historia como un pastor humilde y generoso que durante los seis años de su mandato espiritual fomentó la caridad, favoreció la educación, emprendió o concluyó varias edificaciones religiosas y fue importante benefactor del Colegio de la Enseñanza.

Con el inicio de la segunda mitad del siglo XIX se da comienzo a los trabajos de la Comisión Corográfica, empresa en la que se desarrolló una importante tarea pictórica de tipo testimonial que no es del caso analizar en esta oportunidad, y que por ningún motivo puede ser considerada dentro del costumbrismo con visos de caricatura. Por la misma época, en 1853 se da a conocer otro miniaturista, cuyas caricaturas, con un indudable contenido político, carecen de la calidad humorística y pictórica demostradas por Groot y por Mancera. José Gabriel Tatis Ahumada publica bajo el título de "Ensayos de Dibujo", un álbum en cuyas páginas se suceden grupos de personajes debidamente numerados, y en la mayoría de los casos identificados, entre quienes se encuentran el presidente José María Obando, su vicepresidente José de Obaldía, destacados militares, clérigos, políticos y personajes de la vida nacional, cuyas caricaturas al decir del autor⁵

"han sido hechas en el corto período de treinta y tres días, y que con cinco ó seis excepciones, todas las semejanzas de las personas que figuran aquí, han sido trasadas sin tener á la vista los orijinales y por lo tanto no he tenido oportunidad de hacer las correcciones que dicta el buen gusto, y mesclar á la par del estilo natural la elegancia en las actitudes,"⁶

Queda claro que la intención y el estilo pictórico de Tatis, son bien diferentes de los que impulsaron a Groot y a nuestro personaje. Las caricaturas que ocupan las 37

² Hinojosa pertenece al grupo de los pintores ecuatorianos que se vincularon a la Expedición en 1787. Laboró con esta empresa hasta 1816, tras lo cual se dedicó a pintar y enseñar pintura en Santafé.

³ De tal Album tan solo conocemos las acuarelas que acá se presentan y que pertenecen a la Colección particular de Doña Pilar Bermúdez. Es presumible que Mancera haya elaborado muchas más que no se conservaron hasta nuestros días o que están por descubrirse.

⁴ A partir de 1985 el Instituto de Cooperación Iberoamericana de Madrid publicó varios tomos en los que se reproduce la obra pictórica de Martínez Compañón.

⁵ La obra de Tatis fue reproducida en 1988 por Beatriz González bajo el título de "José Gabriel Tatis 1813-1884, Un pintor Comprometido". Carlos Valencia Editores Bogotá.

⁶ Op. cit. Introducción

páginas del citado álbum, de acuerdo con un aviso de prensa publicado por el autor, debían servir de estímulo a clientes interesados en encargarse un retrato en miniatura.

El retrato en miniatura se popularizó a comienzos del siglo XIX y llegó a convertirse en una profesión que permitió a más de un artista sobrevivir en una época en la que la economía andaba de capa caída a causa de las guerras de independencia. Muchos de los artistas vinculados con la Expedición Botánica derivaron hacia el retrato y unos cuantos como Félix Sánchez y Mancera lo hicieron hacia la miniatura. Tal vez el más conocido de los miniaturistas de entonces sea José María Espinosa, el famoso abanderado del ejército de Nariño y autor de unas célebres "Memorias"⁷, en las que, entre otras cosas, relata como logró sobrevivir, luego de ser liberado en Popayán, y después de escapar de La Plata y Hato Viejo, pintando miniaturas de santos y pequeños cuadros que le facilitaron huir del sur y retornar finalmente a Santafé.

Durante la mayor parte del período colonial las artes estuvieron limitadas a la elaboración de imágenes religiosas, y los talleres de pintura, platería y escultura solo vinieron a conformarse en la segunda década del siglo XVII, aunque se conocen trabajos previos de algunos artistas, de cuyas labores surgieron los retablos y ornamentos de varias iglesias. Se puede afirmar que la pintura aparece como disciplina con Baltazar de Figueroa, y con sus hijos Melchor, Gaspar y Bartolomé, a quienes se deben no pocos cuadros elaborados a finales del siglo XVI y comienzos del XVII. Con posterioridad se sucederían varios escuelas entre las que se cuentan las de los Acero (padre e hijo), quienes además de trabajar en muchas iglesias y conventos dieron lugar a un estilo muy propio.

Los pintores más característicos del período colonial eran descendientes de artesanos españoles que aprendieron el oficio a la sombra de sus padres, y se integraron a los pequeños talleres familiares, en donde también se recibían aprendices que más tarde contribuyeron a difundir el oficio. En estos talleres el propietario debía, no solo conseguir los encargos, sino crear los diseños y ejecutarlos, aprovechando la ayuda de los aprendices más experimentados y la colaboración de los principiantes que estaban bajo su tutela. Existía un vínculo de sujeción casi familiar entre el maestro y sus pupilos, quienes recibían, además de la educación en el oficio, alojamiento, alimentación y ropa, debiendo el tutor velar adicionalmente por la salud corporal y espiritual de sus discípulos, a cam-

bio de lo cual contaba con la total obediencia y sujeción de los aprendices que le proporcionaban mano de obra calificada. En estos talleres no solo se generó el conocimiento pictórico, en buena parte tomado de los libros y estampas de artistas europeos, sino que se lograron algunas innovaciones tecnológicas que se transmitieron a las siguientes generaciones.

Entre los artistas coloniales no se nota una gran técnica; fueron en su mayoría artesanos con más habilidad que creatividad, por lo que no lograron un verdadero desarrollo estético, ello debido a que los clientes hacían encargos concretos, debiendo el artista adaptar un modelo completamente foráneo, que generalmente simbolizaba las virtudes a través de escenas bíblicas, introduciéndole algunos cambios especialmente en el vestuario, de tal manera que el resultado final apareciese más acorde con las costumbres y usos de los neogranadinos.

Un estilo diferente y una nueva temática que rompen con el arte religioso, surgen cuando se empiezan a realizar dibujos que pretenden mostrar con la mayor exactitud las especies más notables de la flora americana. Esta tendencia aparece como un propósito en las expediciones españolas organizadas en América durante la segunda mitad del siglo XVIII y los comienzos del XIX; la de la Nueva Granada fue promovida por José Celestino Mutis; la del Perú y Chile estuvo dirigida por Hipólito Ruiz y José Antonio Pavón; la de la Nueva España estuvo a cargo de Martín Sessé y José Mariano Moziño, y la de Cuba funcionó bajo la dirección de Sebastián Esteban Boldó.

Se producen estas expediciones dentro de un proceso cultural económico y social iniciado cuando la dinastía borbónica realiza cambios substanciales en España. Carlos III llevó adelante la tarea reformista iniciada durante el reinado de Felipe V, continuada con Fernando VI y consolidada durante su gobierno. Las transformaciones sociales, económicas y culturales producidas permitieron a España constituirse momentáneamente como una gran nación burguesa y colonial. El Despotismo Ilustrado tenía como soporte la ideología reformadora de la Ilustración, la que implicaba un sistema de ideas, mezcla de racionalismo, reformismo en lo económico y social y fe en el progreso. La Ilustración española fue un reflejo de la Ilustración europea, aunque su racionalismo se vio limitado por el absolutismo de la monarquía y por el pensamiento religioso eminentemente católico. La apertura a la cultura europea y al mundo se inicia en España a finales del siglo XVII y con ella comienza a surgir una ciencia basada en la experimentación que se extiende a todos los campos. Es en éste ambiente renovador en el

⁷ Espinosa, J.M. 1971. *Memorias de un Abanderado*, Biblioteca Banco Popular 15. 230 pp.

que se formaron académicamente los promotores de la expediciones y comisiones científicas que se desarrollaron en América.

Desde mediados del siglo XVIII se toman medidas que pretenden incluir a las Indias dentro de los planes del absolutismo ilustrado. El Nuevo Mundo era un territorio inmenso, rico en posibilidades para los europeos y que ofrecía múltiples recursos naturales. Por ello era urgente organizar viajes para buscar plantas que, una vez de introducidas al cultivo pudiesen ser útiles. Era necesario mejorar el conocimiento hacia la naturaleza y hacia aquellas regiones susceptibles de aportar nuevos productos útiles. Había que buscar un desarrollo económico a través del conocimiento de la naturaleza y América era el lugar propicio para realizar estudios e investigaciones. Se trataba de conocer la tierra y los elementos que la componían pero dentro de un nuevo espíritu, conjugando los intereses científicos con las metas políticas y económicas.

Entre las expediciones españolas de finales del XVIII se destaca la promovida y dirigida por José Celestino Mutis, la cual funcionó como un verdadero centro científico cuya principal responsabilidad era la de estudiar los recursos naturales de la Nueva Granada y buscar su posible aprovechamiento; en su seno se educaron y formaron en la ciencia unos cuantos jóvenes ilustrados, que luego se vieron seriamente comprometidos en el movimiento de Independencia, pagando algunos de ellos con su vida tal participación. Infortunadamente la Expedición, que para su época tenía una visión integral de la naturaleza, tuvo un triste y lánguido final. Lo que ha debido servir como núcleo de un museo y base de una gran universidad, por falta de continuidad investigativa y de oportuna divulgación de sus resultados, vino a convertirse en una simple exploración florística de una parte reducida del actual territorio colombiano.

Una evaluación de la labor científica, y en particular de las tareas botánicas permite concluir que la obra máxima de la Expedición fue la extraordinaria iconografía, de la cual se conservan 2945 láminas iluminadas en color y 2248 monocromas, que pueden representar cerca de 2700 especies, es decir una mínima parte de la rica flora colombiana. No es del caso presentar acá un análisis pormenorizado de los resultados de la Expedición; simplemente recordemos que esta empresa constituye el punto de partida para el desarrollo de las ciencias en nuestro medio, habiendo servido además para renovar las artes y para activar las humanidades.

Deteniéndonos en la parte pictórica, debemos resaltar que la calidad y cantidad de los dibujos fruto de la

Expedición son un importante testimonio que acredita a esta colección como una de las más importantes y lujosas realizadas en el mundo. Mutis le imprimió un carácter particular a tal iconografía, centrando la labor pictórica en la exacta representación de la formas, los tamaños, las proporciones y el colorido, todo ello tomado directamente del natural. La importancia dada al dibujo como una herramienta al servicio de la ciencia hizo valorar su función; por la época era éste el único método que permitía perpetuar con fidelidad y exactitud las características propias de la planta, o al menos las más relevantes, ofreciéndole a los investigadores del futuro información de primera mano. El estilo miniaturista y la precisión con que están representadas las diferentes estructuras de la planta, permite al observador reconocer con certeza la especie representada.

Mutis logró institucionalizar un modelo de pintura un tanto barroco, en el que cada lámina guarda una composición geométrica en torno a un eje; se trata de pinturas casi siempre planas, como si se tratara de exsicados de herbario, pero dotadas de la riqueza cromática propia del material fresco. Son además intemporales pues representan simultáneamente todas las características de la planta a saber, capullos florales, flores maduras, frutos inmaduros y en sazón y hojas jóvenes y adultas vistas tanto por la haz como por el envés. A ello y en provecho de los botánicos que las utilizaran en el futuro, se añaden los dibujos de las distintas piezas florales o "anatomías", resultado de las disecciones de las flores.

Este estilo pictórico requería de una escuela de formación, donde se capacitaran nuevos pintores que luego se incorporarían al equipo humano de la Expedición. Las primeras láminas elaboradas por Mutis y que fueron enviadas de regalo a Linneo están elaboradas en tinta china y en aguada;⁸ las mismas aun no mostraban tan acentuadas las características arriba anotadas. Una vez organizada la Expedición, Mutis contrató como pintor a Pablo Antonio García, quien ya había realizado algunos trabajos para él; las láminas de la primera época, con una indudable calidad, aparecen deslucidas en comparación con las elaboradas años más tarde, en la medida en que arraigaron y se fueron perfeccionando el estilo y las técnicas, y que se capacitaron nuevos pintores. A García le sucedieron como discípulos Francisco Javier Matís y Salvador Rizo, ambos convertidos con el tiempo en excelentes artistas. A ellos se uniría toda una serie de pintores veni-

⁸ Estas láminas hacen parte de las colecciones que se conservan en la Sociedad Lineana de Londres.

dos de Quito y Popayán, así como otros formados en el seno de la Casa de la Botánica.

El traslado de la Expedición a Santafé implicó una reorganización de sus labores, contando en la capital con una mejor infraestructura; para lograr una mayor eficiencia era necesario organizar una escuela o academia de dibujo, creada al amparo de la Expedición y para su directo beneficio; la escuela funcionó con éxito bajo la dirección de Salvador Rizo, quien prestaba instrucción gratuita a niños y jóvenes interesados en aprender el dibujo botánico; muchos de los discípulos llegaron a convertirse en artesanos superiores, como es el caso del personaje que hoy nos ocupa.

Como ya se indicó, el estilo y la calidad de las pinturas fueron evolucionando; se trabajaba cada vez con más soltura y poco a poco se empezó a jugar con las sombras, sacando mayor provecho a las distintas tonalidades, con lo cual se lograba acentuar los volúmenes, al tiempo que se utilizaban los brillos y se aumentaba el esmero en los detalles. Es indudable que los avances pictóricos marchaban a la par con los adelantos en botánica, y Matís es el mejor exponente de ello por haber sido el pintor que mayor tiempo estuvo vinculado a la Expedición, y el que mayores conocimientos científicos adquirió, al punto de convertirse en catedrático sustituto de botánica. La concepción de las láminas pone de manifiesto que cada autor valoraba adecuadamente el conjunto, para destacar las partes de mayor interés y que requerían una presentación más importante y más detallada, acomodándolo geométricamente, como se aprecia en todas las láminas, donde prima el sentido estético, pero guardando fidelidad con el modelo natural.

Normalmente los artistas trabajaban nueve horas diarias, iniciando la labor a las 7 de la mañana, con el fin de aprovechar la mejor luz. Con el tiempo los artistas más veteranos trabajaban solo en la mañana. Los salarios se asignaban de acuerdo con la experiencia y eficiencia de cada artista. Se preferían personas entre 20 y 30 años que, además de docilidad y deseos de aprender, mostraran habilidad y destreza en el dibujo y en el manejo de los pinceles al temple. Se elaboraban tanto láminas iluminadas para conservar los colores del natural, como réplicas monocromas que debían de servir de modelo para los grabadores al momento de editar los tomos de la Flora. Las policromas estaban destinadas a servir de modelo a los pintores asignados para iluminar los grabados ya impresos, antes de encuadernar los tomos para su distribución.

Juan Francisco Mancera se formó como artista en la escuela de pintura que dirigía Salvador Rizo, pero ha

pasado a la posteridad, más que por la calidad de sus pinturas - algunas de las cuales muestran excelente calidad, en contraste con otras inacabadas y aparentemente realizadas con descuido - por haber acompañado en abril de 1803 a Sinforoso Mutis Consuegra y a su colega Antonio Lozano en el viaje a las provincias del norte de la Nueva Granada y a Cuba; de allí, además de plantas desecadas, diseños de las mismas y semillas, debían traer la vacuna de la viruela. Esta correría revestía el doble carácter de exploración botánica y viaje de negocios, y su verdadero objetivo era el de vender cortezas de quina que se habían añejado cuidadosamente en la Casa de la Botánica; de acuerdo con una hipótesis de José Celestino Mutis, tal añejamiento debía aumentar sus propiedades antifebrífugas de las cortezas, ganando el producto en calidad y en precio. Presuntamente las ganancias en este negocio, que fueron de once mil pesos fuertes, debían servir para ayudar a financiar la construcción del Observatorio Astronómico de Santafé y para construir el jardín botánico. El viaje se prolongó hasta 1808, y los beneficios logrados en la venta de las cortezas se consumieron en los gastos de permanencia en la isla, donde Sinforoso encontró a Angela Gama, el amor de su vida y con quien contrajo matrimonio.

Mucho dió que hablar este negocio. El 16 de marzo de 1810 Salvador Rizo en su calidad de Mayordomo de la Expedición y de albacea de Mutis le planteaba al Virrey Amar las circunstancias de este viaje y las consecuencias del mismo. Entre otras cosas señalaba como comienzos de 1803 había regresado Sinforoso de cumplir su pena de prisión y extrañamiento, coincidiendo su regreso con la falta de dinero para concluir la construcción del Observatorio Astronómico. Sinforoso se propuso como agente para llevar las citadas cortezas a Cuba y venderlas allí, aprovechando el viaje para ir herborizando en beneficio de la Expedición por los lugares donde transitara. El director acogió la idea y se acordó que Sinforoso en compañía de dos jóvenes pintores viajaría por Girón y Mompox hacia Turbaco y Cartagena, donde embarcarían con destino a la Habana. El regreso tuvo lugar a finales de agosto de 1808 siguiendo la vía de Cañaverales, Pamplona y el Socorro. Sinforoso viajó con el cargo de oficial de la Expedición devengando cuatrocientos pesos anuales. Los pintores Mancera y Lozano también viajaron asalariados por la Expedición, y aunque Lozano lo hizo mucho antes, todos al regreso recibieron los pagos correspondientes a los cinco años y cuatro meses que estuvieron por fuera. Los sueldos sumaron tres mil trescientos veintiséis pesos que añadidos a los ocho mil cuatrocientos ochenta y cuatro pesos de los gastos causados superaban los once mil ochocientos pesos como costo

del viaje, que de otra parte no dejó utilidades; a su vez Sinforoso reclamaba la mitad de las utilidades obtenidas al momento de vender las primeras remesas de corteza.⁹ Luego de no pocas discusiones y alegatos, en los que se esgrimieron los argumentos y razones de las partes, Sinforoso fue absuelto por los tribunales de la naciente República.

Por sugerencia de su tío, Sinforoso Mutis y su hermano José habían ingresado en 1789 a la Expedición Botánica en la calidad de aprendices de pintura, retirándose Sinforoso en 1793 para adelantar estudios de leyes en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. En su época de estudiante el joven Mutis mostraba un marcado interés por la política y era asistente habitual a las tertulias que presidían José Dionisio Gamba y Antonio Nariño; en 1794 se vio envuelto en la agitación y en las revueltas, siendo procesado por conspirador y posteriormente deportado por Cartagena con rumbo a España, donde estuvo preso en la cárcel de Cádiz entre 1796 y 1799. Como ya indicamos, tras cumplir con las penas de prisión y destierro Sinforoso regresó a Santafé y se reincorporó a la Expedición. Aparentemente su tío, con prudente actitud, quiso alejarlo del agitado ambiente político, y por ello acogió la idea de encargarle la venta de las cortezas y encomendarle a la vez la misión de herborizar en las provincias del norte y en Cuba.

Sinforoso no descuidó del todo sus labores y realizó colecciones dobles, enviando un buen número de ejemplares botánicos a Madrid, los cuales fueron recibidos y estudiados por Antonio José Cavanilles. De la estadía en Cuba quedaron 68 diseños de plantas, la mayoría firmados por sus autores y con el dato de la localidad de origen. Parte de los materiales allí acopiados se perdieron en un naufragio. Dentro de los materiales de la Expedición Botánica se conservan 18 láminas en folio mayor elaboradas por Mancera en Cuba, además de 22 que llevan su firma y que fueron realizadas en suelo granadino. De Lozano se conservan 3 láminas pintadas en Cuba, y de las hechas en la Nueva Granada 7 llevan su firma.

Con posterioridad al 20 de julio de 1810 las actividades en la Casa de la Botánica disminuyeron, dado que tanto el Director y responsable de las labores botánicas, como el Director del Observatorio Astronómico se dedi-

caron casi de lleno a la política, cambiando las labores científicas por el periodismo político y por la milicia. Los dibujantes debieron reemplazar las láminas de plantas por los mapas, y muchos optaron por retirarse, entre ellos Juan Francisco Mancera. Como un resumen de la actividad por él adelantadas como pintor de la Expedición podemos transcribir el siguiente recibo:

“Digo yo el abajo firmado que he recibido de don Salvador Rizo, como mayordomo de la Real Expedición Botánica, la cantidad de mil ciento cuarenta y tres pesos cuatro reales por mis jornales en el destino de oficial pintor principiante, devengados en la forma siguiente y como se figura en el margen: En el año 1801, a 2 reales, 264 días; en el año de 1802 y 1803, a 2 y ½ reales, 180 días; y desde 19 de abril de 1803 hasta 27 de agosto de 1808, 1958 días a 4 reales en el mes de septiembre y el de octubre del mismo año, 40 días a 5 reales y 23 días más de noviembre y diciembre al mismo precio; que hacen la expresada cantidad, y para que conste lo firmo en Santafé a 6 de diciembre de 1808.

*Francisco Mancera*¹⁰

Mancera laboró con la Expedición tres años más, abandonando definitivamente su puesto en 1811. Posteriormente se alejó de la capital y al parecer ejerció algunos cargos públicos en la provincia de Tunja. Poco se conoce en relación con las actividades adelantadas por el pintor con posterioridad a su retiro de la Expedición; es un hecho que se desempeñó como retratista en miniatura, conservándose al menos una de sus obras que se conserva en la Casa Museo del 20 de Julio, y que corresponde a una acuarela sobre marfil de forma oval que representa a Monseñor Rafael Lasso de la Vega, fechada por su autor el 12 de diciembre de 1827. En cuanto a otro tipo de obras, solo ahora, al dar a luz parte de sus acuarelas, sabemos que además del retrato en miniatura cultivó el estilo costumbrista, adoptando una nueva temática y modificando su estilo hacia la caricatura.

Las láminas que se reproducen con estas notas se conservan en la colección particular de Doña Pilar Bermúdez, quien las cuida con esmero. Se trata de doce acuarelas, once de ellas de aproximadamente 20 centímetros de ancho por treinta de alto, elaboradas en acuarela atemperada y retocadas a la manera de miniaturas para garantizar los detalles; la otra mide aproximadamente 12 centímetros de

⁹ Véanse al respecto entre otros los documentos fechados el 16 de marzo de 1810, el 28 de mayo de 1811 y el 13 y 18 de julio de 1811 en Hernández de Alba, G. 1986. Historia Documental de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada después de la muerte de su director Don José Celestino Mutis 1808-1952.

¹⁰ Op. cit. pag. 199.

ancho por 24 de alto. En ellas se pone de manifiesto un rompimiento con el estilo adquirido en la Escuela de Pintura, al cambiar los esquemas planos de las plantas por los tipos humanos, en los que incorpora un estilo característico. Como se puede apreciar, se trata de cuadros de tipo documental pero con un cierto sabor de caricatura social, donde el volumen se exagera, abusando un tanto de las formas redondas, lo que confiere un carácter particular a cada rostro o a cada cuerpo. A través de las siluetas saltan a la vista las peculiaridades de los personajes en los que se adivina un lejano toque de humor.

La ejecución de cada acuarela es esmerada y cada personaje desempeña un papel, con excepción del gallero que aparece un tanto estático; son sacerdotes, frailes, campesinos o indígenas que trabajan o discuten, o son amonestados, o bailan, o viajan, reflejando siempre el comportamiento de los seres del pueblo. El paisaje, en las láminas

que corresponden a exteriores, aparece un tanto lejano y reducido a perfiles de montañas y a árboles distantes, con la excepción de una pequeña capilla que es la única construcción representada en la serie. Tienen gran importancia en la composición las perspectivas cercanas, las facciones y los vestidos, donde un gesto, una ruana listada, unas alpargatas sucias o un caballo transmiten el mensaje que quiso expresar el artista. A través de estos personajes finalmente seleccionados Mancera nos hace captar rasgos, actitudes y circunstancias características de los pobladores de su región; los retratos, hoy con un indudable valor documental, nos muestran tipos populares fiel y graciosamente representados con sus actitudes y sus fisionomías, que graciosa y fielmente denotan malicia, viveza, resignación, rabia o estupidez.

Es indudable que el artista a través de sus apuntes logró perpetuar a varios personajes, recalcando con tono mordaz y algo caricaturesco sus defectos y virtudes, pero



Figura 1. Lámina del "Revienta caballo" (*Hippobroma longiflora*) realizada por Mancera en La Habana, Cuba. Colección Iconográfica del Real Jardín Botánico de Madrid.



Figura 2. Lámina del "Moniato hembra" (*Ocotea* sp., Lauraceae) realizada por Mancera en La Habana. Colección Iconográfica del Real Jardín Botánico de Madrid.

a la vez conservando la fidelidad y la naturalidad; como ya se indicó, son tipos populares fiel y graciosamente representados, en los que Mancera, con gracia y mordacidad logra exagerar la viveza o la torpeza, aprovechando el colorido, las texturas, los listados y las sombras, hábilmente dispuestas, logrando destacar las caras y las facciones que adquieren más importancia que los cuerpos, los cuales quedan un poco planos por el abuso de las figuras de perfil.

Junto con los cuadros costumbristas y con el objeto de apreciar mejor la evolución en el estilo pictórico de Mancera, presentamos dos de las láminas de plantas elaboradas durante su prolongada visita a Cuba (Figs. 1 y 2), y que hacen parte de la colección iconográfica del Real Jardín Botánico de Madrid, así como una miniatura correspondiente al retrato de Pedro Lazo de la Vega, que se conserva en la "Casa Museo del 20 de Julio", facilitada gentilmente por su Directora, Doña Carmen Ortega Ricaurte (Fig. 3). La primera de las acuarelas que se reproduce (Fig. 4) no hace parte del álbum de costumbres de las provincias de Tunja y Pamplona; se trata de una lámina de menor tamaño que representa a un gallero de Bogotá, el cual luce un cubilete negro y va arropado con una capa azulosa que le cubre los brazos; lleva un cigarrillo en la boca y arroja una gran cantidad de humo. El álbum se inicia con la lámina titulada "Fraile en camino" (Fig. 5) y representa a un caballero en el atuendo apropiado para un viaje a caballo, en el que tan solo el peinado nos recuerda su condición de fraile; luce zamarras, espuelas, ruana listada de rojo y azul y lleva en la mano un sombrero rojo, que más que una corrosca tiene un lejano aire a capelo de cardenal. El fraile con una mirada un tanto lasciva observa a una dama que asoma a la ventana.

La segunda de las acuarelas (Fig. 6) nos muestra a José Salazar, natural del sitio de Carrera en la vía a Capitanejo cargando un gran calabazo de miel para la elaboración del guarapo. Se trata de un hombrecillo regordete que calza alpargatas blancas y lleva una camisa azul a cuadros pequeños y unos pantalones de tela listados de azul y totalmente raídos en las rodillas a fuerza del uso. La tercera de las acuarelas (Fig. 7) nos muestra a un negociante de la provincia que regresa de Santa Rosa en medio de un gran aguacero. Aparece el perfil de un caballo enjaezado que ha parado en medio de torrencial lluvia a orinar como si estuviese ahíto de chicha; su jinete con resignación fuma una "calilla" mientras recibe el aguacero protegido por el sombrero, la ruana y los zamarras. Bajo el sombrero luce una pañoleta anudada en la nuca, atuendo que se va a repetir en otras de las acuarelas.

La cuarta de las acuarelas (Fig. 8) representa a un cura amonestando a una indígena. La mujer luce arrependida de una falta, seguramente de menor orden, aparece descalza, sin su sombrero y en una actitud de humildad en tanto que el párroco, con cara bonachona, con un misal en la mano y ataviado con cubilete, corbata y capa negras, chaqueta a rallas y pantalón listado de color café le imparte la absolución. La quinta de las acuarelas (Fig. 9) nos muestra a los "personajes de la polka" en Sogamoso; se trata de una pareja que baila ricamente ataviada, ella con sombrero de paja finamente entretejido y con cinta listada de color rojo, pañolón azul oscuro de paño y falda prensada con vivos verdes y rojos; él con zapatos negros, pantalón gris a rallas, ruana azul con fondo rojo y sombrero café de fieltro con borla.

La sexta de las acuarelas (Fig. 10) nos muestra al mayordomo de la Hacienda de Anticuta en Málaga montando un caballo en medio de una cabriola y en actitud de enlazar. El jinete luce botas con espuelas, las que aparecen dentro de un estribo de cobre. Además de los obligados zamarras, el mayordomo lleva ruana rallada y con fondo rojo, saco, camisa y pantalón de tela listada. En la séptima acuarela titulada "Un baile en Boavita" (Fig. 11) aparece una pareja danzando, ella peinada de trenzas y ataviada con alpargatas blancas, falda larga prensada y blusa de etamina con vivos en el cuello y en las mangas y un rosario adornando su cuello; el con un gran sombrero de paja entretejida con cinta negra, pañoleta listada amarrada a la nuca, camisa blanca con vivos rojos y azules en la parte inferior, pantalones de tela blancos con listas azules y alpargatas blancas anudadas con cordón negro. Las paredes están adornadas con tres láminas, la de la izquierda de la Virgen de Chiquinquirá, la del centro parcialmente desprendida representa a Napoleón, y la de la derecha corresponde a un paisaje campesino.

Es presumible que Mancera no haya contado con modelos voluntarios y que a través de apuntes haya logrado retratar y perpetuar varios personajes típicos, confiriéndoles de paso un tono mordaz y caricaturesco, al recalcar en ellos alguna característica particular, pero a la vez conservando algo de la naturalidad propia de sus quehaceres cotidianos. Sin embargo, el bailarín de Boavita, en sus facciones muestra un parecido notorio con presidente del Cabildo de Capitanejo que aparece discutiendo con el alcalde en la octava de las acuarelas, y con el personaje de Sátiva que recibe la demanda en la novena acuarela. En la octava lámina (Fig. 12) vemos al alcalde y al presidente del Cabildo de Capitanejo en plena discusión, ataviados el primero con un gran cubilete encima de la pañoleta y con un saco listado de rojo y azul y pantalón blanco; en

segundo luce camisa blanca, pantalón de color café y corroasca con cinta negra. La novena de las láminas (Fig. 13) nos muestra a un anciano con apariencia de mendigo o de persona de escasos recursos entablando una demanda ante el alcalde de Sátiva. La demandada luce sombrero de paja, pañolón azul oscuro y falda amplia prensada; el alcalde viste zapatos negros, pantalón a rallas, ruana blanca con listas azules y sombrero de paja y empuña un recatón como símbolo de autoridad.

La décima acuarela (Fig. 14) recuerda a primera vista por su composición la escena de la "Última cena" representada por Leonardo da Vinci, aunque la mesa es sensiblemente más corta; los integrantes del Cabildo de Llano Encizo, población ubicada en las márgenes del río Servitá al frente de Málaga aparecen sentados en la mesa,

en tanto que dos alguaciles montan guardia de pie a los extremos. El hombre de la izquierda tiene rasgos negroides y pelo rizado en contraste con las cabelleras de los otros personajes; sobre la mesa aparece un tintero con sus respectivas plumas y varios sobres y papeles. La undécima de las pinturas (Fig. 15) lleva el título de "Taberna de Capitanejo", y en ella apreciamos a la tendera quien escucha tras el mostrador a tres músicos, a la izquierda el vocalista, quien viste alpargatas, pantalón negro y camisa a cuadros azules pequeños y sombrero de paja; el músico del centro interpreta el requinto y lleva un atavío similar al del cantante pero de diferentes colores; a la derecha aparece un individuo de raza negra que interpreta las maracas y que a diferencia de sus colegas aparece descalzo y más pobremente trajeado; su sombrero es de tela y lleva calzones que apenas superan la altura de la rodilla.



Figura 3. Retrato hecho por Mancera del Ilmo. Sor. Rafael Lasso de la Vega. Busto levemente girado hacia la derecha en acuarela sobre marfil de 6cm. de alto por 5 cm de ancho. Colección de la Casa Museo del 20 de Julio. Bogotá.



Figura 4. Gallero de Bogotá. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 5. Fraile en Camino. Cuadros de costumbres de las provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 6. “José Salazar del sitio de la Carrera, va a Capitanejo con un calvaso de miel.” Cuadro de costumbres de la Provincia de Tunja. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 7. Negociante de la Provincia que regresa de Santa Rosa con un gran aguacero. Cuadro de costumbres en las Provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 8. Amonestación del Párroco a una indígena. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 9. Personajes de la Polca en Sogamoso. Cuadro de costumbres de las Provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.

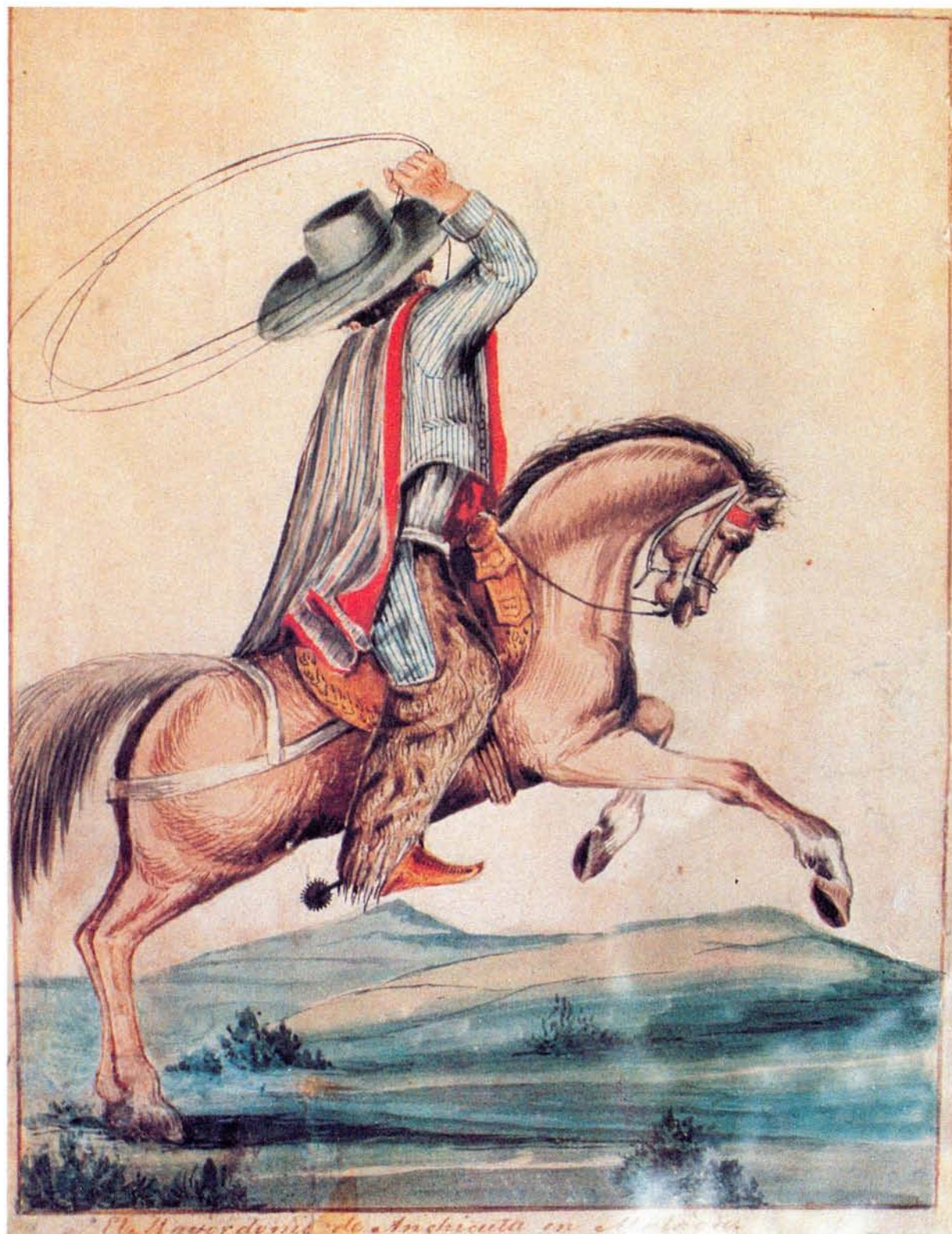


Figura 10. El mayordomo de Anticuta en Málaga. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 11. Un baile en Boavita. Cuadro de costumbres de las provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 12. Discusión entre el Alcalde y el Presidente del Cabildo de Capitanes. Cuadro de Costumbres de las provincias de Pamplona y Tunja. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 13. Una demanda en Sátiva. Cuadro de costumbres en las provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 14. Cabildo Ordinario del distrito de Llano Encizo. Colección de Pilar Bermúdez.



Figura 15. Taberna en Capitanajo. Costumbres de las provincias de Tunja y Pamplona. Colección de Pilar Bermúdez.

EL ENVÍO DE PRECIOSIDADES DE AMÉRICA A ESPAÑA EN EL SIGLO XVIII

por

Luis Carlos Mantilla R., O.F.M.

Resumen

Mantilla R., L.C.: El envío de preciosidades de América a España en el Siglo XVIII. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 101-107. 1998. ISSN 0370-3908.

A través de citas documentales se comenta el envío a la Corte española, desde las colonias americanas, de objetos diversos, algunos de ellos un tanto exóticos y curiosos.

Palabras claves: Historia Natural, España, América, Siglo XVIII.

Abstract

Based in historical documentation, commentary is provided about the curious, and exotic diverse materials sent to the Spanish court from the American colonies.

Key words: Natural History, Spain, America, 18th century.

El inusitado entusiasmo que rodeó a la Corte de Carlos III en la última década del siglo XVIII por aclimatar en los propios jardines reales plantas y animales americanos, queda patentizado al registrar los inventarios de la multitud de diversos ejemplares curiosos que fueron remitidos desde todos los rincones de las colonias americanas a la Península. Entre estos sobresalen las remesas despachadas desde el Nuevo Reino de Granada, como fruto de la Expedición Botánica, pero también los copiosos envíos, que por razón de las mismas expediciones científicas fueron remitidos desde la Nueva España en 1787 por los científicos Martín Sessé (español) y el mexicano José Mariano Mociño, así como las abundantes remesas desde el Perú, Chile, etcétera. En el caso nuestro el envío permanente de tantas muestras no dependió solamente de la riqueza

natural del país, sino de la gran mística por hacerla conocer del Virrey Caballero y Góngora, fundador de la Expedición Botánica, y de la de su director don José Celestino Mutis, pero desde luego también dependió de la ingente labor de los recolectores y clasificadores de las muestras, entre quienes sobresalió de manera prominente la figura del franciscano **Fray Diego García**, recientemente rescatada de la injusta penumbra en que estuvo relegada durante dos siglos¹.

¹ LUIS CARLOS MANTILLA R. SANTIAGO DIAZ P.: **Fray Diego García, su vida y su obra científica en la Expedición Botánica** (=Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Enrique Pérez Arbeláez no.7), Segunda Edición, Bogotá 1995.

Muchas de esas muestras preciosas iban destinadas con un determinado interés científico y eran dirigidas directamente al Real Gabinete de Historia Natural a Madrid, otras iban con el intento de su aprovechamiento para la salud, como el tan codiciado Palo de Ariza o la quina, otras se enviaban por simple curiosidad, no pocas para satisfacer las veleidades de las damas de la corte, como en el caso de los cisnes o de pájaros exóticos, y hasta el singular y curioso regalo de un enano que le envió el Virrey Caballero y Góngora al Rey.

¿Pero cuál fue el fruto científico de tanto esfuerzo? Aunque nos parece que sobre este punto no se ha hecho claridad, nos atrevemos a creer que fue muy poco, pues la mayor parte de aquel valioso acopio de plantas, insectos, mamíferos, aves y minerales, que estuvieron almacenados en el Jardín Botánico de Madrid hasta 1935, nunca fue estudiado ni revisado y aquellos ejemplares permanecieron olvidados para el mundo científico y en nada contribuyeron al desarrollo de la taxonomía del siglo XIX. Sin embargo, creemos que la aclimatación de muchas plantas americanas en algunas partes de España, y en el caso nuestro de las del Nuevo Reino de Granada, justificó de algún modo el objetivo de aquellos envíos. Que lo digan, si no, el ambiente húmedo que mitiga para el embelesado visitante colombiano los rigores de la canícula cuando la fortuna lo lleva a pasearse por los jardines de los Reales Alcázares de Sevilla, en donde el espíritu agradecido con aquella sombra benéfica evoca y se trasporta a nuestros bosquecillos de tierras templadas, o también algunas de las plantas que refrescan y embellecen los jardines del Parque Genovés de Cádiz, de frente al mar.

Sin embargo, como el propósito del presente trabajo no es el de responder sobre los logros de aquellos envíos a la Península, sino que en el nos proponemos ilustrar a través de noticias de primera mano, casi todas inéditas, aquella singular aventura, vamos a entrar directamente en materia.

Platina del Perú, Diamantes de Chile y Patos de Nueva Orleans

El Virrey del Perú, don Agustín de Jáuregui, anunciaba desde Lima el 16 de septiembre de 1783 al excelentísimo señor don José de Gálvez² "la remesa de los 20 cajones con platina, metales y otros frutos de este reino"³.

² Don José Bernardo Gálvez y Gallardo, tantas veces mencionado aquí en la correspondencia de quienes le remitían los diversos envíos de muestras, fue Secretario del Despacho Universal de Indias entre 1785 y 1787, tenía el título de Marqués de Sonora.

³ ARCHIVO GENERAL DE INDIAS (en adelante AGI): **Indiferente General 1550**

Por su parte, el presidente de Chile don Ambrosio de Benavides, desde Santiago a 3 de febrero de 1783, avisaba a Madrid "que a consecuencia de la remesa de ciertas piedras que hice al Virrey de Lima para que dispusiese el reconocimiento de su calidad o indicios de ser diamantes..."⁴.

Desde Nueva Orleans a 20 de abril de 1787, Martín Navarro escribía al Marqués de Sonora para decirle lo siguiente:

"Antes de fallecer el excelentísimo señor Conde de Gálvez, en su carta amistosa me dice que tiene el encargo de vuestra excelencia para que en uno de los barcos que salgan de este río para Cádiz, se le remitan algunos gansos de esta provincia para reparar la pérdida de los que tenía el Rey, y otras aves de las que se cogen en estas lagunas. Como nada he deseado con más empeño que llenar las comisiones y encargos de aquel siempre para mi venerado jefe, aprovecho la ocasión de la fragata particular **La Luisiana** que con carga de tabaco pasa al citado puerto al mando de su capitán don José Ramón de Urquijo para dirigir a vuestra excelencia las que constan de la inclusa noticia, con orden de que las entreguen a su arribo al Presidente de la Contratación para que por su conducto lleguen a poder de vuestra excelencia..."

En papel aparte, y bajo el siguiente título, se detalla el número de las aves remitidas: "Noticia de las aves que remite el Intendente de la Luisiana al Excmo. señor Ministro de Indias":

12 gansos de la provincia

(a) 8 idem silvestres

(b) 8 abutardas

(a) No se amansan nunca, al punto de hacer cría en los corrales, el medio de cogerlos es la escopeta desmontándoles parte de alguna de las alas; permanecen con las demás aves domésticas hasta que la pluma les permita tomar vuelo y ausentarse; su carne es delicada.

(b) Especie de ganso, subsiste como los antecedentes en las lagunas, siempre se mantiene arisca, su carne es mucho más dura que la del ganso".

En la nota puesta al margen de esta misiva, quizás de puño y letra del mismo Marqués de Sonora se lee: "que vengan estos gansos a Madrid y a la Casa de Campo".

⁴ AGI: Indiferente General 1550

Con relación a este mismo envío, el 3 de julio de 1787 don Ramón de Higuera anunciaba desde Cádiz al excelentísimo señor secretario de Estado y del despacho universal de Indias lo siguiente

“Que en las fragatas **Fortuna** y **La Luisiana** que procedentes de Cartagena y Nueva Orleans entraron en este puerto el 29 del pasado, se conducen con destino para Su Majestad, en la primera un animal de extraña figura cuyo nombre es el de danta o gran bestia, y en la segunda 12 abutardas y 10 gansos silvestres, y no hallándose con noticia del envío de dicha bestia ni pájaros, lo participo a vuestra excelencia para que se sirva prevenirme lo que tenga por conveniente en inteligencia de que en tanto no se verifique he dispuesto se ponga al cuidado de don Pedro Vares, como se ha hecho con los animales que han venido en otras ocasiones....”.

Una nota puesta al margen de esta noticia, nos permite saber que finalmente llegaron a su meta final los referidos animales. Dice éste: “Condujo uno y otro Vares y pasó a hacer la entrega a San Ildefonso”⁵.

Maderas para el Palacio Real en Madrid

Una orden real de 28 de agosto de 1787 advertía a los Virreyes de México y Santa Fe, a los Intendentes de la Habana y Caracas, a los Gobernadores de Yucatán y Filipinas y a los Presidentes de Quito y Guatemala que: no debían enviarse a España, con otro fin, “maderas algunas de las que se mandaron enviar para las obras del Real Palacio, Príncipe nuestro señor y Serenísimos Infantes”⁶.

Creemos que para algunas de las magníficas habitaciones de este suntuoso palacio, iban destinadas las maderas que los franciscanos del convento de la Villa de Nuestra Señora de Guaduas, por comisión del propio Virrey don Manuel Flórez, recolectaron y después enviaron a Cartagena por el puerto de Honda, según se contiene en la siguiente misiva que en respuesta a la suya le remitió el comisionado Fray José Antonio de Cárdenas al Virrey el 18 de julio de 1777:

“En virtud de la recomendación que la superioridad de vuestra excelencia se dignó fiar a mi cuidado, luego que llegué a esta villa hice la diligencia con los vecinos inteligentes en maderas, para que se solicitase el Palo

Colorado, del que he conseguido las dos trozas que remito para que sirvan de muestra, las que celebraré estén a gusto de vuestra excelencia. Y por lo respectivo a las cincuenta que por medio del reverendo padre Fray Antonio de Miranda se sirvió insinuarme eran necesarias, quedan aprontándose, y si hubieren de ser de mayor grueso que las que le remito, se podrían conseguir, y solo espero la determinación de vuestra excelencia para que en esta menguante se acaben de cortar y se puedan conducir a la parte que vuestra excelencia fuere servido.....”.

Al margen de esta carta, y al parecer con letra del propio Virrey, se lee:

“Respóndase que las 50 trozas de madera colorada cuanto más gruesas mejor, como sean del mismo color y dos varas de largo. Que las envíe a entregar al oficial real de Honda. A éste le dirá que los envíe con cuidado al Gobernador y oficiales de Cartagena, que son para el Rey. A dichos, que los dirijan al Presidente de la [Casa] de la Contratación de Cádiz en la primera embarcación que vaya a aquel puerto y no a la Coruña ni al Ferrol. Al Presidente que son para el Rey y al Ministro que son para sillería por especial (al parecer) su color y buena calidad”⁷

Almadrón de Mariquita y palma de coco de Santa Marta

El 9 de febrero de 1785, el Arzobispo Virrey don Antonio Caballero y Góngora avisaba al excelentísimo señor don José de Gálvez que:

“En la fragata correo **El Pizarro** que conduce estos pliegos he embarcado dos cajoncitos con arbolitos prendidos de la famosa planta del **Almadrón** que se halla en la provincia de Mariquita, nombrada nuevamente en las obras de don José Mutis la **Galvecia** en buena memoria del alto nombre de vuestra excelencia, y al capitán le he dado la instrucción del modo de conservarlos en la navegación, de que incluyo a vuestra excelencia copia. Asimismo lleva dos palmas de coco de la provincia de Santa Marta y espero que dando vuestra excelencia las ordenes convenientes para su conducción a esa corte, me avise del estado en que llegan, por si fuere necesario repetir igual o mayor remesa”.

Efectivamente, anexada a la anterior comunicación se halla la “instrucción para el cuidado de los almadrónes”⁸, de la cual es autor el propio don José Celestino Mutis, que dice:

⁵ AGI: Indiferente General 1550

⁶ AGI: Indiferente General 1550. Se encuentran las respuestas de todos los arriba citados acatando su puntual cumplimiento.

⁷ Archivo General de la Nación Bogotá: **Miscelánea 120**, fol. 115r

⁸ El almadrón fue descrito en los Icones de A.J. Cavanilles como *Caryocar amigdaliferum*.

“conviene mantener en los cajones las cubiertas que defienden a los arbolitos del sol descubierta y vientos recios. A la salida del trópico podrán ya recibir el sol por algunas horas, quitándoles la cubierta de hojas, pero manteniendo los arcos para poner encima otra equivalente que los defienda del frío que van a experimentar por la primera vez. Desde las diez del día hasta las dos de la tarde podrán estar al sol, por hallarse sus rayos muy oblicuos en la estación que se regula de su tránsito. En todo el resto se mantendrán abrigados, dejándoles el aire libre para su ventilación por las dos puertecillas opuestas. Por ellas se han de regar al amanecer con cuatro o seis vasos de agua cada cajón, oleando el agua con la mano para que se distribuya con igualdad; se repite esta operación todos los días.

En el espacio de cuatro meses de tránsito no pueden crecer sobre su cubierta. Si ocurriese alguna larga detención imprevista y algún arbolito tocara el cielo de la cubierta, se podará con seguridad a media vara de distancia de la superficie de su suelo, afianzando con una mano la parte inferior hacia abajo para que no padezcan las raíces y con la otra oblicuamente se cortará el tallo superior. No es necesaria otra advertencia. Mutis”⁹.

Debe tenerse en cuenta que Mutis tuvo un altísimo aprecio por el **Almendrón**, desde que lo conoció en Mariquita, y que le prodigó ingentes cuidados, siendo tal vez una de las plantas que, junto con la Quina y sus diversas clases, más veces aparece mencionada en su **Diario de Observaciones**. Por ejemplo, desde el 15 de julio de 1783 había escrito: “Este celebradísimo árbol merece una descripción muy particular por estar adscripto a los montes de esta serranía, sin que se sepa que crece en otra parte del Reino”. Al año siguiente, en las notas correspondientes al 23 de abril, escribió: “Por la tarde hablé con el señor Calleja, hombre práctico de los **Almendrones**, por vivir en Constanza, donde hay muchos, y preguntado por la cosecha de estos árboles me dio a entender que había pocos en fruta en la estación presente. Me ofreció un retoño que me tenía guardado, al cual llamaba pollincito, y que me solicitaría otros de otras partes. Con este ofrecimiento se me ha excitado el deseo de trasplantar media docena de este singularísimo árbol, que será de la mayor estimación si se logra propagar en España”. Y seguidamente anotó estas frases que pueden retenerse como el precedente inmediato que originó el envío arriba referido: “Y consultando con mi compañero este pensamiento me propuso que se podrían enviar

algunos huesos en los cajones para que retoñaran en el viaje; los cuales tenía en la humedad con la precaución de haber apuntado el día. Seguiremos con la mayor actividad este pensamiento para que sean conducidos por el señor Presidente de Quito, cuyo regreso a España puede estar próximo y se hará un especial honor de conducir estos árboles con el mayor cuidado...”¹⁰

Canela silvestre de Mariquita

El mismo arzobispo virrey, finalizando 1786 daba este feliz anuncio a don José de Gálvez, Marqués de Sonora, si bien sus expectativas de que fuera lo que pensaba, se vendrían al suelo con el informe de Mutis, con lo cual ciertamente se evitaban errores pero se perdían los esfuerzos hechos en la recolección y el envío de esos materiales:

“Muy señor mío: deseando verificar con la brevedad posible y en la mayor inmediación a esta capital el beneficio de la canela silvestre, supe que en el páramo del Bée, distante cuatro días de camino de la ciudad de Mariquita, se hallaban muchos arboles conocidos con el nombre de canelos del páramo. Cometí el descubrimiento a don Francisco Armero, vecino distinguido de aquella ciudad y práctico de toda la montaña por sus repetidos viajes a la provincia de Antioquia; quien arreglado a la instrucción acaba de poner en mis manos las cañas, hojas, flores y madera del árbol mencionado. Y hallándose por casualidad en esta capital el botánico comisionado don José Celestino Mutis, le hice reconocer esta producción en todas sus partes, como verá vuestra excelencia por su informe que acompaño con un cajoncito en que van contenidas y bien colocadas dichas cañas, hojas y flores, reservando su madera para remitirla con otras a su tiempo. No tardará mucho el descubrimiento de la canela silvestre en estas cercanías como me lo prometen las activas diligencias que se están practicando. Tal vez interesará también a la humanidad el descubrimiento de este remedio, si calificado por los inteligentes, llega a conseguir la estimación que merecen algunos específicos de estos dominios. Doy con esto a vuestra excelencia una nueva prueba de mis encendidos deseos en verificar el debido cumplimiento a las repetidas reales ordenes sobre unos asuntos tan del agrado de Su Majestad. Dios guarde a vuestra excelencia muchos años como deseo. Santafé,

¹⁰ **Diario de Observaciones de José Celestino Mutis** (transcripción, prólogo y notas de Guillermo Hernández de Alba) tomo II, Bogotá 1958, pp .57 y 143-144

26 de diciembre de 1783...Antonio, Arzobispo de Santafé"¹¹.

Bien pronto desengañaría el propio Mutis al arzobispo virrey sobre la autenticidad de la que el reputaba por canela:

"Señor, muy poco tuve que trabajar en el reconocimiento que vuestra Excelencia me manda hacer para determinar si las cañas de la nombrada canela del páramo del Bée podrían pertenecer a algunos de los dos verdaderos árboles de este nombre, o bien de las dos especies *Laurus connamomum* y *Laurus cinnanomoides*, entre las muchas especies de laurelas conocidas en esta América. Las hojas y flores secas del árbol presentado a vuestra Excelencia juntamente con las cañas, por cuyo excesivo picante podía solamente conocer este árbol quien lo hubiera examinado antes, me sacaron de las dudas que siempre tuve sobre la rara producción de un árbol de Canela en un suelo tan elevado como es un páramo...."¹²

Víboras e insectos del Darién

Poco antes de que se iniciara en 1785 de manera formal la defensa y colonización de la costa del Darién, que le fue recomendada por la Corona al Arzobispo Virrey Caballero y Góngora entre las prioridades de su gobierno, ya habían salido muestras exóticas de su suelo, destinadas al Real Gabinete de Historia Natural. El 1º de noviembre de 1784 el gobernador del Darién don Andrés de Ariza había enviado al Marqués de Sonora don José de Gálvez junto con la siguiente nota, una descripción de lo en ella le anunciaba:

"Dirijo a los pies de Su Majestad por mano de vuestra excelencia la adjunta cajilla con cinco **insectos raros**, los que me parece merecerán la curiosa atención de Su Majestad y Príncipes nuestros señores, no dudando que por su extrañeza si se colocan en el Real Gabinete de Historia Natural, logran también el aprecio de los aficionados a dicha ciencia. También lleva dicha cajilla un diente, un colmillo y tres vértebras del espinazo de una víbora bocaracá que es de las más temibles por la actividad de su veneno....".

Descripción de los insectos remitidos en la carta anterior:

Son los **Chipepes** insectos de estuche, los cuales unos se crían en las riveras de los ríos, y otros en las montañas, los unos se alimentan de la caña del maíz y la de virolí, con que hacen los indios flechas, y los otros de cogollo de palma cuyo tronco se aplica para pilares de casas pajizas y las hojas para lechos de eneas.

El uso que hacen los naturales de dichos insectos es para incitarse la venus, haciendo polvos alguna parte del testuz y garras de dichos animales y bebiendo la cantidad de un polvo de tabaco en algún licor causa inmediatamente violentísimo efecto el cual solo se mitiga con agua de maíz fermentado.

Aunque todos los chipepes se consideran de una misma virtud y especie, se subdividen en varias familias, como se ve desde el 1 al 5. Este último es de familia peregrina, porque solo el se ha visto de su especie, y el 4 también es raro por su tamaño, y ambos de los de montaña y aunque los que se presentan les falta el estuche, es porque por lo regular se hallan sin el, pero en todos dicho estuche es igual a proporción de su testuz.

Las tres vértebras o articulación del número 6 son del espinazo de una víbora que se mató cerca de Calidonia en uno de los viajes que hice a aquellas montañas a los cuales se les pegó el color terrizo por una parte y por la otra la de las aguas lluvias por haber quedado en el monte un invierno a la inclemencia, hasta que el siguiente verano, habiendo repetido igual campaña, se encontró toda la osamenta de dicha víbora dispersa, ya por efecto de las corrientes de las lluvias en el monte y ya por las de las hormigas que se alimentan de sus nervios.

Las dos piezas que van en el número 7, la menor es un diente y el mayor un colmillo de la referida víbora, en la punta de ambas se ve un orificio con el cual se dice introduce el veneno cuando pica.

Los naturales huyen de pisar los huevos de estos animales reptiles porque si se clavan es la herida de difícil curación, y del colmillo usan para curarse el dolor de muelas, descarnando la encía y aunque esta se inflama e irrita, he visto que con este efecto consiguen el alivio.

La citada víbora era de la especie que llaman Bocaracá la más temible por la actividad de su veneno. Las hay de varios tamaños..."¹³.

¹¹ AGI: Indiferente General 1550. Estoy utilizando copia del original del Archivo General de Indias, pero esta misma carta fue publicada por el compilador don Guillermo Hernández de Alba con base en una copia del Archivo del Real Jardín Botánico de Madrid, legajo 28, en *Archivo Epistolar del sabio naturalista don José Celestino Mutis*, tomo II (=Instituto Colombiano de Cultura Hispánica, Bogotá 1968) p. 304-305.

¹² *Ibidem*, tomo Y, p. 145

¹³ AGI: Indiferente General 1550

Vegetales, animales y piedras de Guatemala

Una carta suscrita por Fray José Antonio Goicochea, "desde el convento de mi padre San Francisco de la Nueva Guatemala" a 15 de junio de 1785 y dirigida a don José de Gálvez, nos permite saber de manera positiva dos cosas: en primer lugar, el nombre de este desconocido naturalista y en segundo, que Guatemala también aportó cuantiosas muestras al interminable inventario de preciosidades de la naturaleza que desfilaron desde las selvas y rincones americanos hacia España en el período de que nos estamos ocupando. Aunque desafortunadamente en la carta no aparecen descritas, veamos cuáles eran las preocupaciones del fraile colector:

"En esta ocasión -le dice al excelentísimo don José de Gálvez- el señor Presidente de este reino, por un barco que se despacha de Honduras, remite a vuestra excelencia dos cajones de vegetales, animales y piedras que he colectado, ordenado y dispuesto a costa de mis arbitrios, enviando con los cajones dos cuadernos para su explicación al Real Gabinete de Historia Natural.

No adelanto esta noticia por estar muy lleno y satisfecho de mi mérito en haber dado esta señal del aprecio y amor con que me esfuerzo a concurrir a las intenciones del Rey y del Príncipe de Asturias, mis señores. Yo se que los vasallos de España con semejantes limitadísimos servicios correspondemos muy escasamente a los grandes beneficios que nos hacen unos soberanos cuyo estudio y trabajo es volvernos felices. Por otra parte vuestra excelencia siente diariamente el tedio, molestia y enfado que le causan aquellos pesados entes, que con enviar una u otra droga, piensan hacer fortuna, y abreviar por este barato medio sus ascensos: y yo sería el más atrevido de todos, si con estos conocimientos, cayese en tan ratera superchería. Pero es muy necesaria la causa que me obliga a coger la plumá, y creo no he de enfadar a vuestra excelencia con exponerla:

Remito como 20 piezas pertenecientes a los tres reinos de Historia Natural y acompaño dos cuadernos de explicación, con algunas reflexas, que juzgué útiles. Mas para remitir otras, y otros papeles, que quedo disponiendo, me es preciso hacer a vuestra excelencia esta consulta.

Ignoro si las piedras que remito habrán llegado allá por otras manos; y me convendría saber cuáles individualmente serán las especies que aun se desean. Dígolo, porque creo habrán llegado las más, que contiene la instrucción, que se imprimió en esa Corte. Ignoro si podré escribir, notar y recoger todo lo que me parezca útil en ese reino, sin atender a si estará o no remitido.

Ignoro si el método compendioso con que escribo lo más, parecerá bien, o si será preciso extenderme.

Vuestra excelencia después de haber visto los cuadernos y cajones puede en dos palabras significarme lo que debo hacer; sobre el supuesto que si yo entendiere no disgustarse vuestra excelencia, seguiré. Por el contrario, le aseguro, que no recibiré pesadumbre, ni me admiraré ver inutilizados mis trabajos en una corte de sabios, donde se encierran las tareas de tantos literatos que ya caminan sobre todas mis reflexas. Y de cualquier suerte que suceda, nadie me podrá quitar la satisfacción en que vivo de que vuestra excelencia conocerá siempre la prontísima voluntad con que me esfuerzo a servir a proporción de mis talentos.

Dios nuestro señor bendiga, ilumine y prospere los buenos pensamientos de vuestra excelencia, como lo desea y pide a su divina majestad el más afecto capellán y siervo que besa la mano de vuestra excelencia Fray José Antonio Goicochea"¹⁴.

Naufragios y pérdidas

En numerosas ocasiones, tantas cuantos fueron los naufragios, se perdieron ricos muestrarios que iban destinados al Real Gabinete de Historia Natural o a satisfacer los caprichos cortesanos. Con ellos se hundieron también tantos cuidados y tantos esfuerzos de quienes los reunieron, describieron y despacharon. Así, por ejemplo, desde La Habana a 1 de abril de 1786 el Intendente Juan Ignacio de Urriza comunicaba al Marqués de Sonora que el paquebot de Su Majestad, titulado San Francisco de Borja, que había zarpado de la Luisiana, trayendo entre otras cosas 8 cajones de plantas y un envase de semillas, había sufrido un fuerte temporal que obligó a su piloto a arrojar todos los arboles. Eran éstos, según el inventario: "9 sabinos o cedros; 8 robles blancos, 1 laurel de tinte, 7 arbustos de casino, 2 de acacia flor, 10 pacanos o nogales del país, 9 nisperos o placaminos; 3 plantas, yerba a coagular el agua, 5 yerbas de la hedionda contra las lombrices; 6 laureles tulipeios, 10 olmos, 4 bois de plenc; 4 plátanos de occidente o cotoniers....etc"¹⁵

El enano de Cartago

Para concluir, mencionemos la que a nuestro modo de ver fue la más singular "muestra" enviada a España

¹⁴ AGI: Indiferente General 1550

¹⁵ AGI: Indiferente General 1550

desde América. Se trata precisamente del regalo que le remitió don Antonio Caballero y Góngora al Rey, del cual dio cuenta en 1890 el historiador don José Manuel Groot:

“El señor Góngora, hombre a quien llamaban la atención todos los fenómenos de la naturaleza, estando aun en Cartagena remitió al Rey, con el Capitán de la Corona don Miguel Raon, un enano natural de la ciudad de Cartago, llamado Antonio Machado, como objeto digno de la curiosidad de un príncipe, por las raras cualidades que reunía. Tenía 22 años de edad y su estatura era como la de un niño de cinco. Sabía leer y escribir; tocar violín y guitarra; bailaba y montaba a caballo con suma agilidad y destreza; de genio despejado y vivo, su conversación era agradable y chistosa. Pero lo más particular era la buena proporción de sus miembros, pues no tenía la deformidad de los enanos, sino que era un hombre en disminución perfecta.

Al mismo tiempo que llegó el enano a Cartagena, supo el señor Góngora que en una estancia tenían un esclavo de estatura gigantesca; y para que el real presente que iba a hacer a la Corte tuviera la particularidad de la antítesis, lo compró para enviarlo de criado del enano, quien apenas le llegaba a la rodilla, no excediendo en

edad, el criado al amo, más que en dos años. El enano era hijo natural, y su madre lo cedió gustosa al Arzobispo Virrey, quien le dejó asegurada una pensión vitalicia para su subsistencia”¹⁶.

No se ocupó más del enano el historiador Groot. Sin embargo, don José Manuel Pérez Ayala en su biografía de Caballero y Góngora, consiguió avanzar otras noticias y nos dice que el Ministro don José de Gálvez, en carta fechada en Madrid el 6 de diciembre de 1786, avisó recibo al señor arzobispo y virrey del envío del enano, en estos términos:

“Ha sido de la aprobación del Rey el que vuestra excelencia, por los justos motivos que expresa en su carta de 10 de julio próximo pasado, número 1202, haya mandado gratificar por las reales cajas de Cartago con 200 pesos a doña Margarita Machado, madre del enano don José Antonio Machado, que se ha presentado ya a Su Majestad y se ha nombrado enano suyo con entrada en su cuarto. Y en cuanto a la pensión vitalicia que haya de conceder a doña Margarita, quiere el Rey que vuestra excelencia señale la que parece justa y correspondiente a sus necesidades, y dé cuenta para la real aprobación. Dios guarde a V.E. muchos años. Sonora”¹⁷.

¹⁶ *Historia eclesiástica y civil de Nueva Granada*, tomo II (segunda edición), Bogotá 1890, p. 257.

¹⁷ *Antonio Caballero y Góngora, Virrey y Arzobispo de Santa Fe (1723-1796)*, Ediciones del Concejo de Bogotá 1951, p. 178. En esta misma página y en la que sigue, el autor, basándose en la obra de José Moreno Villa: *Locos, enanos, negros y niños palaciegos que tuvieron los Austrias en la Corte española desde 1563 a 1700* (Editorial Presencia, México 1939), continúa narrando la vida del enano quien “dio bastante qué hacer aun siendo tan pequeño”.

ALGUNOS PROBLEMAS ISOPERIMETRICOS

por

José F. Escobar

Resumen

Escobar, José F. Algunos problemas isoperimétricos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 109-115. 1998. ISSN 0370-3908.

Se estudian la desigualdad isoperimétrica clásica, autovalores del Laplaciano y desigualdades de Sobolev en espacios curvilíneos, y las relaciones entre ellas.

Palabras claves: Desigualdades isoperimétricas, espacios curvilíneos.

Abstract

We study the classical isoperimetric inequality, eigenvalues for the Laplacian and Sobolev inequalities on curved spaces and the relationship among them.

Key words: Isoperimetric inequalities, curved spaces.

La desigualdad isoperimétrica clásica relaciona el área A de un dominio Ω en el plano con el perímetro L de su frontera $\partial\Omega$:

$$L^2 \geq 4\pi A \quad (1)$$

y la igualdad vale solamente si el dominio es un disco. Probablemente éste sea el teorema de geometría diferencial global más antiguo y está relacionado con el siguiente problema: de todas las curvas simples cerradas en el plano de longitud L , ¿cuál encierra mayor área? Desde la antigüedad los matemáticos conocían que el círculo es la respuesta a esta pregunta; Pappus (siglo III D.C.) le atribuye el descubrimiento a Zenodoro.

Si consideramos dominios que están limitados por curvas simples de Jordan entonces es suficiente realizar la prueba de la desigualdad (1) para dominios convexos. Para verlo basta considerar la envoltura convexa del dominio, la cual aumenta el área y decrece el perímetro. Esta propiedad es válida solamente en el plano y hace la demostración de la desigualdad (1) más fácil que sus generalizaciones. Por esta razón a través de los años los matemáticos han elaborado pruebas con ideas y técnicas diferentes.

El primer paso a una demostración matemáticamente rigurosa fué dado por J. Steiner en el año de 1838. Steiner dió varias pruebas diferentes pero incompletas, porque suponía la existencia de una solución al problema. Sus pruebas fueron completadas más tarde por diversos matemáticos. Vale la pena mencionar las de F. Edler (1882) y Carathéodory (1910).

*Department of Mathematics, Cornell University, Ithaca, NY 14853, e-mail: escobar@math.cornell.edu. La investigación del autor es parcialmente financiada por el premio Presidential Faculty Fellow.

Un avance fundamental en el desarrollo de este problema fué obtenido por H. A. Schwarz en el año de 1884. Influenciado por los trabajos de K. Weierstrass sobre la existencia de minimizantes a problemas variacionales, Schwarz probó en su artículo (Schwarz 1884) la desigualdad isoperimétrica en dimensión 3:

$$A^3 \geq 36\pi V^2,$$

donde A y V representan el área de la frontera y el volumen del sólido, respectivamente.

Finalmente, E. Schmidt (Schmidt 1939) obtuvo la desigualdad isoperimétrica en dimensión n :

$$\text{vol}_{n-1}(\partial\Omega) \geq c_n [\text{vol}_n(\Omega)]^{\frac{n-1}{n}} \quad (2)$$

para cualquier dominio compacto $\Omega \subseteq R^n$ con frontera $\partial\Omega$ suave, donde $c_n = \text{vol}_{n-1}[S^{n-1}] / \{\text{vol}_n[B^n]\}^{\frac{n-1}{n}}$ y B^n y S^{n-1} representan respectivamente la bola y la esfera unitarias en el espacio euclidiano de dimensión n .

El método de Schmidt es una combinación del método de simetrización introducido por Steiner y del cálculo variacional.

Existen por lo menos una docena de pruebas de la desigualdad isoperimétrica en el plano. Tal vez la más elemental es la siguiente:

Sea $C : [a, b] \rightarrow R^2$ una curva cerrada, simple y suave. El perímetro L de la curva puede ser calculado por la siguiente integral

$$L = \int_a^b \sqrt{\left(\frac{dx}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dy}{ds}\right)^2}$$

Usando el teorema de Green podemos expresar el área A encerrada por la curva C como la integral

$$A = - \int_a^b y \frac{dx}{ds} ds = \int_a^b x \frac{dy}{ds} ds. \quad (3)$$

Supongamos que la curva C está parametrizada por longitud de arco t . Como queremos comparar la curva C con el círculo, hacemos la siguiente construcción. Sean D_1 y D_2 dos rectas paralelas tangentes a la curva C y cuya distancia entre sí es $2r$. Considere un círculo de radio r que tiene las rectas D_1 y D_2 como tangentes y cuya intersección con la curva C es vacía. Tomando coordenadas rectangulares con origen en el centro del círculo, podemos escribir la parametrización de la curva $C(t) = (x_1(t), y_1(t))$ y la del círculo $\alpha(t) = (x_2(t), y_2(t)) = (x_1(t), y_2(t))$, $t \in [0, L]$.

Usando las igualdades en (3) obtenemos

$$\begin{aligned} A + \pi r^2 &= \int_0^L \left(x_1 \frac{dy_1}{dt} - y_2 \frac{dx_1}{dt} \right) \\ &\leq \int_0^L \sqrt{\left(x_1 \frac{dy_1}{dt} - y_2 \frac{dx_1}{dt} \right)^2} \\ &\leq \int_0^L \sqrt{\left(x_1^2 + y_2^2 \right) \left(\left(\frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy_1}{dt} \right)^2 \right)} \\ &= \int_0^L \sqrt{x_2^2 + y_2^2} = Lr. \end{aligned}$$

Observe que la media geométrica de dos números es menor o igual que la media aritmética y la igualdad vale si los números son iguales. Entonces

$$\sqrt{A} \sqrt{\pi r^2} \leq \frac{1}{2} (A + \pi r^2) \leq \frac{1}{2} Lr, \quad (4)$$

lo cual implica que

$$4\pi Ar^2 \leq L^2 r^2,$$

que a su vez muestra la validez de la desigualdad (1). Si la igualdad se tiene en (1) entonces en las anteriores desigualdades se tiene igualdades; en particular en (4) obtenemos que $A = \pi r^2$ y $L = 2\pi r$. Note que r no depende de la dirección de la recta D_1 , así que

$$\left(x_1 \frac{dy_1}{dt} - y_2 \frac{dx_1}{dt} \right)^2 = (x_1^2 + y_2^2) \left(\left(\frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy_1}{dt} \right)^2 \right),$$

o, equivalentemente,

$$\left(x_1 \frac{dx_1}{dt} - y_2 \frac{dy_1}{dt} \right)^2 = 0.$$

Es decir

$$\frac{x_1}{\frac{dy_1}{dt}} = \frac{y_2}{\frac{dx_1}{dt}} = \frac{\sqrt{x_1^2 + y_2^2}}{\sqrt{\left(\frac{dy_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dx_1}{dt} \right)^2}} = \pm r.$$

Entonces $x_1 = \pm r \frac{dy_1}{dt}$. Como r no depende de la dirección de D_1 podemos intercambiar x_1 con y_1 en la última igualdad y obtener $y_1 = \pm r \frac{dx_1}{dt}$. Entonces

$$x_1^2 + y_1^2 = r^2 \left[\left(\frac{dx_1}{dt} \right)^2 + \left(\frac{dy_1}{dt} \right)^2 \right] = r^2.$$

Un método bastante directo para probar la desigualdad (2) en el caso de frontera suave es el del cálculo de variaciones. Sea Ω un dominio compacto en R^n con frontera $\partial\Omega$ suave. Sea $f : \partial\Omega \rightarrow R$ una función diferenciable. Sea Ω_t el dominio que tiene por frontera la superficie $\partial\Omega_t$ que es obtenida desplazando cada punto de la frontera $\partial\Omega$ por el vector tfN donde N es el campo vectorial normal exterior a la superficie $\partial\Omega$. Sean $A(t)$ el área de $\partial\Omega_t$ y $V(t)$ el volumen de Ω_t , entonces las fórmulas de la primera variación son

$$A'(0) = \int_{\partial\Omega} fH \quad y \quad V'(0) = \int_{\partial\Omega} f,$$

donde H es la curvatura media de $\partial\Omega$. Si la superficie $\partial\Omega$ tiene área mínima entre todas las superficies que limitan el mismo volumen debe tenerse que si $\int_{\partial\Omega} f = 0$ entonces $\int_{\partial\Omega} fH = 0$. Por lo tanto la curvatura media H debe ser constante en $\partial\Omega$. Si H no es constante, entonces existen puntos en la frontera de Ω , x y y , con $H(x) \neq H(y)$ y podemos encontrar una función f que tiene soporte en pequeñas vecindades de los puntos x y y , y que además satisface

$$\int_{\partial\Omega} f = 0 \quad e \quad \int_{\partial\Omega} fH < 0.$$

Usando el argumento anterior es posible mostrar que si $\partial\Omega$ tiene área mínima entre todas las superficies que encierran el mismo volumen, entonces la curvatura media es constante. Una pregunta surge naturalmente: ¿una superficie de curvatura media constante es necesariamente una esfera? La respuesta a esta pregunta tiene una historia interesante y los trabajos elaborados por Alexandrov o Reilly nos permiten asegurar que una superficie que tiene área mínima entre todas las superficies que encierran el mismo volumen tiene curvatura media constante y por lo tanto es una esfera. A primera vista, lo anterior resuelve el problema isoperimétrico. Al estudiar con mayor atención la frase anterior vemos que realmente es un teorema de unicidad: ninguna superficie diferente a la esfera puede tener área mínima entre aquéllas que encierran el mismo volumen. Lo que falta por mostrar para resolver el problema isoperimétrico es que existe alguna superficie que minimiza el área. Esta fue la parte que Steiner no dilucidó en sus "pruebas" de la desigualdad isoperimétrica.

La desigualdad isoperimétrica ha sido considerada en variedades diferenciales. Recordemos que para cualquier punto x en una variedad de dimensión 2, si denotamos por $L(r)$ la longitud del círculo geodésico de radio r y centro x , y por $A(r)$ el área del disco correspondiente

entonces tenemos que

$$K(x) = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{L(r)^2 - 4\pi A(r)}{\pi^2 r^4},$$

donde $K(x)$ representa la curvatura gaussiana en el punto x .

De la fórmula anterior claramente obtenemos que si $K(x) > 0$ entonces la desigualdad isoperimétrica (1) no es satisfecha en bolas geodésicas de radio pequeño. En general, para cualquier variedad compacta M sin frontera, la desigualdad (1) no es satisfecha. Basta considerar dominios de la forma $M - B_r(x)$ donde $B_r(x)$ es una bola geodésica de radio r (r pequeño) y centro x . Sin embargo existen otros tipos de desigualdades isoperimétricas que muestran el efecto de la curvatura del espacio. Por ejemplo en la esfera S^2 de curvatura gaussiana igual a 1 vale que

$$L^2 \geq 4\pi A^2 - A^2,$$

mientras que en el espacio hiperbólico H^2 de curvatura gaussiana -1 se tiene que

$$L^2 \geq 4\pi A^2 + A^2.$$

Los analistas y geómetras se han ocupado de estudiar la influencia de la curvatura en la desigualdades isoperimétricas en general (Burago-Zalgaller 1988).

De la anterior discusión aparece naturalmente la siguiente pregunta: ¿en una variedad completa, no compacta y con curvatura no positiva vale la desigualdad (1)?

En los últimos 20 años los espacios con singularidades han sido estudiados con gran intensidad por la escuela rusa de Alexandrov. M. Gromov los hizo populares entre los geómetras en los Estados Unidos. En un trabajo reciente con J. Cao hemos probado que la desigualdad isoperimétrica vale en espacios lineales a trozos de curvatura no positiva. En estos espacios, que pueden contener singularidades (en cuyo caso la métrica no es suave), se puede definir la noción de curvatura usando comparación de triángulos. En una variedad diferenciable y de curvatura seccional $K \leq 0$ vale que la suma de los ángulos interiores en cualquier triángulo geodésico es menor o igual que π . La anterior propiedad la tomamos como definición de curvatura $K \leq 0$ en cualquier espacio geodésicamente completo. Nuestra demostración usa técnicas desarrolladas en trabajos anteriores e introduce varias ideas nuevas debido a la consideración de singularidades del espacio.

En el caso de variedades riemannianas con métricas suaves y de curvatura no positiva, la desigualdad isoperimétrica (2) es conocida sólo en dimensiones 2, 3 y 4 por los trabajos (Weil 1926), (Kleiner 1992) y (Croke 1984), respectivamente.

Otra dirección importante de la desigualdad isoperimétrica es la relación con el problema de autovalores del Laplaciano (Osserman 1978), los cuales pueden ser caracterizados por problemas variacionales. Si consideramos el funcional

$$F(y) = \frac{\int_0^{2\pi} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}{\int_0^{2\pi} y^2}$$

entre todas las funciones diferenciables que satisfacen la condición $\int_0^{2\pi} y(x)dx = 0$, entonces la ecuación de Euler-Lagrange asociada al problema variacional (5) es

$$\begin{aligned} \frac{d^2y}{dx^2} + \lambda_1 y &= 0 \quad \text{en } [0, 2\pi], \\ \frac{dy}{dx}(0) &= \frac{dy}{dx}(2\pi) = 0, \end{aligned}$$

donde λ_1 es el mínimo del funcional F . La ecuación anterior corresponde al primer autovalor del operador $L = \frac{d^2}{dx^2}$ en el intervalo $[0, 2\pi]$ con respecto a la condición de frontera tipo Neumann. En una variedad riemanniana (M^n, g) con frontera y de dimensión n , el problema análogo es el siguiente: minimizar el funcional

$$F(u) = \frac{\int_M |\nabla u|^2 dv}{\int_M u^2 dv}$$

entre todas las funciones no nulas, diferenciables hasta la frontera y que satisfacen la condición

$$\int_M u dv = 0,$$

donde dv representa la medida riemanniana inducida por la métrica.

La ecuación de Euler-Lagrange asociada al problema variacional anterior es:

$$\begin{aligned} \Delta u + \lambda_1 u &= 0 \quad \text{en } M, \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} &= 0 \quad \text{sobre } \partial M, \end{aligned}$$

donde λ_1 es el mínimo del funcional F entre todas las funciones que satisfacen la condición integral anterior.

Hay muchos trabajos estimando el valor de la constante λ_1 (el primer autovalor no nulo del Laplaciano con respecto a la condición de frontera de tipo Neumann) en términos de la geometría de la variedad M . En esta dirección una de mis contribuciones es el siguiente teorema (Escobar 1990).

Teorema. Sea (M^n, g) una variedad con frontera de dimensión n . Si la curvatura de Ricci satisface $Ric(g) \geq (n-1)g$ y la frontera es convexa, entonces $\lambda_1 \geq n$. Si $\lambda_1 = n$ entonces (M, g) es isométrica al hemisferio superior $S_+^n = \{(x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n \mid x_1^2 + \dots + x_n^2 = 1, x_n \geq 0\}$.

El anterior teorema nos dice que para cualquier función no nula u tal que $\int_M u dv = 0$, se tiene que

$$\int_M u^2 \leq \frac{1}{n} \int_M |\nabla u|^2 dv$$

y si existe una función que verifique la igualdad entonces (M^n, g) es isométrica a S_+^n . Esto nos permite identificar el hemisferio norte entre todas las variedades con frontera convexa y con curvatura de Ricci mayor que la curvatura de la esfera unitaria. La desigualdad anterior hace parte de la familia de desigualdades tipo Poincaré y es fundamental en el estudio de muchos problemas en ecuaciones en derivadas parciales, ya que nos asegura que si la norma del gradiente de una función en L^2 es acotada entonces la norma de la función en L^2 también es acotada.

En problemas de frontera en ecuaciones diferenciales parciales es necesario estimar la norma en L^2 de una función en la frontera de la variedad, en términos de la norma L^2 del gradiente en el interior. Esto nos lleva a estudiar el siguiente problema isoperimétrico: minimizar el funcional

$$S(u) = \frac{\int_M |\nabla u|^2 dv}{\int_{\partial M} u^2 d\sigma}$$

entre todas las funciones no nulas, diferenciables hasta la frontera y que satisfacen la condición

$$\int_{\partial M} u d\sigma = 0,$$

donde $d\sigma$ representa la medida riemanniana inducida por la métrica en la frontera ∂M de M . La ecuación de Euler-Lagrange asociada al problema variacional anterior es:

$$\begin{aligned} \Delta \varphi &= 0 \quad \text{en } M, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} &= \nu \varphi \quad \text{sobre } \partial M. \end{aligned} \quad (6)$$

donde ν es el mínimo del funcional S .

(6) es conocido como el problema de Steklov porque fue introducido por él en su trabajo (Stekloff 1902). Steklov estaba interesado en el problema (6) por su aplicación a la física. En este caso la función u representa la temperatura del cuerpo M cuando se estabiliza (es decir no depende más del tiempo) y el flujo en la frontera es proporcional a la temperatura. Mi contribución al problema de Steklov es el siguiente teorema.

Teorema. Sea (M^n, g) una variedad riemanniana con frontera y de curvatura de Ricci no negativa. Si $n \geq 3$ y la segunda forma fundamental π satisface $\pi \geq c$ entonces $\nu > c/2$. Si $n = 2$ y la curvatura geodésica k_g de la frontera satisface que $k_g \geq k_0$ entonces $\nu \geq k_0$ y la igualdad vale sólo en la bola euclídeana de radio k_0^{-1} .

Retomando de nuevo la desigualdad isoperimétrica (2) observe que la constante c_n puede ser caracterizada variacionalmente como

$$I_\alpha(R^n) = \inf_{\Omega \in \mathcal{C}} \frac{\text{vol}_{n-1}(\partial\Omega)}{[\text{vol}_n(\Omega)]^\alpha},$$

donde \mathcal{C} es el conjunto de todos los subdominios compactos de R^n con frontera suave y $\alpha = \frac{n-1}{n}$. Es posible dar una caracterización funcional de la constante isoperimétrica $I_\alpha(R^n)$. De hecho, usando la fórmula de co-área es posible mostrar

$$I_\alpha(R^n) = \hat{I}_\alpha(R^n) \tag{7}$$

donde

$$\hat{I}_\alpha(R^n) = \inf_{u \in C_0^\infty - \{0\}} \frac{\int_{R^n} |\nabla u| dx}{\left(\int_{R^n} |u|^{\frac{1}{\alpha}} dx \right)^\alpha}.$$

Observe que para cualquier función diferenciable y de soporte compacto

$$\hat{I}_\alpha(R^n) \left(\int_{R^n} |u|^{\frac{n}{n-1}} dx \right)^{\frac{n-1}{n}} \leq \int_{R^n} |\nabla u| dx.$$

Aplicando la desigualdad anterior a la función $|u|^s$ y usando la desigualdad de Hölder obtenemos que

$$\begin{aligned} \hat{I}_\alpha(R^n) \left(\int_{R^n} |u|^{s \frac{n}{n-1}} dx \right)^{\frac{n-1}{n}} &\leq s \int_{R^n} |u|^{s-1} |\nabla u| dx \\ &\leq s \left(\int_{R^n} |u|^{\frac{(s-1)p}{p-1}} \right)^{\frac{p-1}{p}} \left(\int_{R^n} |\nabla f|^p \right)^{\frac{1}{p}} dx. \end{aligned}$$

Escogiendo s tal que $\frac{sn}{n-1} = \frac{(s-1)p}{p-1}$, es decir $s = \frac{p(n-1)}{n-p}$ se tiene que para $1 \leq p < n$

$$\begin{aligned} &\left(\int_{R^n} |u|^{\frac{pn}{n-p}} dx \right)^{\frac{n-p}{pn}} \\ &\leq \left(\hat{I}_\alpha(R^n) \right)^{-1} \frac{pn}{n-p} \left(\int_{R^n} |\nabla f|^p \right)^{\frac{1}{p}} dx. \end{aligned}$$

En particular para $n \geq 3$ y $p = 2$, cualquier función diferenciable definida en R^n y con soporte compacto satisface que

$$\begin{aligned} &\left(\int_{R^n} |u|^{\frac{2n}{n-2}} dx \right)^{\frac{n-2}{2n}} \\ &\leq \left(\hat{I}_\alpha(R^n) \right)^{-1} \frac{2n}{n-2} \left(\int_{R^n} |\nabla f|^2 \right)^{\frac{1}{2}} dx. \end{aligned} \tag{8}$$

Análogamente se pueden definir en cualquier variedad riemanniana los números $I_\alpha(M)$ y $\hat{I}_\alpha(M)$, α real, y la igualdad (7) también vale. La desigualdad (8) puede generalizarse a cualquier variedad riemanniana compacta con o sin frontera. Usando una partición de la unidad se obtiene que para cualquier función suave y que se anula en la frontera se cumple que

$$\left(\int_M |u|^{\frac{2n}{n-2}} dv \right)^{\frac{n-2}{n}} \leq C \left[\int_M |\nabla u|^2 dv + \int_M u^2 \right].$$

La anterior desigualdad es muy útil en el estudio de ecuaciones diferenciales parciales. Sin embargo hemos perdido una propiedad fundamental de la desigualdad (8). La desigualdad (8) es invariante bajo translaciones y dilataciones y más generalmente, es invariante bajo transformaciones conformes del espacio euclídeano. Es natural considerar una desigualdad en cualquier variedad riemanniana que generalice (8), que posea la propiedad de ser invariante bajo deformaciones conformes de la métrica y para cualquier función en general (no sólo para aquéllas que se anulen en la frontera). Consideremos el problema isoperimétrico siguiente. Sea (M^n, g) una variedad riemanniana de dimensión $n \geq 3$. Defina la energía de la función u , $E(u)$, como

$$E(u) = \int_M (|\nabla u|^2 + \frac{n-2}{4(n-1)} Ru^2) dv + \frac{n-2}{2} \int_{\partial M} hu^2 d\sigma,$$

donde las funciones R y h representan la curvatura escalar en M y la curvatura media de ∂M respectivamente, calculadas con respecto a la métrica g . Considere el número real $Q(M)$ definido como

$$Q(M) = \inf \{ Q(u) \mid u \in C^1(\overline{M}), \quad u \neq 0 \text{ en } M \}, \tag{9}$$

donde

$$Q(u) = \frac{E(u)}{\left(\int_{\partial M} |u|^{\frac{2n}{n-2}} dv \right)^{\frac{n-2}{n}}}.$$

En el trabajo (Escobar 1992) mostramos el siguiente

Teorema. Sea (M^n, g) una variedad riemanniana con frontera de dimensión $n \geq 3$. Entonces

$$Q(M) \leq Q(S_+^n) \quad (10)$$

La igualdad vale sólo si (M^n, g) es conformemente equivalente a S_+^n .

La demostración de la desigualdad estricta en una variedad que no sea conformemente equivalente a S_+^n involucra el uso del Teorema de la Masa Positiva en Teoría de Relatividad, para espacios con frontera probado en mi artículo (Escobar 1992).

La consecuencia más importante del teorema anterior es que cuando se tiene la desigualdad estricta en (10) entonces el problema variacional (9) posee un mínimo u . Tal función u satisface la ecuación de Euler-Lagrange

$$\Delta u - \frac{n-2}{4(n-1)} Ru + \frac{n-2}{4(n-1)} \lambda u^{\frac{n+2}{n-2}} = 0 \text{ en } M,$$

$$\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{n-2}{2} hu = 0 \text{ sobre } \partial M, \quad (11)$$

donde λ es un multiplicador de Lagrange. Usando el principio del máximo se muestra que la función u es estrictamente positiva. Entonces las ecuaciones en (11) significan geoméricamente que la métrica riemanniana $u^{\frac{4}{n-2}} g$ posee curvatura escalar constante λ y la frontera tiene curvatura media nula. Lo anterior implica el siguiente resultado (Escobar 1992).

Teorema. Toda variedad compacta de dimensión $n \geq 3$, es conformemente equivalente a una de curvatura escalar constante con frontera mínima.

Análoga a la desigualdad (8) existe otra desigualdad en el espacio $R_+^n = \{(x, t) \mid x \in R^{n-1}, t > 0\}$, $n \geq 3$, que es conformemente invariante y relaciona la integral de la función en la frontera con la norma del gradiente en el interior. Más precisamente, para cualquier función suave y de soporte compacto se tiene que

$$\left(\int_{\partial R_+^n} |u|^{\frac{2(n-1)}{n-2}} dx \right)^{\frac{n-2}{n-1}} \leq c(n) \int_{R_+^n} |\nabla u|^2 dx dt. \quad (12)$$

En algunos problemas geométricos o analíticos es importante saber cuál es la menor constante $c(n)$ que satisface (12). En (Escobar 88) e independientemente Beckner en (Beckner 1993), mostré que la mejor constante es $c(n) = \frac{2}{(n-2)} \sigma^{-\frac{1}{n-1}}$ y la igualdad es obtenida sólo por las funciones

$$u(x, t) = \left(\frac{\varepsilon}{(\varepsilon + t)^2 + |x - x_0|^2} \right)^{\frac{(n-2)}{2}}, \quad \varepsilon > 0.$$

Es natural extender tal desigualdad a una variedad riemanniana manteniendo la propiedad de la invarianza bajo deformaciones conformes de la métrica. En el artículo (Escobar 92) estudié el siguiente cociente de tipo Sobolev

$$Q(M, \partial M) = \inf \{ Q_2(u) \mid u \in C^1(\overline{M}), \quad u \neq 0 \text{ en } \partial M \},$$

donde

$$Q_2(u) = \frac{E(u)}{\left(\int_{\partial M} |u|^{\frac{2(n-1)}{n-2}} dv \right)^{\frac{n-2}{n-1}}}.$$

En (Escobar 1992) mostré el siguiente

Teorema. Sea $\Omega \subset R^n$ un dominio acotado y con frontera suave entonces

$$Q(\Omega, \partial\Omega) \leq Q(B, \partial B)$$

donde B es la bola en R^n . La igualdad se obtiene sólo si $\Omega = B$.

Una consecuencia del teorema anterior es:

Teorema. Cualquier dominio acotado en R^n es conformemente equivalente a uno de curvatura escalar cero y con frontera de curvatura media constante.

El anterior teorema puede entenderse como una generalización del Teorema de la Aplicación de Riemann que dice que para cualquier dominio simplemente conexo en el plano existe una aplicación conforme del dominio en la bola. En dimensiones mayores a dos tal resultado no es posible debido a que las aplicaciones conformes están determinadas localmente (Teorema de Liouville). Sin embargo sí existen métricas que tienen dos propiedades de la métrica euclideana en la bola: curvatura escalar cero y curvatura media de la frontera constante.

Recientemente he mostrado que las ecuaciones

$$\Delta u - \frac{n-2}{4(n-1)} Ru + \frac{n-2}{4(n-1)} \lambda u^{\frac{n+2}{n-2}} = 0 \text{ en } M,$$

$$\frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{n-2}{2} hu = \frac{n-2}{2} \mu u^{\frac{n}{n-2}} \text{ sobre } \partial M,$$

admiten una solución positiva y suave en una variedad compacta de dimensión $n \geq 3$. Tal solución u define la métrica riemanniana $u^{\frac{4}{n-2}} g$ que tiene curvatura escalar constante λ y la curvatura media de la frontera es constante e igual μ .

Bibliografía

- Beckner, W.** Sharp Sobolev inequalities on the sphere and the Moser–Trudinger inequality, *Annals of Math.* No. 138, 1993, 213–242
- Burago, Y. and Zalgaller, V.** *Geometric Inequalities* Springer–Verlag 1988.
- Carathéodory, C. and Study, E.** Zwei Beweise des Satzes, dass der Kreis unter allen Figuren gleichen Umfanges den größten Inhalt hat *Math. Ann.* Vol. 58, 1910, 133–140.
- Cao J. and Escobar, J. F.** An isoperimetric comparison theorem for PL-manifolds of non-positive curvature *Manuscrito*.
- Croke, C.** A sharp four dimensional isoperimetric inequality *Comm. Math. Helv.* 59, 1984, 419–435.
- Edler, F.** Vervollständigung der Steinersche elementargeometrischen Beweise für des Satz, dass der Kreis größeren Flächeninhalt besitzt als jede andere Figur gleich grossen Umfanges *Gött. Nachr.* 1882 p. 73.
- Escobar, J. F.** Sharp Constant in a Sobolev Trace Inequality, *Indiana Univ. Math. Journal*, Vol. 37, No. 3, 1988, 687–698.
- Escobar, J. F.** Uniqueness theorems on conformal deformations of metrics, Sobolev inequalities and an eigenvalue estimate, *Comm. on Pure and Appl. Math.*, Vol. 43, No. 7, 1990, 857–883.
- Escobar, J. F.** The Yamabe problem on manifolds with boundary, *Jour. of Diff. Geom.*, Vol. 25, 1992, 21–84.
- Escobar, J. F.** Conformal deformation of a Riemannian metric to a scalar flat metric with constant mean curvature on the boundary, *Annals of Mathematics*, Vol. 136, 1992, 1–50.
- Escobar, J. F.** Conformal deformation of a Riemannian metric to constant scalar curvature and constant mean curvature on the boundary, *Indiana Univ. Math. Journal*, Vol. 45, No. 4, 1996, 917–943.
- Escobar, J. F.** The Geometry of First Non-zero Stekloff Eigenvalue, *aparecerá en Jour. of Funcional Analysis*.
- Kleiner, B.** An isoperimetric Comparison Theorem, *Inventiones Mathematicae*, Vol. 108, 1992, 37–47.
- Osserman, R.** The isoperimetric inequality *Bulletin of the AMS*, Vol. 84, No.6, 1978, 1181–1238.
- Schmidt, E.** Ueber das isoperimetrische Problem in Raum von n Dimensionen *Math. Z.* 44, 1939, 689–788.
- Schwarz, H. A.** Beweise des Satzes, dass die Kugel kleinere Oberfläche besitzt, als jeder andere Körper gleichen Volumens, *Gött. Nachr.* 1884 pp 1–13.
- Steiner, J.** Einfache Beweise der isoperimetrischen Hauptsätze *J. reine ang. Math.* 18 (1838) 281–296.
- Weil, A.** Sur les surfaces on courbure negative *C. R. Acad. Sci.*, Paris 182, 1926, 1069–1071.

NEW SPECIES OF *ELEUTHERODACTYLUS* FROM THE CORDILLERA OCCIDENTAL OF WESTERN COLOMBIA WITH A SYNOPSIS OF THE DISTRIBUTIONS OF SPECIES IN WESTERN COLOMBIA

por

John D. Lynch¹

Resumen

Lynch, J. D. New species of *Eleutherodactylus* from the Cordillera Occidental of western Colombia with a synopsis of the distributions of species in western Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22** (82): 117-148. 1998. ISBN 0370-3908.

Se describen nueve especies más del género *Eleutherodactylus* de la Cordillera Occidental. Una de estas se encuentra en la transición entre los bosques de tierras bajas y bosques nublados en el noreste Colombiano, otra se encuentra en bosques nublados del occidente del Antioquía, otra en los bosques nublados entre Cali y Popayán, y las otras en la Serranía de los Paraguas. Se da un sumario de las distribuciones de las 102 especies de *Eleutherodactylus* que se encuentran en la occidente de Colombia, con base en datos de una serie de perfiles.

Palabras claves: Amphibia, Leptodactylidae, biogeografía, taxonomía

Abstract

Nine additional species of *Eleutherodactylus* are described from the Cordillera Occidental. One of these occurs in the transition between lowland forests and cloud forests in northwestern Colombia, one is found in cloud forests of western Antioquía, another is found in cloud forests between Cali and Popayán, and the remainder are species found on the Serranía de los Paraguas. The distributions of the 102 species of *Eleutherodactylus* found in western Colombia are summarized using data from a series of transects.

Key words: Amphibia, Leptodactylidae, biogeography, taxonomy

¹ Profesor Asociado, Instituto de Ciencias Naturales, Univeridad Nacional de Colombia.

Introducción

Western Colombia (the Pacific lowlands and the western slopes of the Andes above them) is a region of unparalleled biological diversity and that diversity is reflected as well in the frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Figs. 1-12). With the new species reported here, that fauna consists of 25 species in the lowlands (and probably with additional collecting, *E. ornatissimus*, as well) – *E. achatinus*, *anomalus*, *biporcatus*, *bufoniformis*, *caprifer*, *caryophyllaceus*, *chalceus*, *fitzingeri*, *gagei*, *gularis*, *hybotragus*, *labiosus*, *latidiscus*, *longirostris*, *moro*, *parvillus*, *raniformis*, *ridens*, *rosadoi*, *roseus*, *subsigillatus*, *taeniatus*, *zygodactylus*, and two apparently undescribed species of the *diastema* group – and 74 species from the western Andean flanks (and probably with additional collecting, *E. calcarulatus* and *E. necerus* as well, known from just across the border in Ecuador). It is unlikely that these 102 species are the only species of the genus in western Colombia because some areas remain poorly inventoried and some groups appear to be composed of very locally distributed species.

The Cordillera Occidental is one of the biogeographically richest areas of Colombia in terms of its fauna of eleutherodactyline frogs (Lynch *et al.*, 1997) but there remain several undescribed taxa in the collections gathered by personnel of the ICN between 1980 and 1997. Most of the undescribed frogs come from the Serranía de los Paraguas (on the frontier between departamentos Chocó and Valle del Cauca), an area of very considerable diversity for frogs of the genus *Eleutherodactylus*. Ruiz-C. *et al.* (1997) published a table illustrating the altitudinal and latitudinal distributions of 33 species on the northern part of the Cordillera Occidental. That table is rendered obsolete by the descriptions of additional species from the Serranía de los Paraguas and one found widely distributed in the lower limits of the cloud forests of the northern part of the Cordillera Occidental (Risaralda to Antioquia).

Materials and methods

Methods and terminology follow Lynch & Duellman (1997). Specimens were measured using dial calipers to the nearest 0.1 mm using a dissecting microscope. Means are reported as ± 1 standard error of the mean. The following abbreviations are used throughout the text: SVL (snout-vent length), IOD (interorbital distance), E-N (eye to nostril distance), HW (head width).

Accounts of species

For much of the past 15 yr, a small frog described by Lynch (1981), *E. brevifrons*, has been a common cloud forest frog in virtually all of the transects my colleagues and I have made of the Cordillera Occidental north of the Río Pátia. In fact, we have tended to overlook variation in this species because we knew that it was pattern polymorphic. However, in 1995, during study of material in the Museo de Historia Natural of the Universidad del Valle, I noted that one pattern variant appeared to be a distinct species. In collecting on the Serranía de los Paraguas in 1997, it was apparent that this variant was a species distinct from the smaller *E. brevifrons*. Subsequent study of all preserved material tentatively assigned to *E. brevifrons* in the ICN collection revealed that three species had been bottled as that taxon, including one found in northern Valle del Cauca and adjacent Risaralda and a second found only in western Antioquia. Each is sympatric with the smaller *E. brevifrons*. Because collectors (including me) have confused these two species, as color pattern morphs, with *E. brevifrons*, it is appropriate to review variation in that species prior to the descriptions of the new taxa.

Eleutherodactylus brevifrons Lynch (Fig. 13)

At the type-locality (Cerro San Antonio, Mpio. de Cali, Valle del Cauca) and nearby sites in western Valle del Cauca, *E. brevifrons* is the smallest species of the genus (males 14.3-18.0 mm, females 19.8-22.3 mm SVL). It is a species that calls early in the evening, usually in exposed sites along the forest edge or in pastures and then ceases to call by about 2000 h. The call is a sharp "peep". During the day, individuals seek retreats in bromeliads.

Although only briefly mentioned by Lynch (1981:11), *E. brevifrons* is pattern polymorphic (Fig. 13). Pattern data were taken for 169 individuals throughout its known distribution. Most individuals (80.5%, 136/169) have a **mottled** color but there are also individuals having a **dorsoconcolor** (6.5%, 11/169) pattern (a pale dorsum, with no darker markings, edged with black or dark brown, a **central raphe** (9.5%, 16/169) morph (pale dorsum, edged with dark brown/black, and a broad vertebral dark stripe extending to the sacrum or just beyond), and a **lineate** (3 individuals) morph (dorsum not pale, bearing vertebral and paravertebral stripes extending from snout to above vent). Two individuals have a pale blotch on the head (**headcap** morph) bordered by dark pigment; otherwise, they are mottled and one individual has pale dorso-lateral stripes superimposed on a mottled pattern. Addi-



Figure 1. *Eleutherodactylus angustilineatus* sp. nov., ICN 39599, female, 24.8 mm SVL.



Figure 2. *Eleutherodactylus calcaratus*, ICN 36940, female 27.8 mm SVL.



Figure 3. *Eleutherodactylus chrysops*, JDL 21155, male 58.4 mm SVL.



Figure 4. *Eleutherodactylus deinops*, ICN 36917, female, 49.7 mm SVL.



Figure 5. *Eleutherodactylus juanchoi*, JDL 20420, male, 21.0 mm SVL.



Figure 6. *Eleutherodactylus kelephus* sp. nov., ICN 39670, young female, 27.1 mm SVL.



Figure 7. *Eleutherodactylus myops* sp. nov., ICN 39685, female, 16.7 mm SVL.



Figure 8. *Eleutherodactylus phalarus* sp. nov., holotype, ICN 39678, 19.1 mm SVL.



Figure 9. *Eleutherodactylus quantus* sp. nov., ICN 29315, male, 13.0 mm SVL.



Figure 10. *Eleutherodactylus ptochus* sp. nov., holotype, ICN 39780, female, 23.5 mm SVL.



Figure 11. *Eleutherodactylus sanguineus* sp. nov., ICN 19335, female, 29.1 mm SVL. Photograph courtesy of P. M. Ruiz.



Figure 12. *Eleutherodactylus silverstonei*, JDL 21073, juvenile female, 26.4 mm SVL.

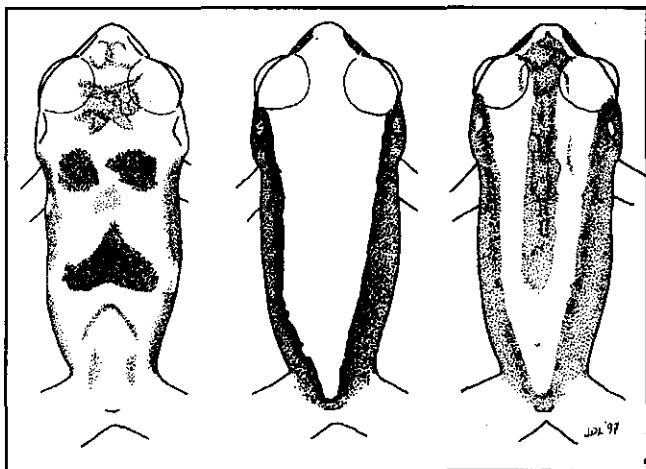


Figure 13. Color pattern polymorphism in *Eleutherodactylus brevifrons*. (A) Mottled, ICN JDL 20484; (B) Dorsal-concolor, ICN JDL 20479; (C) Central Raphe, ICN 16782.

tionally, seven mottled individuals have a pale blotch on the upper lip (subcanthal spot) and two others have the entire snout pale (otherwise mottled) and cannot be scored for a subcanthal spot. The subcanthal spot initially appeared to be distinctive but the degree of paleness seems to vary continuously rather than being a discrete variant. The pale dorsolateral stripe morph also has pale canthal spots. The headcap morph is known only from the Murrí transect and the **mottled with pale dorsolateral stripes** is known only from Munchique but each is a rare morph. Using the overall frequencies of morphs, I calculated an expected value for each morph for each population. The observed values (Table 1) do not depart from expected values, denying any geographic variation in morph frequencies, contrary to the case for *E. erythropleura* (Lynch, 1993), another cloud forest species distributed more or less coincidentally with *E. brevifrons*. Aside from Munchique, adults are the same sizes in all transects (Table 2). The sizes reported by Lynch (1981) for the species are correct but he failed to note that all of the larger frogs came from the Munchique transect.

When my colleagues and I first collected the Serranía de los Paraguas, we heard *E. brevifrons* calling and collected that species only sparingly. The presence of a distinctive "color morph" did not register and the sample collected was inadequate to reveal that this is a larger frog. Subsequent study of material reveals that the species is monomorphic and can be characterized by the presence of a thin pale dorsolateral stripe edged below by dark pigment.

Eleutherodactylus angustilineatus sp. nov. (Figs. 1, 14)

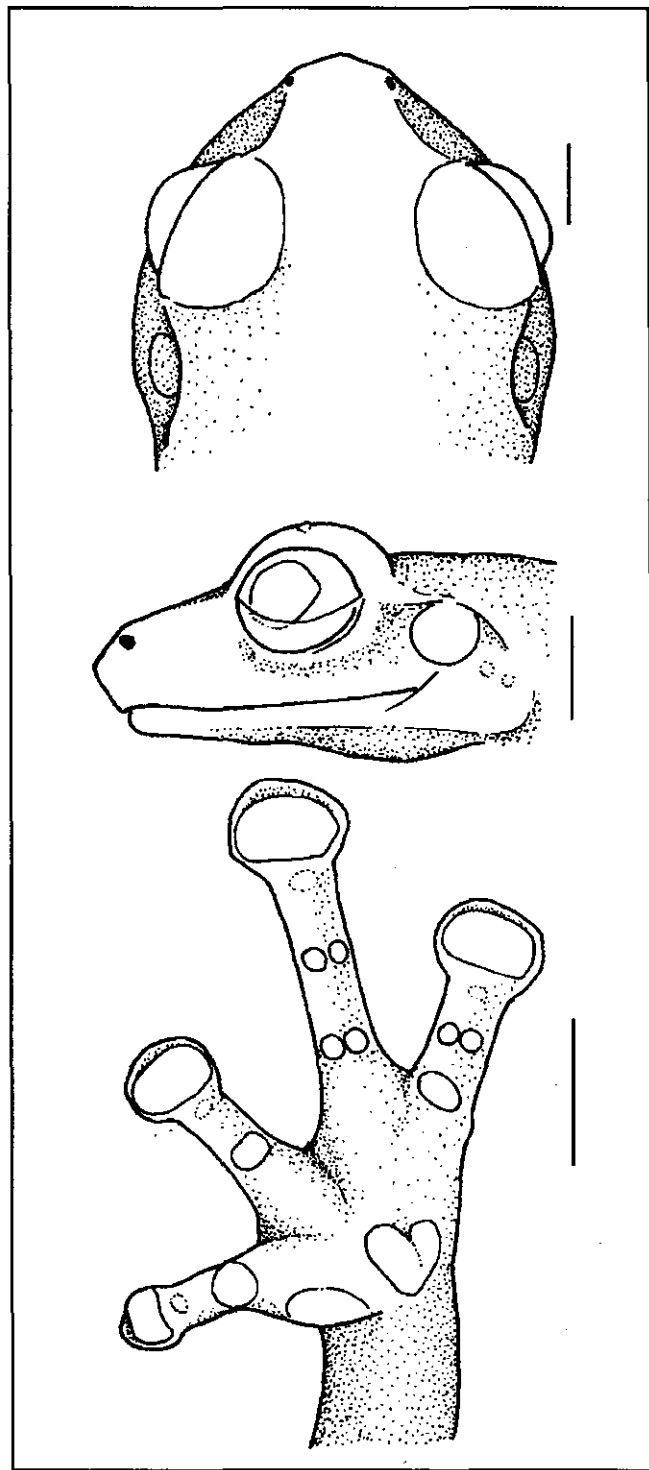


Figure 14. Dorsal (ICN 39599) and lateral views of head (ICN 31301), palmar view of hand (ICN 39599) of *Eleutherodactylus angustilineatus* sp. nov. Scales equal 2 mm.

Table 1. Color pattern morphs in *Eleutherodactylus brevifrons* over its geographic distribution (values reported are expected number/observed number of each morph).

Location	N	mottled	dorso concolor	raphe	lineate	head cap	DL stripes
Cauca	15	12.1/12	0.9/2				/1
Valle del Cauca	53	42.7/43	3.3/5	5.0/4	/1		
Paraguas	26	20.9/23	1.7/1	2.5/2			
Risaralda	6	4.8/5	0.4/0	0.6/1			
Urrao	15	12.1/12	0.9/1	1.4/2			
Murri	54	43.5/41	3.4/2	5.1/7	/2	/2	

Holotype. ICN 39598 (JDL 21228), an adult male, one of a series collected by Taran Grant and John D. Lynch 25 July 1997.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca, Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, sitio El Boquerón, 19.85 km del cementario de El Cairo, 2140-2150 m.s.n.m.

Paratopotypes. ICN 39599 (female), 39600-11 (males), collected with holotype, ICN 29277-82, 29284-86, collected 24 June 1991 by J. D. Lynch, Jorge Restrepo, Pedro Ruiz, and Ricardo Sánchez, UVC 12957, collected 1-2 April 1996 by T. Grant.

Paratypes. Colombia, Depto. Chocó: límite con Valle del Cauca, 20-24 km del cementario El Cairo por la carretera a El Boquerón, 1900-2250 m (ICN 29247-51, 29254-57, 29259, 29261), cols. JDL, J. Restrepo, PM Ruiz, & R. Sánchez, 22 June 1991, (ICN 39614-17), col-

lected 20 July 1995 by Roberto Bello and Erik Wild, (UVC 10113), col. M. S. Alberico & J. Restrepo, 2-3 Marzo 1989; 5.7 km W El Boquerón, 1900 m (ICN 29287), col. JDL 25 June 1991; municipio San José del Palmar, paso Galápagos, 1800 m (UVC 7666), col. J. H. Restrepo, 15 Oct. 1984, 12.0-12.6 km by road W San José del Palmar, 1850-1860 m (ICN 19156, 19159), col. JDL, PMR, RS, 8 June 1988; 14.8-15.4 km by road W San José del Palmar, sitio "Los Galápagos", 1980-2000 m (ICN 18264-265, 19163-69), cols. A. Cadena, JDL, PMR, RS, 9 June 1988; Alto de los Galápagos, ca 2000 m (UVC 8083-84, 8440-48, 9306-07, 9403, ICN 14104), cols. J. H. Restrepo y otros, 16 Mayo 1985-3 Agosto 1986. Depto. Risaralda : municipio Apia: vereda La Cumbre, quebrada Risaralda, 2230-2300 m (ICN 31296-302), cols. M. C. Ardila, G. Bernal, J. Murillo, 16 May 1992; municipio Mistrató: Km. 1, carr. Mistrató-San Antonio del Chamí 1810-1880 m (ICN 30301-02), col. P. M. Ruiz et al, 4 April 1992, Km. 10, 1720 m (ICN 30299),

Table 2. Body sizes in six populations of *Eleutherodactylus brevifrons*. Values given are range in mm (mean + 1 S.E.) N.

	Males	Females
Cauca	16.1-19.5 (18.3 + 0.2) 13	
Valle del Cauca	14.3-18.0 (16.2 + 0.9) 63	198-22.3 (21.2) 3
Paraguas	16.0-18.0 (16.9 + 0.1) 25	21.8
Risaralda	16.3-16.6 (16.4) 2	22.1-24.9 (23.8) 3
Urrao	15.8-17.3 (16.4 + 0.1) 12	20.5-22.3 (21.4) 2
Murri	15.2-18.6 (17.0 + 0.1) 40	20.8-22.8 (21.8 + 0.3) 8

col. P. M. Ruiz, 30 March 1992, Km. 11, Qda. Mampay, 1760-1830 m (ICN 30298), col. P. M. Ruiz, 2 April 1992, Km. 13, 1760-1790 m (ICN 30300), col. P. M. Ruiz, 29 March 1992; vereda Mampay, Qda. Sutu, 1700-1940 m (ICN 30469), col. M. C. Ardila, 4 April 1992; municipio Pueblorico, via La Selva-la repetidora, desvío km 7 carr. Pueblorico-Santa Cecilia, Km. 21-22, 1700-1820 m (ICN 30554-60), cols. M. C. Ardila & S. Roa, 22 Sept. 1991; vereda Tatamá, río Tatamá, 1800 m (ICN 28092-95), col. M. C. Ardila, 12 April 1991. Depto. **Valle del Cauca**, municipio El Cairo, El Boquerón, Cerro El Inglés, 2200-2500 m (UVC 9097, 9110), col. J. Restrepo, 27-28 Feb. 1986, 2400 m (UVC 9027, 9031-32) cols. P. Silverstone et al., 27 Dic. 1986-6 Ene. 1987; "Los Galápagos", 20.2 km by road NW La Carbonera, 2100 m (ICN 29288-93), cols. JDL, J. Restrepo, PMR, R. Sánchez, 28 June 1991, ICN 39612, col. E. Wild, 19 July 1995.

Etymology. Latin, *angustus* (narrow) + *lineatus* (of a line), in reference to the narrow white dorsolateral lines in the color pattern.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum smooth, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum round, directed posterodorsolaterally, its length 1/3-2/5 eye length; (3) snout subacuminate in dorsal view, pointed in lateral profile; canthus rostralis concave; (4) upper eyelid lacking pungent tubercles, slightly narrower than IOD; no cranial crests; (5) vomerine odontophores low, oblique, widely separated; (6) males with subgular vocal sac, white nonspinous nuptial pads; (7) first finger shorter than second; all fingers bearing round discs and pads, largest on outer fingers; (8) slight lateral keels on fingers; (9) no ulnar tubercles; (10) no tubercles on heel or tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 4 times size of round outer; supernumerary plantar tubercles indistinct; (12) toes bearing narrow lateral fringes, no webbing; toe discs and pads round, smaller than those of fingers; fifth toe very long; (13) yellow-tan above with thin white dorsolateral stripes bordered below by black; (14) adults small, males 15.8-20.4 (\bar{x} = 18.6 \pm 0.1, N = 61) mm, females 20.8-24.8 (\bar{x} = 22.6 \pm 0.2, N = 18) mm SVL.

Eleutherodactylus angustilineatus is most similar to *E. baiotis*, *E. boulengeri*, *E. brevifrons*, *E. dorsopictus*, *E. eremitus*, and *E. tayrona* but differs from each in lacking tubercles on the upper eyelid and heel. Furthermore, *E. brevifrons*, *E. dorsopictus*, and *E. eremitus* have tubercles on the tarsus. It is sympatric with *E. brevifrons*, a smaller frog having a shorter snout. The color pattern of *E. angustilineatus* is likewise distinctive although it initially appeared to be simply another color morph and led

to confusion of the two species in the field until explicit searches were carried out.

Description (proportions based on 25 males and 17 females). Head broader than body, longer than wide; HW 35.0-39.2 (\bar{x} = 37.0 \pm 0.2) % SVL in males, 36.6 - 41.9 (\bar{x} = 38.5 \pm 0.4) % in females, posterior part of head weakly flared in females; snout subacuminate in dorsal view (papilla at tip), acutely rounded or subprotruding in lateral view (Fig. 14); E-N 76.9-92.3 (\bar{x} = 83.2 \pm 1.1) % eye length in males, 77.4-96.9 (\bar{x} = 88.4 \pm 1.4) % in females; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis prominent, slightly concave; loreal region concave sloping abruptly to lips; lips not flared in region of snout; upper eyelid lacking tubercles, its width 66.7-100.0 (\bar{x} = 84.5 \pm 2.6) % IOD in males, 73.1-119.0 (\bar{x} = 84.8 \pm 2.8) % in females; interorbital space flat; supratympanic fold ill-defined, obscuring upper edge of tympanum; tympanum round, its length 25.0-41.7 (\bar{x} = 33.6 \pm 1.0) % eye length in males, 31.2-44.4 (\bar{x} = 37.7 \pm 0.9) % in females, directed dorsolaterally and posterolaterally (obviously not vertical), separated from eye by distance equal its own diameter; two small postrictal tubercles; choanae small, oval, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, low, slanted, widely separated, small (ca 1/3 size of a choana), each bearing 2-4 teeth in a slanted row; tongue longer than wide, its posterior border notched, posterior 1/2 not adherent to floor of mouth; vocal slits long, lateral to tongue; males with large subgular vocal sac.

Skin of dorsum smooth, lacking folds, that of venter areolate; no perianal tubercles; discoidal folds well anterior to groin; no ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar; small indistinct supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles low, bifid on fingers III-IV, round on fingers I-II; fingers bearing narrow lateral keels; discs and pads round, expanded; those of thumb least expanded (Fig. 14); first finger shorter than second; males with white nuptial pads atop thumbs.

Heels and tarsus lacking tubercles or folds; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, about 4 times size of round outer; low supernumerary plantar tubercles present; subarticular tubercles round (inner toes) to broader than long (outer toes); toes bearing narrow lateral fringes, expanded, round discs (smaller than those of outer fingers); tip of toe III reaches to base of penultimate subarticular tubercle of IV, that of toe V reaches to middle of distal subarticular tubercle of toe IV; heels barely overlapping when flexed hindlimbs held

perpendicular to sagittal plane; shank 48.4-55.4 (\bar{x} = 52.0 \pm 0.4) % SVL in males, 48.9-56.2 (\bar{x} = 52.0 \pm 5.4) % in females.

Dorsal surfaces tan to pale brown with none or few black or brown flecks; dorsal pattern bordered by a thin white dorsolateral line from eyelid to above groin; this stripe bordered below by dark brown or black (usually most intense anteriorly); canthal stripe brown; no labial bars evident; forearm, shank, and sometimes tarsus bearing brown flecks arranged as narrow oblique bars; concealed surfaces of limbs, undersides of limbs, and flanks cream; throat and venter white.

In life, *E. angustilineatus* is yellow or yellowish-green above with some brown flecking dorsally (occasional individuals are nearly red above); dorsolateral stripe yellow bordered below by brown to nearly black; vocal sac pale yellow; parietal peritoneum metallic white; upper eyelid pale green; iris reddish-brown or copper with black reticulation.

Measurements of holotype in mm. SVL 19.8, shank 10.1, HW 7.2, head length 7.3, chord of head length 8.0, upper eyelid width 2.2, IOD 2.3, tympanum length 0.9, eye length 2.8, E-N 2.2.

Natural history. In reviewing fieldnotes for 1991, 1995, and 1997, it is apparent that *E. angustilineatus* is spatially separated from *E. brevifrons*, in part by habitat selection. *Eleutherodactylus brevifrons* is most frequently found in disturbed situations (edges of pastures, etc) whereas *E. angustilineatus* more often than not occurs within the forest. The two species are macrosympatric but not microsypatric. During the day, *E. angustilineatus* was found in bromeliads growing on the cliffs at El Boquerón.

Four amplexant pairs were found, providing a biological check on the mean sizes given in the diagnosis. These sizes of these pairs are: (male followed by female) ICN 29247-48, 17.8 and 23.2 mm SVL; ICN 29249-50, 18.2 and 22.0 mm SVL; ICN 29277-78, 18.2 and 23.1 mm SVL; and ICN 39598-99, 19.8 and 24.8 mm SVL. The call, repeated late into the night (unlike *E. brevifrons*), is a single sharp "tink". Juvenile males (no vocal slits) are 9.8-15.5 mm SVL and juvenile females (thin oviducts, only small eggs) are 12.6-20.8 mm SVL. Based on limited data, the species appears to be aseasonal in reproduction.

In July 1997, El Boquerón was an unusual environment, presumably because of the sharp dry season in-

duced by El Niño. Normally, El Boquerón is fog-shrouded with nearly continual rain. During our visit in July 1997, it did not rain at all in four days and the nights were clear. During the day, the area was bathed in strong sunlight. Within these cloud forests, the epiphytic mosses were dry to the touch. Such a sharp dry season is unusual yet *E. angustilineatus* was reproducing unlike most other species of *Eleutherodactylus* found there. Occasional calls were heard for *E. erythropleura*, *E. w-nigrum*, and *Gastrotheca antomia*; otherwise the forests were silent. Most impressive was the absence of reproductive activity by centrolenids.

Referred material (juveniles and poorly preserved specimens). Depto. Chocó: límite con Valle del Cauca, 20-24 km del cementario El Cairo por la carretera a El Boquerón, 1900-2250 m (ICN 29252-53, 29258, 29260, 29262-63); municipio San José del Palmar, Alto de Galápagos, 1800 m (UVC 7664-65, 7667), Cerro Torrá, vert. noreste, 1800-1940 m (UVC 6729), 12.0-12.6 km by road W San José del Palmar, 1850-1860 m (ICN 19160-62). Depto. Risaralda: municipio Apía: vereda La Cumbre, quebrada Risaralda, 2230-2300 m (ICN 31303-04); Municipio Pueblorico, via La Selva-la repetidora, desvío km 7 carr. Pueblorico-Santa Cecilia, Km. 21-22, 1700-1820 m (ICN 30561-66); vereda Tatamá, río Tatamá, 1800 m (ICN 28096). Depto. Valle del Cauca, municipio El Cairo, Cerro El Inglés, 2200 m (UVC 10159-61), El Boquerón, 1880-2250 m (UVC 9146-47, 10734, 12676), "Los Galápagos", 20.2 km by road NW La Carbonera, 2000 m (UVC 8026, 8039-57, 8113-14, 9308-09, 9359, 9404-05, 9552, 9554-55), 2100 m (ICN 39613).

Eleutherodactylus baiotis sp. nov. (Fig. 15)

Holotype. ICNMHN 19170, adult male, one of a series collected 25 May 1988 by John D. Lynch, Pedro M. Ruiz, and Ricardo Sánchez.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Antioquía, Municipio de Urrao, Parque Natural Nacional Las Orquídeas, vereda río Calles, Quebrada Las Canoas, 1780-1870 m.s.n.m.

Paratopotypes. ICNMHN 19173 (female), 19174, 19176 (males), collected with holotype.

Etymology. Greek, *baios* (small) + *otis* (ear), in reference to the small tympani.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum finely granular, bearing dorsolateral folds from eye to above groin, that of venter areolate; (2) tympanum prominent, small, ca 1/3 eye length; (3) snout acuminate in dorsal view, protrud-

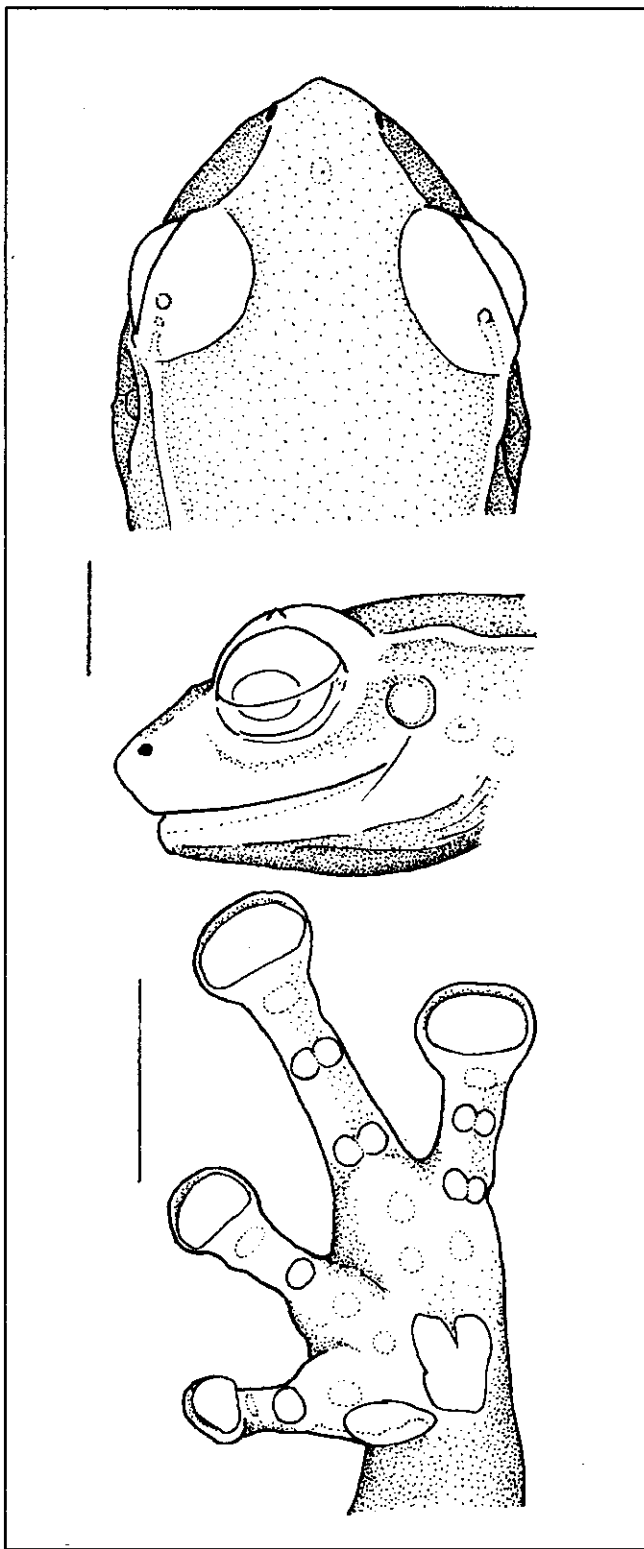


Figure 15. Dorsal and lateral views of head (ICN 19174), palmar view of hand (ICN 19176) of *Eleutherodactylus baiotis* sp. nov. Scales equal 2 mm.

ing in lateral profile; canthus rostralis sharp; (4) upper eyelid bearing conical tubercle, much narrower than IOD; no cranial crests; (5) vomerine odontophores small, low, oblique; (6) males with vocal slits and nuptial pads; (7) first finger shorter than second; all fingers with large round disks; (8) fingers bearing lateral fringes; (9) ulnar tubercles subconical; (10) heel and outer edge of tarsus bearing subconical tubercles; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 3 times size subconical outer; supernumerary plantar tubercles nonconical; (12) toes bearing lateral fringes, no webbing, large round disks (as large as those of fingers); fifth toe very long; (13) brown above with no pattern; dorsolateral stripe cream, edged below by dark brown band; no labial bars or limb bars; venter cream with black spots; colorless patch in groin; (14) adults small, three males 18.1-18.5 mm, one adult female 21.5 mm SVL.

In coloration, *E. baiotis* resembles *E. angustilineatus* but the former has eyelid, heel, and tarsal tubercles. *Eleutherodactylus baiotis* differs from all other species of "bromeliad" *Eleutherodactylus* because it has dorsolateral folds. Unlike *E. angustilineatus*, *E. brevifrons*, and *E. dorsopictus*, it has a small tympanum. The bifid subarticular tubercles are like those of *E. angustilineatus* and *E. dorsopictus* but unlike the subarticular tubercles of *E. boulengeri*, *E. brevifrons*, *E. eremitus*, or *E. tayrona*.

Description. Head broader than body in males, as broad as body in one female, longer than wide; HW 35.7-36.5 % SVL in males, 37.2 % in one female; snout acuminate in dorsal view with papilla at tip, protruding in lateral profile (Fig. 4); nostrils protuberant, directed laterally; canthus rostralis sharp, straight; loreal region concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; conical tubercle on upper eyelid; upper eyelid width 71.4-81.0 % IOD in males, 55.6 % in one female; interorbital space flat; supratympanic fold concealing uppermost edge of tympanum; tympanum oriented vertically, round, its length 29.2-32.0 % eye length in males, 32.1 % in one female, separated from eye by distance equal tympanum length; two nonconical postrictal tubercles; choanae round to oval, moderately large, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, small, slanted, separated medially by twice width of an odontophore; each bearing 2-4 teeth in slanted row, each about 1/3 size of a choana; tongue longer than broad, its posterior border bearing shallow indentation, posterior 1/3 not adherent to floor of mouth; long vocal slits lateral to tongue; vocal sac subgular.

Skin of dorsum shagreen, bearing low areolations with low dorsolateral folds extending from eye to above groin; flanks with more coarse tubercles; venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; pair of flat subanal tubercles; no anal sheath; 2-3 nonconical but large ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar; numerous low supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles of fingers I-II round, those of III-IV bifid; fingers bearing fleshy lateral fringes (including one along outer edge of palm); discs large, round, largest on outer fingers (Fig. 15); first finger shorter than second; large white nuptial pad atop thumb of male.

Subconical tubercle on heel, part of a series along outer edge of tarsus; inner edge of tarsus lacking tubercle or fold; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, ca 3 times size of subconical outer metatarsal tubercle; supernumerary plantar tubercles at bases of toes with up to three tubercles in row proximal to fourth toe; toes bearing prominent lateral fringes; toe discs large, round, as large as those of outer fingers; subarticular tubercles round except for bifid distal subarticular tubercle of toe IV; tip of toe III reaches to middle of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of V to middle of distal subarticular tubercle of toe IV; heels overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 49.7-50.8 % SVL in males, 52.1 % in one female.

Brown above (between dorsolateral folds) with pale brown to tan dorsolateral folds bordered below by black band from eye to vent; canthal stripe faint (brown), no labial bars; flanks cream with black spots, forming a slanted bar about 1/2 way between bases of limbs; arms pale brown except for cream wrist band and dark pigment atop digital disks; no limb bars; throat, venter, undersides of limbs cream with black spots; colorless area in groin and on posterior part of flanks; light brown stipple and black spots on anterior surfaces and posterior surfaces of thighs (with black spots in a row along ventral edge); no anal triangle.

In life, *E. baiotis* was described as follows: exposed surfaces yellow; flanks yellow with dark brown stripes; throat cream; dark brown spots on throat, venter, and hindlimbs; hidden surfaces of limbs yellow; anterior and posterior edges of thighs and posterior edge of tarsus with brown stripes; iris copper with dark brown flecks and fine lines (PMR fieldnotes, 25 May 1988).

Measurements of the holotype in mm. SVL 18.5, shank 9.2, HW 6.6, head length 6.9, chord of head length 7.3, upper eyelid width 1.5, IOD 2.1, tympanum length 0.8, eye length 2.5, E-N 2.0.

Referred specimen. Depto. Antioquia, Municipio Frontino, Km 16 carr. Nutibara-La Blanquita, alto de Río Cuevas, 2000 m (ICNMHN 16781).

Remarks. Most of our fieldwork was carried out below 1500 m where we did not observe either *E. baiotis* or *E. brevifrons* and we were able to collect the Quebrada Las Canoas only a single night (no one was anxious to repeat the adventure of riding mules up and down the steep trails at night and none of us was sufficiently enthusiastic to walk up to the site).

When I first did serious fieldwork in Colombia (1980), one of the sites we visited was the Parque Natural Nacional Munchique in Depto. Cauca. One of the frog species we collected appeared to match the illustrations in Cochran & Goin (1970) and I tentatively applied the name *Eleutherodactylus cabrerai* to that species. This identification was used by Kattan (1984), at my suggestion, when he reported frogs from Depto. Valle del Cauca. Subsequently (Lynch & Duellman, 1997; Ruiz-C. *et al.* 1996), I realized that the small frog from the Cordillera Occidental in Deptos. Cauca and Valle del Cauca was very different from *E. cabrerai*, a much larger frog found in Deptos. Antioquia and Caldas (Lynch & Rueda-A., 1997), and similar only in coloration.

Eleutherodactylus capitonis sp. nov. (Fig. 16)

Eleutherodactylus cabrerai: Kattan, 1984:322.

Holotype. ICNMHN 8124, an adult male, one of a series collected on 4 August 1980 by Victor Quijano and Pedro M. Ruiz.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Cauca, Municipio de El Tambo, Parque Natural Nacional Munchique, vicinity of cabaña "La Romelia", 2610 m.s.n.m.

Paratopotypes. Males ICNMHN 8125-26, 8128, 8131 (collected with holotype); ICNMHN 25784, 25860, 25930 (males collected 10 October 1990 by P. M. Ruiz *et al.*).

Paratypes. Colombia, Depto. Cauca, municipio El Tambo, Parque Natural Nacional Munchique, 2800 m, (male, ICN 39552, female ICN 39553, col. 1 July 1990 by A. Negret), Qda. Pozo Azul, 24 km NNW Uribe, 2530 m (Males, ICNMHN 8132-34, females 8137-38, 8140-42, 8144-45), col. 4 August 1980 by Pablo Bernal, Oscar Pinto, and Pedro M. Ruiz; Depto. Valle del Cauca, municipio Cali, Farallones de Cali, campamento Corea, 2500 m (UVC 5873-74, 5878, 5882, 5884, 5886, 6854,

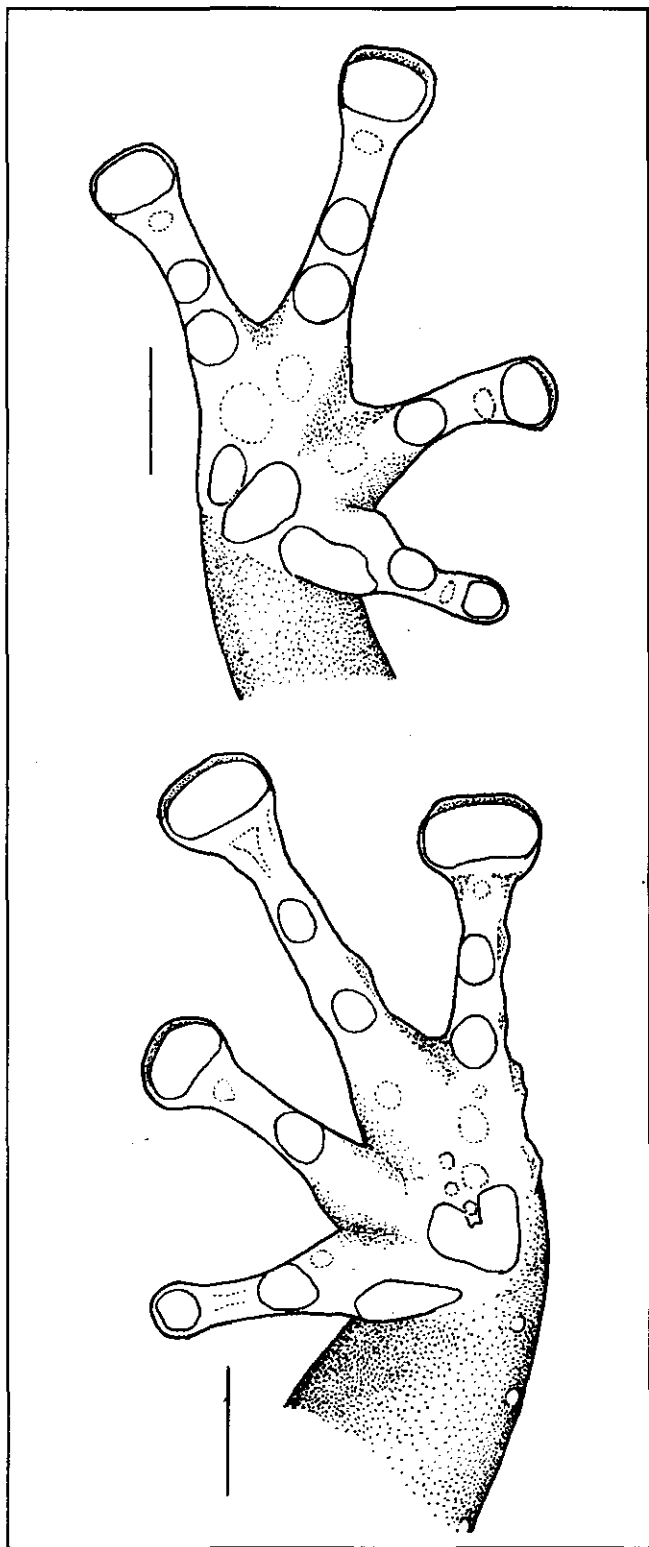


Figure 16. Palmar view of hands of *Eleutherodactylus capitonis* sp. nov. (top, ICN 8142) and *E. kelephus* sp. nov. (bottom, ICN 39640). Scales equal 2 mm.

males collected 22-23 January 1982, 27 Nov. 1982, by students, females UVC 5876, 5879, 11361-62, collected 23 Jan 1982, 9 April 1994, by students).

Etymology. Latin, *capitonis*, meaning one with a large head.

Diagnosis. (1) skin of dorsum smooth, that of venter areolate; dorsolateral folds low, to above groin; (2) tympanum small, not prominent; (3) snout round in dorsal and lateral profiles; canthus rostralis concave, not sharp; (4) upper eyelid bearing nonconical tubercles; no cranial crests; (5) vomerine odontophores oval, elevated, with oblique tooth rows; (6) males with vocal slits and white nuptial pads; (7) first finger shorter than second; round discs on fingers II-IV, larger than tympanum; (8) narrow lateral keels on fingers; (9) series of small ulnar tubercles, antebrachial largest; (10) small tubercle on heel, even smaller tubercles along outer edge of tarsus; indistinct inner tarsal fold on distal $\frac{1}{4}$ of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 6-8 times size of round outer; (12) toes with lateral keels, no webbing; discs smaller than those of outer fingers; toe V long (to base of distal subarticular tubercle of toe IV); (13) dorsum brown with pale dorsolateral stripes, prominent dark bars on flanks, edged with cream; venter olive in males with darker slanting bars on throat, black with small white spots in females; posterior surfaces of thighs brown; (14) adults small, males 17.8-22.7 (\bar{x} = 20.3 \pm 0.3, N = 17) mm, females 25.3-28.9 (\bar{x} = 27.0 \pm 0.4, N = 9) mm SVL.

Eleutherodactylus capitonis is most similar to the smaller *E. verecundus* (males 18.0-21.9 mm, females 20.7-22.5 mm SVL) but *E. capitonis* has smooth skin on the dorsum (warty in *E. verecundus*), has nuptial pads (absent in *E. verecundus*), and has only small tubercles on the heel and tarsus (conical heel tubercle in *E. verecundus*).

Description (proportions are based on 17 males and 9 females). Head as broad as body in males, narrower than body in adult females; HW 38.1-42.1 (\bar{x} = 39.5 \pm 0.2) % SVL in males, 39.3-41.9 (\bar{x} = 40.3 \pm 0.3) % in females; snout subacuminate to rounded in dorsal view, rounded in lateral profile; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; snout short, E-N 64.0-90.9 (\bar{x} = 76.6 \pm 1.6) % eye length in males, 59.3-87.5 (\bar{x} = 77.8 \pm 2.8) % in females; canthus rostralis concave, not well-defined; loreal region concave, sloping gradually to lips; lips not flared; low tubercles on upper eyelid, upper eyelid width 68.2-110.5 (\bar{x} = 91.9 \pm 2.7) % IOD in males, 75.0 - 104.0 (\bar{x} = 93.7 \pm 3.1) % in females; no cranial crests; tympanum higher than long, its length 16.7-31.0 (\bar{x} = 23.1 \pm 1.0)

% eye length in males, 20.0-40.0 ($\bar{x} = 27.1 \pm 2.0$) % in females, its upper edge partially concealed by tuberculate supratympanic fold ending above insertion of arm, separated from eye by its length; postictal tubercles subconical; choanae round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores smaller than a choana, oval, bearing oblique row of teeth, separated by distance equal width of an odontophore; tongue longer than broad, posterior border feebly notched, posterior 2/5 not adherent to floor of mouth; vocal slits lateral to tongue in males, vocal sac subgular.

Skin of dorsum smooth; very indistinct dorsolateral folds on upper flanks; venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; short anal sheath; row of 4 small ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, about size of oval thenar tubercle; low supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round, not projecting; narrow lateral keels on fingers; discs round, that on thumb smallest, those on fingers III-IV as large as tympanum (Fig. 16); first finger shorter than second; white nuptial pad on top of thumb in males.

Indistinct tubercle on heel; even less obvious tubercles along outer edge of tarsus; low tubercle along inner edge of tarsus; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, 6-8 times size of low outer metatarsal tubercle; no more than one supernumerary plantar tubercle at base of toes III-IV, indefinite lateral keels on toes, no webbing; subarticular tubercles round, low; round discs on toes, smaller than those of outer fingers; tip of toe V to base of distal subarticular tubercle of toe IV, that of toe III reaches to middle of penultimate subarticular tubercle of toe IV, heels barely overlapping when flexed hindlimbs are held perpendicular to sagittal plane, shank 46.3-56.4 ($\bar{x} = 50.8 \pm 0.6$) % SVL in males, 50.2 - 55.7 ($\bar{x} = 52.5 \pm 0.7$)% in females.

Brown above with darker flanks bearing slanted dark brown bars, edged in cream; thin cream stripe from eye to above groin; limbs barred with black; venter brown with some cream spots laterally; dark chin strap; prominent anal triangle edged with cream; posterior surfaces of thighs brown; limb bars present on arms and thighs, poorly developed on shanks. Dorsum lacking pattern in most individuals (aside from thin cream dorsolateral stripes). In small specimens, interorbital bar and dorsal chevrons are obvious, limited laterally by pale dorsolateral stripe from flank pattern. Limb bars on shanks are narrow and oblique.

In life, *E. capitonis* is pale to dark brown, dark green, or almost orange-brown above; dorsolateral stripes rusty

orange; flanks darker, dark green to black with bronze to white lines outlining slanting bars; some white flecks on black venters of females; venter dull olive in males; throat, underside of limbs very dark brown in females, in males throat bearing dark olive slanted bars (outlined with cream); iris copper with black reticulation and reddish brown horizontal streak.

Measurements of holotype in mm. SVL 22.7, shank 11.6, HW 8.9, head length 8.0, chord of head length 8.8, upper eyelid width 1.9, IOD 2.2, tympanum length 0.7, eye length 2.7, E-N 2.2.

Natural history. Individuals were sitting on vegetation along the road and along streams at night. Juvenile males (no nuptial pads, no vocal slits) are 13.6-16.7 mm SVL whereas juvenile females are 15.5-22.1 mm SVL. A single young female (modest convolutions of the oviducts) is available and she is 23.4 mm SVL.

Referred specimens (juveniles). Depto. Cauca, El Tambo, vic. cabaña La Romelia, 2520 -2610 m (ICNMHN 8127, 8129-30, 25929, 25934, 25938-40, 25943), Qda. Pozo Azul, 24 km NNW Uribe, 2530 m (ICNMHN 8135-36, 8139, 8143), Qda La Torcaza, Km 25 al NNW Uribe, 2440 m (ICNMHN 26008); Depto. Valle del Cauca, Cali, Farallones de Cali, campamento Corea, 2500 m (UVC 5871, 6646, 6859).

Remarks. Although no synapomorphy has been identified, *E. capitonis* is thought to be the northern replacement of *E. verecundus*.

Lynch (1996) reported *E. calcaratus* (Boulenger) from several localities on the Cordillera Occidental in Depto. Valle del Cauca. However, further study of these and additional collecting on the Serranía de los Paraguas reveals that the frogs from the Serranía de los Paraguas represent a taxon distinct from *E. calcaratus*. *Eleutherodactylus calcaratus* (Fig. 2) is the same size as the new species, has similar proportions, but differs slightly in coloration (has a pale venter with thin dark reticulations and has pale spots on the concealed surfaces of the thighs) and has the dorsum uniformly covered with small tubercles, in contrast to the new species. In *E. calcaratus*, males are 16.9-22.9 ($\bar{x} = 20.8 \pm 0.4$, N = 15) mm and females are 27.7-33.1 ($\bar{x} = 29.2 \pm 0.5$, N = 11) mm SVL. Proportions are as follows (N for males = 14, for females = 11): Males — tibia/SVL 50.9-63.3 ($\bar{x} = 56.7 \pm 0.9$), HW/SVL 34.4-41.8 ($\bar{x} = 39.0 \pm 0.5$), upper eyelid/IOD 81.8-136.8 ($\bar{x} = 107.6 \pm 3.8$), tympanum/eye 24.0 - 34.6 ($\bar{x} = 32.3 \pm 1.2$), E-N/eye 71.4-90.0 ($\bar{x} = 80.8 \pm 1.3$). Females — tibia/SVL 52.9-58.8 ($\bar{x} = 56.8 \pm 0.6$), HW/

SVL 37.9-40.9 ($\bar{x} = 39.5 \pm 0.3$), upper eyelid/IOD 84.8-100.0 ($\bar{x} = 94.6 \pm 2.0$), tympanum/eye 32.5-40.5 ($\bar{x} = 36.3 \pm 0.7$), E-N/eye 83.3-100.0 ($\bar{x} = 94.8 \pm 1.7$).

Eleutherodactylus calcaratus has been collected at several places in the immediate vicinity of Cali. In addition to the type-locality (Cerro San Antonio, BMNH, UMMZ), the species has been found at Alto Pance (=campamento Corea), 2600 m; Dapa, bosque San Antonio; finca Zingara, 1900 m; Peñas Blancas, 1900 m; corregimiento La Castilla, Qda. Marin, 2000 m (all municipio Cali) and at finca San Pedro (municipio Dagua). The vast majority of specimens of this species are housed in the Museo de Historia Natural of the Universidad del Valle. Additionally, there is a record from Depto. Cauca: mpio. Piendamó, reserva El Guayabo (UVC 5933). To date, the species is known from localities at elevations between 1750 and 2000 m. where it remains an uncommon species accounting for a few per cent of the *Eleutherodactylus* taken in any one collection.

Eleutherodactylus kelephus sp. nov. (Figs. 6, 16-17)

Eleutherodactylus calcaratus (part): Lynch, 1996:332-334.

Holotype. ICN 39637 (JDL 21193) adult female, one of a series collected 25 July 1997 by Taran Grant and John D. Lynch.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca: municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, El Boquerón, quebrada 19.85 km del cementario de El Cairo, 2140-2150 m.s.n.m.

Paratopotypes. ICN 39649-63 (males) and 39635-36, 39638-48 (females) collected with the holotype.

Paratypes. Colombia, Depto. Valle del Cauca, mpio. El Cairo, Alto de Galápagos (UVC 9150, 9477-78), females collected 27 Feb.-1 Mar. 1987 by Jorge Restrepo; vereda Las Amarillas, 19.6 km del cementario de El Cairo, 2110-2130 m. (ICN 39622-28, males, 39630, female), same date and collectors as holotype; 18.9 km del cementario de El Cairo, 2060-2070 m (males ICN 39671-73, female 39669), 27 July 1997, El Boquerón, 2120-2200 m (males, UVC 12561, 12588, 12963, 13039, 13247, 13249, females UVC 12971, 13038, 13248), collected 1-2 April and 20-21 Sept. 1996 by W. Bolívar, F. Castro, and T. Grant.

Etymology. Greek, *kelephos*, meaning leper. The rounded pustules on the dorsal surfaces provide the impression of some disfigurement caused by leprosy.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum with many round pustules, forming ridges (H-shaped figure on shoulders, transverse ridges above sacrum), that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum prominent, 1/4-1/3 eye length; (3) snout round in dorsal and lateral views; canthus rostralis concave, rounded; (4) upper eyelid bearing conical tubercle, slightly wider than IOD; no cranial crests; (5) vomerine odontophores prominent, oval, narrowly separated; (6) males with vocal slits, nuptial pads; (7) first finger shorter than second, outer fingers bearing broad discs; (8) fingers bearing lateral fringes; (9) ulnar tubercles subconical; (10) conical tubercle on heel; tu-

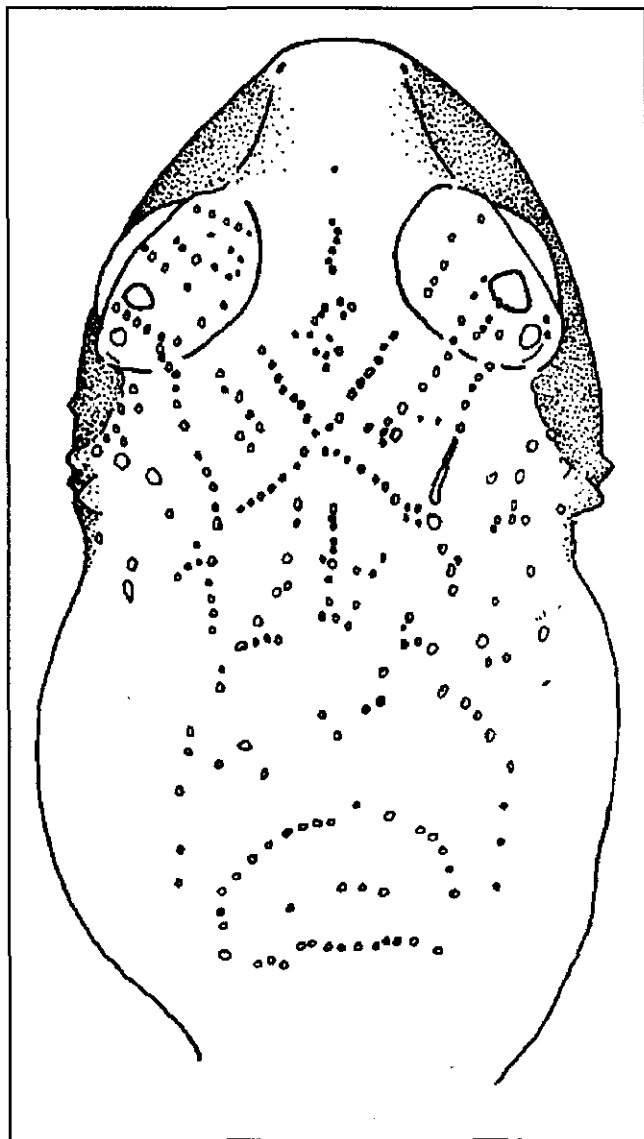


Figure 17. Distribution of warts on skin of dorsum in *Eleutherodactylus kelephus* (ICN 39640).

bercles along outer edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 6-8 times size of round outer; (12) toes with lateral fringes, no webbing; toe discs expanded, smaller than those of fingers; fifth toe long (to base of distal subarticular tubercle of toe IV); (13) brown above with cream occipital H; chin bearing inverted dark brown triangle; venter dark brown to maroon with cream spots and reticulum; posterior surfaces of thighs uniformly brown; (14) adults moderate-sized, males 15.8-21.3 (\bar{x} = 19.7 \pm 0.2, N = 29) mm, females 27.0-31.5 (\bar{x} = 29.3 \pm 0.2, N = 21) mm SVL.

Eleutherodactylus kelephus is most similar to, and probably most closely related to, *E. calcaratus*, with which I had previously confused it, in part. The two frogs are the same size and exhibit the same proportions. They differ in that, in *E. kelephus*, the dorsal tubercles are reduced in number and form a distinct pattern whereas in *E. calcaratus*, the tubercles are distributed uniformly across the dorsum and are more numerous. In coloration, *E. kelephus* is much darker ventrally (the venter of *E. calcaratus* is cream with sparse brown reticulation) and has uniformly brown posterior surfaces of the thighs (in *E. calcaratus* these surfaces bear numerous large pale spots, *contra* Lynch, 1996).

Description (proportions based on 25 males and 21 females). Head wider than body in males, almost as wide as body in adult females, wider than long; HW 37.9-42.3 (\bar{x} = 39.8 \pm 0.2) % SVL in males, 38.4-42.0 (\bar{x} = 40.6 \pm 0.2) % in females; snout subacuminate in dorsal view in males, rounded in females, round in lateral profile in both sexes; E-N 69.7-96.4 (\bar{x} = 84.2 \pm 1.3) % eye length in males, 76.0-100.0 (\bar{x} = 89.8 \pm 1.3) % in females; nostrils protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis evident but rounded, concave; loreal region concave, sloping gradually to lips; lips weakly flared in females; upper eyelid bearing many smaller nonconical tubercles and one conical tubercle on posterolateral quarter, its width 93.8-125.0 (\bar{x} = 107.4 \pm 1.9) % IOD in males, 82.5-117.2 (\bar{x} = 97.1 \pm 1.9) % in females; no cranial crests; supratympanic fold not distinct but obscuring upper edge of tympanum; tympanum round in males, slightly higher than long in females, separated from eye by its length; tympanum length 22.2-36.7 (\bar{x} = 28.7 \pm 0.8) % eye length in males, 26.1-36.8 (\bar{x} = 31.6 \pm 0.6) % in females; postrictal tubercles subconical; row of 3-4 small tubercles along lower margin of lower jaw; choanae subtriangular in outline, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores almost as large as choanae, median and posterior to choanae, oval, separated by distance equal $\frac{1}{2}$ width of an odontophore, each bearing trans-

verse row of 3-4 teeth; tongue longer than wide, its posterior border notched, posterior $\frac{2}{5}$ not adherent to floor of mouth; short vocal slits near angles of jaws in males.

Dorsum with many rounded tubercles (pustules) forming H-shaped figure above scapulae, sagittal row between eyes, transverse rows above sacrum and pelvic girdle and scattered tubercles over rest of dorsal surfaces (Fig. 17); no anal sheath; pair of subanal tubercles; venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; upper surfaces of forearm, shanks with tubercles in rows (corresponding to edges of bars); four subconical ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, twice size of oval thenar; numerous supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round; fingers bearing lateral fringes with some tendency to be crenulate; discs round with broad ventral pads on fingers II-IV, thumb lacking expansion (Fig. 16); first finger shorter than second; white nonspinous nuptial pad over top of thumb and medial surfaces of thenar tubercle in males.

Tubercle on knee; conical tubercle on heel; row of 2-3 subconical outer tarsal tubercles; inner edge of tarsus lacking tubercles or fold; inner metatarsal tubercle $1\frac{1}{2}$ times as long as wide, 6-8 times size of round outer; few supernumerary plantar tubercles (bases of toes only); subarticular tubercles round; all toes bearing round discs (smaller than those of outer fingers); toes bearing narrow lateral fringes (= keels); tip of toe III to middle of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of toe V to base of distal subarticular tubercle of toe V; heels overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 51.5-59.6 (\bar{x} = 55.2 \pm 0.4) % SVL in males, 53.0-60.0 (\bar{x} = 56.2 \pm 0.4) % in adult females (57.3-60.3, \bar{x} = 58.6, N = 6, in juvenile females).

Brown above with pale (cream) ridges of tubercles; canthal-supratympanic stripe and labial bars reddish-brown; pale cream labial stripe; flanks spotted or reticulated with reddish-brown except for white spots along lower edges of flanks; limbs olive with cream ridges and half moons of dark pigment laterally (shanks, forearm); inner digits cream; prominent black bars atop tarsi; in females, venter brown with cream or white spots and lines, forming dark inverted triangle on chin-throat; groin and undersides of shanks black with large white spots; posterior surfaces of thighs dark brown with some cream flecks; in males, venter not spotted or bearing darker spots over a gray ground color; groin and anterior surfaces of thighs brown, without spots; undersides of shanks barred black and white; dark triangle (or pentagon) prominent on chin.

In life, *E. kelephus* is brown or maroon above (sometimes green) with darker markings; venter pale gold with heavy black markings to black or maroon with cream to white spotting; throat colored like venter or tan with brown or black inverted triangle; flanks black, maroon, or green with white to pale yellow spots (rarely red); gold interspaces between labial bars and above tympanum; posterior surfaces of thighs uniform brown; undersides of shanks black and white (females) or black and brown (many males); iris brown (sometimes brassy gold) with black reticulum.

Measurements of holotype in mm. SVL 31.4, shank 16.9, HW 13.1, head length 12.5, chord of head length 13.2, upper eyelid width 3.3, IOD 3.3, tympanum length 1.5, eye length 4.6, E-N 4.1.

Natural history. In earlier visits to El Boquerón, this species was uncommon but during our short visit in July 1997, we found *E. kelephus* to be very abundant along one small stream near the crest (a stream flowing south off Cerro El Inglés). The frogs appeared to be clumped, in association with certain herbaceous plants (not identified) along the stream. No reproductive activity was noted in 1997 and the earlier collections contained too few individuals to generate any impressions. Juvenile females (no convolutions of the oviducts) are as large as 26.0 mm SVL (UVC 12970). The relative scarcity of juveniles suggests that reproduction may be seasonal in this aseasonal forest.

Referred specimens (juveniles). Depto. **Chocó:** Alto de los Galápagos, 1980-2000 m (ICN 18284, 19425). Depto. **Valle del Cauca:** Topotypes (ICN 39664-68), 19.6 km del cementario de El Cairo, 2110-2130 m (ICN 39618-21, 39629, 39631-34), 18.9 km del cementario de El Cairo, 2060-2070 m (ICN 39670), El Boquerón, 2150 m (ICN 39674).

Remarks. Earlier, I (Lynch, 1996) confused this taxon with *E. calcaratus*. The two are certainly very similar structurally and in coloration but *E. calcaratus* has a more uniform distribution of tubercles over the dorsal surfaces and those tubercles are not pale. The coloration of the posterior surfaces of the thighs and the venter is the best means of distinguishing these two species (the venter is mostly cream in *E. calcaratus* and mostly black or brown in *E. kelephus*; and, the posterior surfaces of the thighs do not bear pale spots or flecks in *E. kelephus*). It is possible that *E. calcaratus* and *E. kelephus* represent opposite ends of a cline but there is no evidence for such a proposition aside from the observation that the two are "very similar", an observa-

tion lacking evidence for or against any particular hypothesis.

Two of the species described above (*E. angustilineatus* and *E. kelephus*) are found on the Serranía de los Paraguas. This region has been especially important in demonstrating the rich diversity of frogs of the genus *Eleutherodactylus* in western Colombia. One of the more surprising finds on this andean spur has been a series of very small frogs, what one might want to term nanobatrachians. These are difficult to collect because they are so small and once captured are very sensitive to the heat of the collector's hands. Very few individuals accumulated in the UVC collections, presumably because collectors presumed that these were juvenile *Eleutherodactylus* and wanted to avoid the grief of attempting to identify juveniles. The UVC specimens are mostly adult females. In 1991, 1995, and 1997, I made special efforts to collect these minute frogs enabling the acquisition of series including adult males and adult females of each of the three.

Eleutherodactylus myops sp. nov. (Figs. 7, 18-19)

Holotype. ICN 39684 (JDL 21060), adult female, one of a series collected 25 July 1997 by Taran Grant, Paul Gutiérrez, and John D. Lynch.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca, Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, El Boquerón (límite con Depto. Chocó), 19.6 km del cementario de El Cairo, 2130 m.

Topoparatypes. Males (ICN 39689-92) and females (ICN 39685-88) collected with holotype; males (ICN 39708-17) and females (ICN 39693-707), same collectors, date as holotype, 19.85 km del cementario de El Cairo; males (ICN 39725-27) and female (ICN 39724), 18.9 km del cementario de El Cairo, 2060-2070 m, collected by J Lynch 27 July 1997; (ICN 29341) (females), (29312-14, 29329-30, 29343), collected 23-29 June 1991 by J. D. Lynch and P. M. Ruiz.

Paratypes. Colombia, **Valle del Cauca** - límite con **El Chocó**, El Boquerón, 2200-2250 m, males (ICN 29317, 29319, 29321-22, 29324-25, 29327-28), females (ICN 29316, 29318, 29320, 29323) collected 24-25 June 1991 by P. M. Ruiz, males (ICN 36922-24, 36927-29) and females (ICN 36920, 36925) collected 20 July 1995 by J. D. Lynch and Erik Wild; **Valle del Cauca**, municipio El Cairo, 20.2 km NW La Carbonera, "Alto de los Galápagos", 2100 m, females (UVC 8028, 9500) collected 14 May 1985 and 27 Feb.-1 Mar. 1987 by J. H. Restrepo,

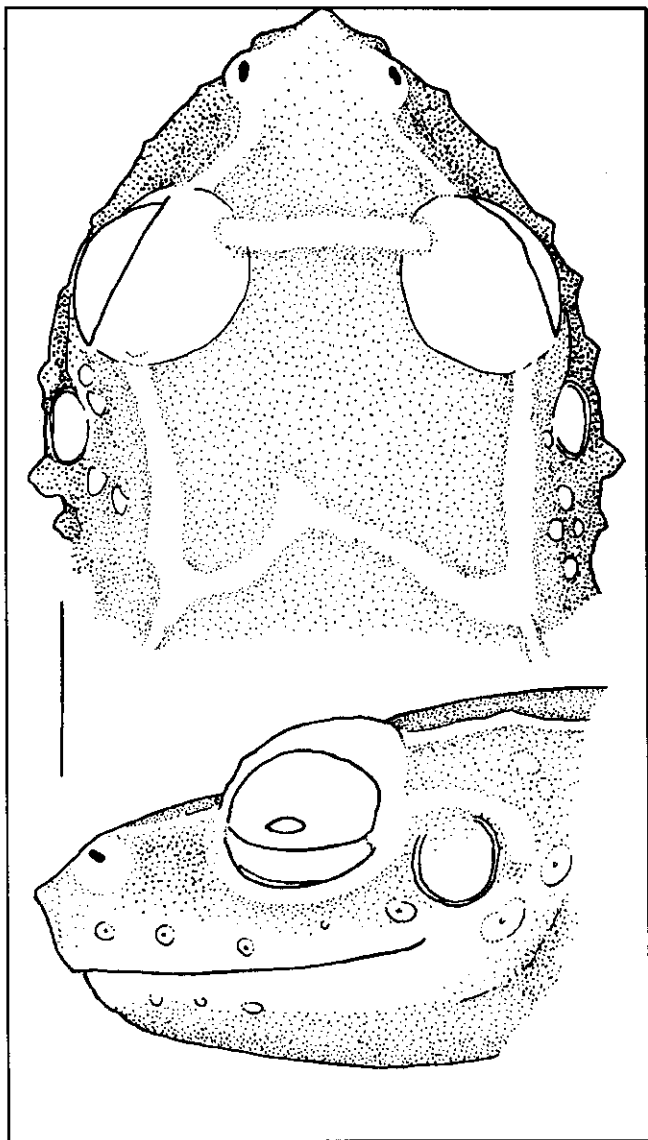


Figure 18. Dorsal and lateral views of head of *Eleutherodactylus myops* sp. nov. (ICN 29312). Scale equals 2 mm.

females (ICN 29379-81) collected 28 June 1991 by J. D. Lynch.

Etymology. Greek (*myops*) meaning near-sighted. The name is suggested by the presence of the interocular fold which fancifully resembles the bridge of a pair of glasses. However, the name is also appropriate for the author who was frustrated by having to wear reading glasses while collecting these minute frogs in the rain and mist of the Serranía de los Paraguas.

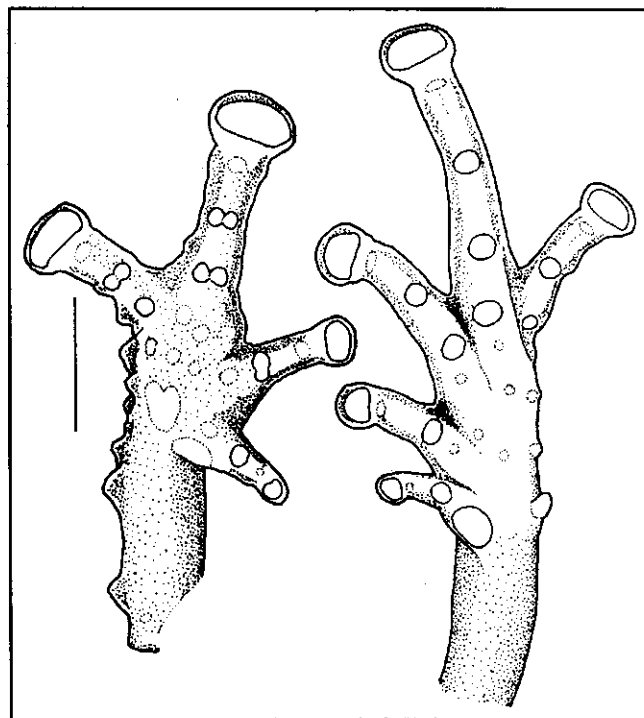


Figure 19. Plantar views of hand (ICN 29312) and foot (ICN 29314) of *Eleutherodactylus myops* sp. nov. Scale equals 2 mm.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum bearing numerous flattened warts, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum round, $\frac{1}{4}$ to $\frac{2}{5}$ eye length; (3) snout subovoid in dorsal view, rounded in profile, short; canthus rostralis rounded, concave; (4) upper eyelid lacking conical tubercles; fleshy interorbital fold present; no cranial crests; (5) no vomerine odontophores; (6) males with subgular vocal sac, no nuptial pad; (7) first finger shorter than second, lacking disc; outer fingers with expanded discs; (8) fingers bearing crenulate lateral fringes; (9) ulnar tubercles prominent, subconical; (10) short calcar on heel, subconical tubercles along outer edge of tarsus; conical tubercles on median surface of distal shank; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 6 times size round outer; (12) toes with lateral fringes, no webbing (except toe V partially fused to toe IV); toe discs smaller than those of fingers; fifth toe longer than third; (13) throat and chest black or dark brown; pale blotch on lower flank (yellow in life); dorsum usually brown with darker markings; (14) adults minute, males 10.9-13.6 (\bar{x} = 11.9 \pm 0.1, N = 34) mm, females 14.6-17.2 (\bar{x} = 15.5 \pm 0.1, N = 38) mm SVL.

Eleutherodactylus myops is most easily distinguished from all other species of the genus by its very small size and the presence of a fleshy interocular fold. It is most easily confused with the equally minute *E. quantus* (described below) but that species has conical tubercles on the upper eyelids (absent in *E. myops*), has the fifth toe free from the fourth (partially united by fleshy webbing in *E. myops*), and a yellow throat (black in *E. myops*).

Description (proportions based on 22 males and 30 females). Head as broad as body in males, narrow than body in adult females, broader than long; HW 34.9-41.1 ($\bar{x} = 37.8 \pm 0.3$) % SVL in males, 35.1-41.2 ($\bar{x} = 38.0 \pm 0.3$) % in females; nostrils protuberant, directed anterodorsolaterally; snout subovoid in dorsal view (with ill-defined tubercle at tip), rounded in lateral profile; E-N 62.5-93.3 ($\bar{x} = 80.5 \pm 1.5$) % eye length in males, 84.2-100.0 ($\bar{x} = 93.4 \pm 1.1$) % in females; canthus rostralis rounded but evident, weakly concave; loreal region concave, sloping gradually to lips; upper eyelid lacking tubercles, its width 60.0-100.0 ($\bar{x} = 78.8 \pm 2.4$) % IOD in males, 64.7-100.0 ($\bar{x} = 76.0 \pm 1.6$) % in females; transverse, fleshy, interocular fold (Fig. 18); tympanum prominent, round or slightly higher than long, upper edge concealed by fleshy supratympanic fold, separated from eye by about $\frac{1}{2}$ its length; tympanum length 23.5-47.1 ($\bar{x} = 39.4 \pm 1.2$) % eye length in males, 42.1-58.8 ($\bar{x} = 47.6 \pm 1.0$) % in females; two subconical postrictal tubercles; choanae oval (longer than wide), well medial of palatal shelf of maxillary arch; no vomerine odontophores; tongue as long as broad, lacking notch along posterior border, posterior $\frac{2}{5}$ not adherent to floor of mouth; males with subgular vocal sac extending onto chest and long vocal slits lateral to tongue.

Skin of dorsum with numerous flattened tubercles, often fusing to form occipital W with short dorsolateral folds (attached to apices of W); no anal sheath; pair of large subanal tubercles; skin of venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; upper surfaces of lower arm, shank, and tarsus with flattened warts; 2-4 ulnar tubercles, flattened dorsoventrally, forming a continuous row with subconical tubercles (dorsoventrally flattened) along outer edge of palm; palm with numerous small round tubercles, thenar tubercle oval but palmar apparently broken up into small tubercles; subarticular tubercles bifid; thick lateral fringes on fingers rendering hand semipalmate (Fig. 19); discs and pads of fingers II-IV round, expanded, those of thumb not expanded; first finger shorter than second; males lack nuptial pads.

Dorsoventrally flattened, subconical tubercles on medial side of distal shank; short calcar on heel; 2-3 subconical tubercles along outer edge of tarsus; inner edge of tarsus smooth; outer metatarsal tubercle round, subconical, $\frac{1}{6}$ size of oval inner; supernumerary plantar tubercles indistinct but present; fleshy lateral fringes on toes, fusing to form basal webbing (enclosing basal subarticular tubercles); toe V appears partially fused to toe IV (Fig. 19); subarticular tubercles round, low; toes II-V bearing round discs and broad pads (smaller than those of outer fingers), that of toe I not expanded; tip of toe V reaching about $\frac{1}{2}$ way between distal and penultimate subarticular tubercles of toe IV, that of toe III reaching about $\frac{1}{3}$ of way between same subarticular tubercles (toe V longer than toe III); heels overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 49.6-61.0 ($\bar{x} = 55.8 \pm 0.6$) % SVL in males, 49.1-57.8 ($\bar{x} = 53.6 \pm 0.4$) % in females.

Brown above with diffuse darker markings (interorbital bar, sacral chevron, suprainguinal bar, slanted flank bars); canthal and labial markings darker brown; forearm and shank with brown bands, nearly as wide as interspaces, transverse, or nearly so, on shank; prominent dark brown anal triangle; throat gray, chest and venter heavily mottled with brown or black, often with scattered white flecks; undersides of limbs dark brown or black except that undersides of thighs often have substantial salmon to orange pigment; large pale area on posterior flank to groin, white or yellow in life; in males, undersides of limbs and lower venter often pale (orange or reddish in life). The mesorchium of males is white.

In life, *E. myops* is brown to reddish-brown (rarely, pale green) above with darker dorsal markings; ventral surfaces are mostly black (black triangle visible on throat) except undersides of legs (orange or red); anterior surfaces of thighs reddish-orange; cream or yellow blotch on lower flank/groin; iris brown with slight orange cast.

Measurements of holotype in mm. SVL 15.6, shank 8.3, HW 5.8, head length 5.4, chord of head length 5.7, upper eyelid width 1.4, IOD 1.7, tympanum length 1.0, eye length 1.8, E-N 1.8.

Natural history. This minute frog is found on vegetation within one meter of the forest floor, usually in dense forest. In July 1997, we found the frog very abundant along a small stream flowing south off Cerro El Inglés. Many were found sitting at the tips of fern leaves as though they were attempting to maximize their access to water condensing from the air. In July 1997, amplexant pairs were found but no vocalizations were heard. On

other occasions, males of this tiny frog were calling within the forest. The call was described (JDL fieldnotes, 20 July 1995) as "a very musical series of chirps." Reproduction is apparently aseasonal because reproductive adults have been collected in February, May, June, and July. However, our failure to find juveniles during our visit in July 1997 when adults were very common) suggests seasonality in reproduction. Juvenile males (no vocal slits) are 8.6-10.6 mm SVL and juvenile females (no oviductal expansion, convolution) are 9.8-13.7 mm SVL. Young females (small eggs but some indication of oviductal convolutions) are 13.5-14.4 mm SVL.

Referred specimens. Depto. **Antioquía:** municipio Frontino, corregimiento Nutibara, Km 21 carr. Nutibara

a La Blanquita, 1500 m (ICN 16639). Depto. **Valle del Cauca:** Topotypic male (ICN 29342); El Boquerón, 2200-2250 m (male, ICN 29326; females 29331-38, 36921, 36930).

Remarks. A single specimen (a juvenile female, 12.6 mm SVL) is available from the Murri transect, far to the north of the Serranía de los Paraguas. This specimen is accompanied by an excellent description of her colors in life and there is no question that it is an *E. myops*. This record is somewhat lower in elevation than those from the Serranía de los Paraguas and suggests that this minute species has been overlooked on the three intervening transects.

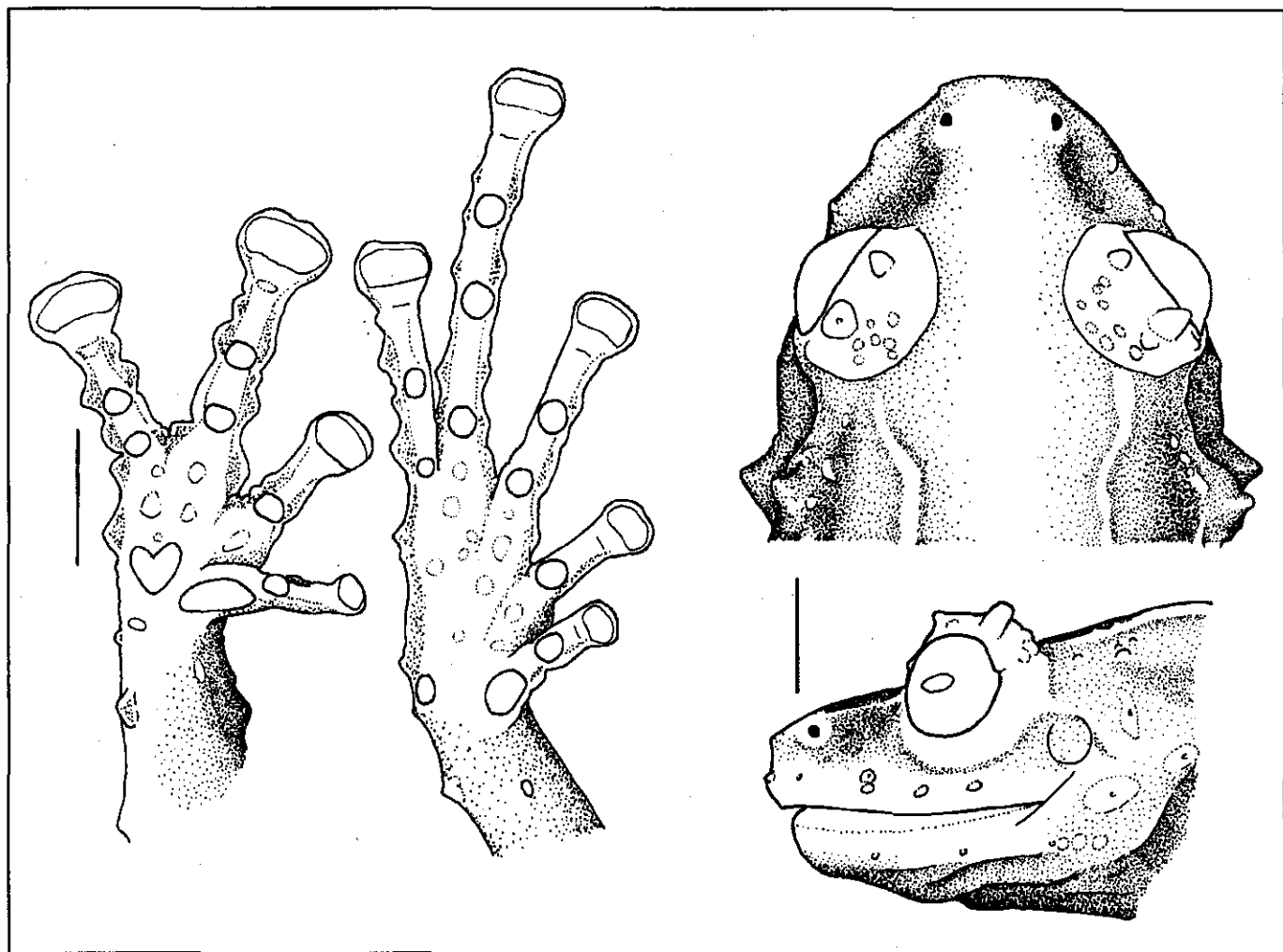


Figure 20. Dorsal and lateral views of head (ICN 39678) and plantar views of hand (ICN 39678) and foot (ICN 39680) of *Eleutherodactylus phalarus* sp. nov. Scales equal 2 mm.

***Eleutherodactylus phalarus* sp. nov.** (Fig. 8, 20)

Holotype. ICN 39678 (JDL 21266), an adult female, one of series collected 26 July 1997 by John D. Lynch.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca, Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, El Boquerón (límite con Depto. Chocó), 2160-2250 m.

Topoparatypes. ICN 36934-35, 39675-76, 39679, 39681-83 (males collected 20 July 1995 and 25-26 July 1997 by J. D. Lynch and E. Wild), ICN 39677, 39680 (females collected 25-26 July 1997 by J. D. Lynch).

Paratypes. Colombia, Depto. **Valle del Cauca**, municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, Cerro El Inglés, 2400 m, UVC 9029-30 (males) and UVC 9020 (female) collected by Philip Silverstone and students, 27 Dec.-6 Jan. 1987.

Etymology. Greek (*phalaros*), meaning white-spotted. Used in reference to the color pattern on the concealed surfaces of the hindlimb and groin.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum bearing flattened warts, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum small, round; (3) snout rounded in dorsal and lateral profiles, deep; canthus rostralis rounded, concave; (4) upper eyelid bearing two conical tubercles, slightly narrower than interorbital space; no cranial crests; (5) vomerine odontophores in two small, prominent clumps, closely juxtaposed; (6) males with short vocal slits, no nuptial pads; (7) first finger shorter than second; fingers II-IV with expanded round discs; thumb disc not expanded; (8) crenulate lateral fringes on fingers; (9) ulnar tubercles subconical; (10) conical heel tubercle; non conical tubercles along outer edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 4 times size of round outer; supernumerary plantar tubercles present; (12) toe fringes prominent, no webbing; toe discs expanded, smaller than those of fingers; fifth toe longer than third, not reaching distal subarticular tubercle of toe IV; (13) dorsum and venter brown with darker brown markings; V or Y-shaped mark on throat; groin, anterior surfaces of thighs, concealed shank and tarsus black with white spots; (14) adults small, males 15.3-17.6 mm, females 17.5-22.3 mm SVL.

By virtue of its small size, *E. phalarus* requires comparison with *E. myops* and *E. quantus*. From each it differs in having a pair of conical tubercles on its upper eyelid and by its somewhat spatulate, long snout. Like *E. myops*, it has crenulate fringes on the fingers but lacks the partial fusion of toes IV-V, has conical heel tubercles,

white (or yellow) spots on black fields in the groin and concealed surface of the shank, and is a larger frog.

Description (proportions based on eight males and five females, one a juvenile). Head as broad as body, longer than wide; HW 35.9-39.9 ($\bar{x} = 37.8 \pm 0.4$) % SVL in males, 37.1-39.8 ($\bar{x} = 38.4$) % in females; snout rounded in dorsal and lateral profiles, long; E-N 80.0-94.7 ($\bar{x} = 87.2 \pm 2.5$) % eye length in males, 83.3-100.0 ($\bar{x} = 93.9$) % in females; nostrils protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis rounded, concave; loreal region concave, sloping gradually to lips; lips not flared, bearing flattened or subconical tubercles (providing the curious outline to the head seen in Fig. 20); upper eyelid bearing two conical tubercles, more posterior longest (Fig. 20), plus smaller nonconical tubercles; upper eyelid width 70.6-100.0 ($\bar{x} = 88.5 \pm 4.2$) % IOD in males, 68.4 - 94.4 ($\bar{x} = 86.6$) % in females; no cranial crests; tympanum small, round, upper edge concealed by indistinct supratympanic fold; tympanum length 31.6-40.0 ($\bar{x} = 35.4 \pm 1.0$) % eye length in males, 25.0-36.4 ($\bar{x} = 30.2$) % in four adult females (one juvenile female has a tympanum 16.7 % eye length); postriatal tubercles subconical in males, conical in females; series of subconical tubercles along edge of lower jaw; choanae oval (longer than wide) well median to palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, elevated, separated medially by distance equal $\frac{1}{2}$ width of odontophore, vomerine teeth in two small clumps (1-2 teeth per odontophore), $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{4}$ size of a choana; tongue much longer than broad, not notched posteriorly, posterior $\frac{1}{2}$ not adherent to floor of mouth; vocal slits short, posterolateral to tongue; vocal sac subgular.

Numerous flattened warts over dorsal surfaces and flanks, partially fusing to form folds in scapular region, males much less tuberculate than females; venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; no anal sheath; pair of subanal tubercles; 3 conical ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, twice size of oval thenar; numerous supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round; lateral fringes of fingers prominent, crenulate (dorsoventrally flattened conical warts); discs of fingers II-IV round to weakly emarginate, expanded; disc of thumb not expanded; no nuptial pads in males.

Conical tubercle on heel; 3-4 subconical tubercles along outer edge of tarsus, continuing along outside of plantar surface; inner edge of tarsus lacking tubercle or fold; inner metatarsal tubercle oval; outer metatarsal tubercle $\frac{1}{4}$ size of inner, round, elevated; supernumerary plantar tubercles in rows corresponding to metatarsals; all toes bearing expanded discs (smaller than those of

fingers); toes bearing lateral fringes, less crenulate than those of fingers (Fig. 20); tip of toe III to distal edge of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of toe V reaches $\frac{1}{2}$ to $\frac{2}{3}$ way between penultimate and distal subarticular tubercles of toe IV; heels touching when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 44.9-52.6 (\bar{x} = 49.7 \pm 0.8) % SVL in males, 47.6-55.2 (\bar{x} = 51.2) % in females.

Dorsal surfaces brown to reddish brown with slightly darker spotting; labial bars and supratympanic stripe darker; canthal stripe poorly developed, if present; limb bars narrower than interspaces, oblique on shank; anal triangle not prominent; venter brown to nearly black with diffuse marbling; throat bears darker V or Y shaped figure with slanted bars posterolateral to central figure; groin, anterior surfaces of thighs, concealed surfaces of shank and tarsus black with white spots; posterior surfaces of thighs (behind knee) black with or without minute white flecks.

If life, *E. phalarus* is olive-brown above with rusty-brown markings, dark brown to nearly black below with darker inverted triangle on throat (throat paler than rest of ventral surfaces); posterior surfaces of thighs olive; black field in groin and on underside of shank, bearing white to pale yellow spots (groin spot sometimes orange or yellow with orange center); iris chocolate brown.

Measurements of holotype in mm. SVL 19.1, shank 9.1, HW 7.6, head length 7.6, chord of head length 8.2, upper eyelid width 1.8, IOD 2.0, tympanum length 0.8, eye length 2.2, E-N 2.2.

Natural history. Nearly all specimens of this distinctive species have been found on leaves 1-2 meters above the forest floor in very dense cloud forests. A few individuals were found along the stream flowing south off Cerro El Inglés in 1997 (the stream is not densely forested although in the bottom of its canyon the humidity remains very high even during dry weather [such as the area experienced in July 1997]). Unlike *E. myops* and *E. quantus*, *E. phalarus* is prone to jumping when headlamps shine on them.

Referred specimens. Depto. Valle del Cauca, municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, Cerro El Inglés, 2400 m (UVC 9021-22, 9024).

Remarks. The UVC paratypes collected on Cerro El Inglés in 1986-87 are larger (males 17.0-17.6 mm, female 22.3 mm SVL) than the frogs I took at El Boquerón in 1995 and 1997 (males 15.2-16.7 mm, females 17.5-19.1 mm SVL). These two sites are within a linear kilo-

meter of one another and are at nearly the same elevation (I think the estimates of the height of Cerro El Inglés as 2500 m are too high). The samples currently available are too small about which to draw conclusions. At present, the samples do not permit an estimate of mean size in this species pending resolution of this apparent geographic or temporal variation in adult size.

In the collections of the ICN, there is a single specimen of what is surely the sister species of *E. phalarus*. This specimen (ICN 32052) is from the transect to the north (Risaralda, municipio Mistrató, Qda. Camaleon, 1560 m) and is an adult female 18.4 mm SVL. Unlike *E. phalarus*, this species lacks tubercles on the upper eyelid and has basal webbing of the fingers and toes.

***Eleutherodactylus quantus* sp. nov.** (Figs. 9, 21)

Holotype. ICN 29340, an adult female obtained 29 June 1991 by John D. Lynch.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca, Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, El Boquerón (límite con Depto. Chocó), 2100-2250 m.

Paratopotypes. ICN 29315, 29339 (males collected 24-29 June 1991 by J. D. Lynch and P. M. Ruiz).

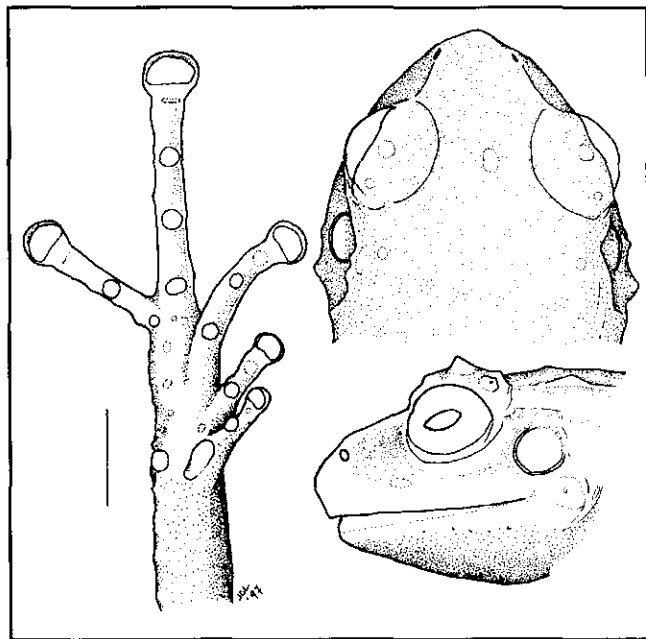


Figure 21. Dorsal and lateral views of head and plantar views of hand and foot of *Eleutherodactylus quantus* sp. nov. (ICN 39763). Scales equal 2 mm.

Paratypes. Colombia, Depto. Valle del Cauca, municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, 0.65 km below crest at El Boquerón, 2160 m (males ICN 39764-65, females ICN 39762-63), collected 25 July 1997 by J. D. Lynch; "Alto de Galápagos", 20.2 km NW La Carbonera, 2100 m (female ICN 29306) collected by J. D. Lynch 28 June 1991.

Etymology. Latin (*quantus*), meaning "How many?" in reference to my surprise at discovering yet another miniature species on the Serranía de los Paraguas.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum smooth with scattered subconical tubercles, that of venter areolate; dorsolateral folds not well defined; (2) tympanum prominent, round, 2/5 - 3/5 eye length; (3) snout subacuminate in dorsal view, angularly rounded in lateral profile, with papilla at tip; (4) conical tubercle on upper eyelid, another between eyes; no cranial crests; (5) no vomerine odontophores or teeth; (6) males with subgular vocal sac, no nuptial pad; (7) outer fingers bearing dilated discs; first finger much shorter than second; (8) fingers bear fleshy lateral fringes; (9) ulnar tubercles conical; (10) small subconical tubercles on heel and tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 4 times size conical outer; (12) toes with expanded discs, fleshy lateral fringes, no webbing; fifth toe long; (13) dorsum brown with darker markings (green in life); throat cream (yellow in life); white spot on posterior flank (yellow with red center in life); (14) adults minute, males 11.6-14.5 mm, females 14.4-16.7 mm SVL.

Most similar to *E. myops* from which it differs in having tubercles on the upper eyelids, the fifth toe free of webbing, and in having a yellow patch (in life) on the throat.

Description (proportions based on four males and nine females). Head not as wide as body, wider than long; HW 34.4-36.6 (\bar{x} = 35.8) % SVL in males, 32.4-39.6 (\bar{x} = 36.0 \pm 0.6) % in females; nostrils protuberant, directed dorsolaterally; snout subacuminate (with papilla at tip) in dorsal view, almost protruding in lateral profile; E-N 70.6-87.5 (\bar{x} = 80.6) % eye length in males, 77.3 - 96.4 (\bar{x} = 85.6 \pm 2.7) % in females; canthus rostralis concave; loreal region concave, sloping abruptly to lips; upper eyelid bearing one conical tubercle and others less prominent (Fig. 21), upper eyelid width 76.7-89.3 (\bar{x} = 82.2) % IOD in males, 79.4-100.0 (\bar{x} = 85.9 \pm 2.4) % in females; conical tubercle in interorbital space; no cranial crests; supratympanic fold obscure; tympanum large, round, directed slightly posteriorly; tympanum length 38.9- 60.0 (\bar{x} = 50.6) % eye length in males, 43.2-58.8 (\bar{x} = 52.1 \pm 1.7) % in females; tympanum narrowly separated from

eye; postictal tubercle subconical; subconical tubercles along lower margin of lower jaw; choanae round, well medial of palatal shelf of maxillary arch; no vomerine odontophores or teeth; only trace of odontophores is pair of slanted ridges posteromedial to choanae; tongue longer than wide, its posterior border not notched, posterior 3/5 not adherent to floor of mouth; vocal slits posterolateral to tongue; males with large subgular vocal sac.

Dorsum with scattered subconical tubercles; indefinite dorsolateral folds (series of flattened warts, partially fused, especially evident anteriorly); no anal sheath; pair of subconical subanal warts; skin of venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; 3-4 conical ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, much larger than oval thenar tubercle; numerous supernumerary palmar tubercles; basal subarticular tubercles round, distal ones bifid; fingers with large round discs and broad pads except for thumb; disc of thumb not expanded but pad fully developed; fingers bearing thick fleshy lateral fringes, rarely crenulate, and comparable fold along outside of palm; thumb shorter than second finger.

No median tubercles on distal shank; heel with small subconical tubercle; outer edge of tarsus bearing row of tubercles only slightly smaller than that on heel; inner edge of tarsus bearing small tubercles on distal portion; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, ca four times size of conical outer metatarsal tubercle; sole covered with low supernumerary tubercles; subarticular tubercles round; toes bearing fleshy lateral fringes and round discs; toe discs smaller than those of fingers; tip of toe III reaches to distal edge of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of toe V to base of distal subarticular tubercle of toe IV (Fig. 21); heels barely overlapping when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 49.6-54.7 (\bar{x} = 52.3) % SVL in males, 48.5-56.2 (\bar{x} = 51.8 \pm 0.8) % in females.

Dorsum pale brown with gray warts or pale brown with darker brown markings (canthal-supratympanic stripe, interorbital bar, dorsal chevrons); limb bars prominent; postaxillary blotch dark brown; white blotch on posterior flank; limb bars narrower than interspaces; anterior surfaces of thighs pale brown; posterior surfaces of thighs cream with brown reticulum; ventral surfaces cream with vague longitudinal stripes on throat and indefinite brown reticulum over venter (some individuals have venter heavily flecked with brown obscuring throat pattern).

In life, *E. quantus* is green and brown above with bright green interorbital bar (or spots on eyelids); chin

bears yellow (with some green tint) blotch in all females and some smaller individuals as well; venter black to brown with cream flecks; anterior surface of thigh red with yellow spot (sometimes a yellow spot on adjacent flank, larger, less well defined); iris pale gray with gray flecks; area below pupil is nearly white (J. D. Lynch fieldnotes, 28 June 1991).

Measurements of holotype in mm. SVL 15.9, shank 8.4, HW 5.8, head length 5.8, chord of head length 6.1, upper eyelid width 1.7, IOD 1.8, tympanum length 1.0, eye length 2.2, E-N 1.7.

Natural history. *Eleutherodactylus quantus* is microsympatric with the equally small *E. myops* and during fieldwork in 1997 the two species were mixed by collectors (the errors were evident during preparation of material). On amplexant pair was found in July 1997 (the male is 11.6 mm SVL, ICN 29339, amplexant with the holotype). The only apparent ecological separation is apparent contrasting the collections from El Boquerón and those from Los Galápagos. At the first site, *E. myops* is by far the more abundant species whereas at Los Galápagos, *E. quantus* is abundant while *E. myops* is rare. Juvenile females are 12.3-14.1 mm SVL.

Most of the specimens collected of this species (all but one of the series from Los Galápagos collected in 1991) are presently misplaced in the ICN collection, reducing my ability to completely describe the species and address variation.

Referred specimens (juveniles). Depto. Valle del Cauca, municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, 0.65 km below crest at El Boquerón, 2160 m (ICN 39766-70), 18.9 km del cementario El Cairo, 2060-2070 m (ICN 39771).

Remarks. The realization (in 1991) that there were two minute *Eleutherodactylus* in the Serranía de los Paraguas came as a surprise. That surprise has not diminished, especially because these two appear to be closely related. Until adequate material is available to examine *E. quantus* osteologically, I tentatively consider them each other's nearest relative, in spite of the fact that they are fully sympatric with one another. If there is another close ally of this pair of species in the Cordillera Central or Cordillera Occidental, it is not known to me.

***Eleutherodactylus ptochus* sp. nov.** (Fig. 10, 22)

Holotype. ICN 39780 (Ja 21101), an adult female, one of a series collected by Taran Grant, Paul Gutiérrez, and John D. Lynch 25 July 1997.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento Valle del Cauca, Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, El Boquerón (límite con Depto. Chocó), 2100-2200 m.

Paratopotypes. ICN 39782-806 (males), 39807-08 (females) collected with holotype.

Paratypes. Colombia, Depto. Chocó: 20.5-22.5 km del cementario de El Cairo, 2150-2200 m, ICN 39772 (female collected July 1995). Depto. Valle del Cauca: Cerro Inglés, UVC 9155, 9159-60 (males), 9156-57 (females) collected 26 Feb. 1986 by J. H. Restrepo.

Etymology. *Ptochos*, Greek, meaning a beggar; in reference to the absence of anything distinctive about it and hence my reluctance to become excited about naming it.

Diagnosis. (1) Skin of dorsum nearly smooth, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum small, 15-42 % eye length, poorly defined; (3) snout round in dorsal and lateral profiles, short; canthus rostralis rounded; (4) upper eyelid narrower than IOD, lacking conical tubercles; no cranial crests; (5) vomerine odontophores indistinct, slanted; (6) males with vocal slits, subgular vocal sac, white nuptial pads; (7) first finger shorter than second; thumb lacking disk, discs round on fingers II-IV; (8) no lateral fringes on fingers; (9) no ulnar tubercles; (10) no tubercles on heel or outer edge of tarsus; elongate tubercle on inner edge of tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, 6-8 times size of round outer; numerous supernumerary plantar tubercles; (12) toes with lateral fringes, no webbing; toe discs as large as those of fingers; fifth toe very long; (13) cream above with brown markings, including narrow and/or incomplete canthal stripe; venter cream, stippled with brown; concealed surfaces of limbs brown with cream flecks; (14) adults small, males 16.7-19.8 (\bar{x} = 18.5 ± 0.2, N = 29) mm, females 20.7-24.5 (\bar{x} = 22.6 ± 0.6, N = 6) mm SVL.

Eleutherodactylus ptochus is most similar to an assembly of lowland species (*E. frater*, *E. librarius*, *E. ockendeni*, *E. taeniatus*) and their presumed upland relatives (*E. incomptus*, *E. quaquaversus*) which lack a canthal stripe and have a distinctive facial markings (Lynch, 1980). However, in *E. ptochus*, the canthal stripe is present, albeit poorly developed (Fig. 22). Additionally, it differs from these other species in lacking conical tubercles on the heel and/or upper eyelid, in having a snout that is round in dorsal view, and in being smaller in size.

Description (proportions based on 28 males and 15 females, of which six are adults). Head as wide as body, wider than long; HW 35.4-38.9 ($\bar{x} = 37.0 \pm 0.2$) % SVL in males, 36.5-40.8 ($\bar{x} = 38.3 \pm 0.3$) % in females; snout round in dorsal and lateral views, short; E-N 69.2 - 91.7 ($\bar{x} = 74.4 \pm 0.9$) % eye length in males, 72.7-81.5 ($\bar{x} = 76.8 \pm 0.8$) % in females; nostrils not protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis rounded, concave; loreal region very slightly concave, sloping gradually to lips; lips not flared; upper eyelid bearing small flat tubercles; upper eyelid width 68.0-100.0 ($\bar{x} = 86.4 \pm 1.7$) % IOD in males, 69.2-100.0 ($\bar{x} = 84.5 \pm 2.3$) % in females; no cranial crests; supratympanic fold indistinct; tympanum obscure, lower part of annulus visible without desiccation; tympanum small, its length 23.1 - 41.7 ($\bar{x} = 29.3 \pm 0.7$) % eye length in males, 15.2-37.9 ($\bar{x} = 30.1 \pm 1.5$) % in females, higher than long, separated from eye by distance equal its length to 1 ½ times its length; postrictal tubercles low, indistinct; choanae small round, well medial of palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, very low, slanted (easily overlooked), bearing a clump of 2-4 teeth, separated medially by distance equal twice width of an odontophore; tongue longer than wide, its posterior border notched, posterior 2/5 not adherent to floor of mouth; males have vocal slits lateral to tongue; vocal sac subgular, extending onto breast.

Skin of dorsum smooth except for small, flat warts on lower back and minute tubercles corresponding to postocular folds (marked by pigment); upper surfaces of limbs bearing small low warts; anal opening not extended in sheath; no perianal tubercles; skin of venter areolate; discoidal folds well anterior to groin; arm slender; very indistinct tubercles along ventrolateral edge of forearm; palmar tubercle bifid, larger than oval thenar tubercle; supernumerary palmar tubercles numerous, low; subarticular tubercles round, nonconical; fingers lack lateral fringes or keels; all fingers with ventral pads; disk of thumb not expanded, those of fingers II-IV expanded, largest on fingers III-IV; first finger shorter than second; males with white nuptial pad.

Insignificant flat tubercle on heel with traces of similar tubercles along outer edge of tarsus; short fold-like tubercle on inner edge of tarsus; inner metatarsal tubercle 2 ½ times as long as wide; outer metatarsal tubercle round, nonconical 1/6-1/8 size of inner; numerous supernumerary plantar tubercles; subarticular tubercles round, nonconical; lateral fringes on inner edges of toes, no webbing; toe disks about size of those of fingers, round; tip of toe III reaches distal edge of penultimate

subarticular tubercle of toe IV, that of V reaches distal edge of distal subarticular tubercle of toe IV; heels touching when flexed hindlimbs held perpendicular to sagittal plane; shank 45.6-52.9 ($\bar{x} = 49.2 \pm 0.4$) % SVL in males, 46.8-54.3 ($\bar{x} = 49.7 \pm 0.6$) % in females.

Dorsum cream to brown above with pale brown to dark brown markings (occipital W, interorbital bar, sacral chevrons, suprainguinal spots, and flank bars); limb bars narrower than interspaces, oblique on shanks; subocular labial bars prominent, edged with white; supratympanic stripe dark brown; canthal stripe brown, varying from small blotch at anterior edge of eye to a thin complete canthal stripe (in some individuals, anterior labial stripe present and continuous with canthal stripe); ventral surfaces brown (pale to dark, corresponding to darkness of dorsal pigmentation); concealed surfaces of hindlimb and groin brown with cream flecks; anal triangle brown with indefinite cream line bordering it dorsally.

Some individuals have a thin cream middorsal line superimposed on the color pattern. Others have a pale interorbital bar just anterior to the dark interorbital bar.

In life, *E. ptochus* is tan, reddish-brown, or brown above with some nearly black markings as well as brown ones; ventral surfaces cream to grey; concealed limb surfaces same color as venter; iris yellowish (with metallic cast), with red horizontal streak and black reticulation.

Measurements of holotype in mm. SVL 23.5, shank 11.0, HW 8.6, head length 8.5, chord of head length 9.1, upper eyelid width 2.4, IOD 2.6, tympanum length 0.7, eye length 3.1, E-N 2.5.

Natural history. In July 1997, this species was very conspicuous at El Boquerón, sufficiently so that its *nom de recherche* in the field was "common". In previous years, the species was only rarely found at El Boquerón (1986, 1995) or not found at all (1991). What makes 1997 so unusual was that the habitat was abnormally dry. In 1997, most of the specimens of *E. ptochus* were found on a hillside forest away from any streams, a place that we did not investigate in 1991 or 1995. In 1997 we found a moderate number of *E. ptochus* along a stream slightly higher than the hillside forest. This stream is the actual type-locality for *Cochranella armata* and *E. myops* and was visited in 1991 (in quest of *C. armata*). In 1991, obviously we found no *E. ptochus* there and found very few *E. kelephus* whereas in 1997, each, especially the latter, was obvious along that stream.

Few hypotheses seem attractive to explain why a species should be abundant in a relatively dry facies during a dry epoch when discussing such a wet cloud forest as that of the Serranía de los Paraguas. That some species normally common should be uncommon during a drought cycle or in a drier microhabitat would be unremarkable. The only hypothesis that seems available is that *E. ptochus* is normally a species of the canopy that moved to nearer the forest floor during a period of exceptionally dry weather. This hypothesis could be tested readily by returning to the Paraguas during "normal" weather and contrasting collections made at ground level with those made in the canopy.

Juvenile males are 13.6-14.5 mm SVL whereas juvenile females are 12.5-20.8 mm SVL. The few young females (showing some traces of convolutions of the oviducts) are 20.0-21.3 mm SVL.

Remarks. Lynch (1980) reported *E. taeniatus* from not only the lowlands of northwestern Colombia but also from highland areas in the northern parts of the western cordilleras. Aside from some size differences (montane frogs are larger than those from the lowlands), he could not and did not distinguish what are certainly distinct species. Collecting over the past decade has revealed that there is a suite of small drab frogs distributed over much of the wetter parts of northern Colombia. A few of these can be distinguished based on color patterns but the majority are phenetically similar (at least in preservative). *Eleutherodactylus ptochus* is somewhat surprising because it is so small, in spite of being a species from comparatively high altitudes.

Referred specimens (juveniles): Depto. Chocó: 20.5-22.5 km del cementario de El Cairo, 2080-2200 m (ICN 39773-79, 39826-27). Depto. Valle del Cauca: El Cairo, Las Amarillas, 19.6 km del cementario de El Cairo, 2110-2130 m (ICN 39781, 39709-21), 19.85 km del cementario de El Cairo, 2140-2150 m (ICN 39822-25).

The last species described here is arguably a species of the lowlands that also occurs in the lower edge of the cloud forest rather than a species of the cloud forests. It has had a checkered history because some of the specimens were confused with *E. cruentus* by me in earlier papers.

***Eleutherodactylus sanguineus* sp. nov.** (Figs. 11, 23-24)

Eleutherodactylus cruentus (part): Lynch et. al. 1994:10-11, 39.

Holotype. ICNMHN 37833, an adult female from a series collected by J. Vicente Rueda & Fabio Quevedo, 29 February 1992.

Type-locality. COLOMBIA, Departamento del Antioquia, Municipio de Frontino, 0.9-1.9 km N La Blanquita (Murri), ca 800 m.s.n.m.

Paratopotypes. Males (ICN 37837-41, 37847-51), females (ICNMHN 37834, 37843), collected with holotype.

Paratypes. Colombia, Depto. Antioquia, municipio de Dabeiba, campamento Ingeominas "Pantanos", río Amparradó, 805 m, cols. J. M. Renjifo y V. Corredor, sept. 9-12 de 1981, males (ICNMNH 10565-67, 10569-

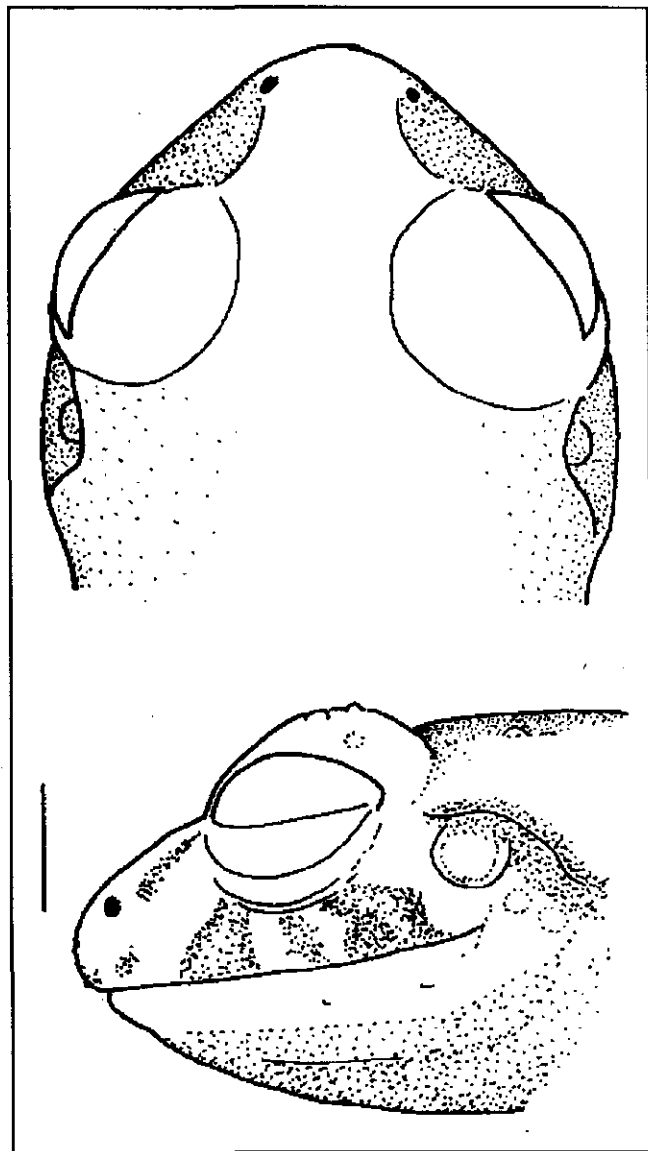


Figure 22. Dorsal and lateral views of head of *Eleutherodactylus ptochus* sp. nov. (ICN 39807). Scale equals 2 mm.

71, 10613, 10619, 34863), females (ICNMHN 10582, 10635, 10639); municipio de Frontino, Km. 21, carretera Nutibara a La Blanquita, 1500 m, cols. P. M. Ruiz y J. V. Rueda, julio 18-19 de 1987, males (ICNMHN 16644-45); Km. 23, carr. Nutibara-La Blanquita, 1460 m, cols. J. V. Rueda et. al., 29 feb de 1992, male (ICNMHN 37852); Km. 27, carr. Nutibara-La Blanquita, 1140 m, cols. Ruiz y Rueda, julio 19-23 de 1987, males (ICNMHN 16649, 16873, 16875), females (ICNMHN 16665, 16668), misma localidad, 1080 m, cols. J. V. Rueda y F. Quemado, marzo 2, 1992, females (ICNMHN 37854-55, 37857); 2.5 km NE La Blanquita, cols. Rueda y Quemado, febrero 27 de 1992, 800 m., males (ICNMHN 37829-32), female (ICNMHN 37827); Parque Natural Nacional Las Orquídeas, vereda Venados, Qda. Alto Bonito, 820-890 m., cols. M. C. Ardila y P. M. Ruiz, mayo 31 de 1988, macho (ICNMHN 19361); Qda. Arenales, 950 m., col. M. C. Ardila, mayo 30 de 1988, male (ICNMHN 19333); Qda. El Retiro, 850-950 m., cols. J. D. Lynch, R. Sánchez, O. Sánchez, mayo 31 de 1988, machos (ICNMHN 19336, 19338, 19341), female (ICNMHN 19335); Qda. La Miqera, 1030-1060 m., cols. J. D. Lynch, P. M. Ruiz, y O. Sánchez, mayo 29-30 de 1988, males (ICNMHN 19316, 19326). Depto. **Chocó**, municipio Bajo Baudó, Pizarro y Delta 13, female (UVC 12876), col. V. Rojas, 23-28 Aug. 1996; municipio Carmen del Atrato, Km. 23, carr. Carmen del Atrato a Quibdó, 1030 m., cols. M. C. Ardila, P. M. Ruiz, y R. Sánchez, agosto 25 de 1987, female (ICNMHN 17036); Km. 44, carr. Carmen del Atrato-Quibdó, 630 m., cols. Ardila, Ruiz y Sánchez, agosto 22 de 1987, male (ICNMHN 17143). Depto. **Risaralda**, municipio Mistrató, Inspección de Policía Jeguadas, 1280-1320 m., junio 27 de 1992, male (ICNMHN 31964); camino a Puerto de Oro y camino a Río Currumay, 1280-1300 m., cols. M. C. Ardila et. al., junio 26-27 de 1992, males (ICNMHN 31956-57), females (ICNMHN 31934-35, 31938, 31940-45, 31947); municipio Pueblorica, vereda Borrato, Qda. Borrato, Km. 14, carr. Pueblorica a Santa Cecilia, 950 m., col. agosto 22 de 1987, male (ICNMHN 17143).

Diagnosis. (1) skin of dorsum very fine shagreen, that of venter areolate; no dorsolateral folds; (2) tympanum prominent, its length 1/5 to 1/3 eye length; (3) snout subacuminate in dorsal view, rounded in lateral profile; canthus rostralis straight; (4) upper eyelid bearing one subconical tubercle, broader than IOD; no cranial crests; (5) vomerine odontophores prominent; (6) males lack vocal slits, have nuptial pads; (7) first finger shorter than second; discs expanded, round on fingers II-IV; (8) fingers bearing lateral fringes; (9) ulnar tubercles small, forming series; (10) small, nonconical tubercle on heel;

no outer tarsal tubercles; short fold on inner edge tarsus; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, ca 4 times size of round outer; few supernumerary plantar tubercles; (12) toes with thin lateral keels, no webbing; discs round, smaller than those of outer fingers; toe V very long; (13) dorsum tan, cream, or pale brown with darker mottling (green in life with brown markings), venter cream with dense brown stippling; pale spots on posterior flanks of males (yellow in life), lower flanks and posterior surfaces of thighs black with white flecks (yellow in life) in females; (14) adults moderate - sized, males 16.9 - 24.0 (\bar{x} = 20.9 + 0.2, N = 49) mm, females 29.1-35.2 (\bar{x} = 32.8 + 0.3, N = 30) mm SVL.

Most similar to *E. cruentus* and *E. latidiscus*. Unlike the former, *E. sanguineus* has the tympanum readily visible in adults of each sex and is a smaller frog. Unlike *E. latidiscus*, *E. sanguineus* lacks outer tarsal tubercles and is a smaller frog.

Description (proportions based on 16 males and 16 females). Head broader than body in males and juveniles, narrower than body in adult females; HW 37.4-42.2 (\bar{x} = 39.0 + 0.3) % SVL in males, 37.8-42.2 (\bar{x} = 40.8 + 0.3) % in females; snout subacuminate (or acuminate) in dorsal view, rounded in lateral profile; E-N 80.5-96.6 (\bar{x} = 88.5 + 1.2) % eye length in males, 90.0-107.1 (\bar{x} = 98.7 + 1.2) % in females; nostrils weakly protuberant, directed laterally; canthus rostralis obvious, edge rounded, straight; loreal region slightly concave, sloping abruptly to lips; lips not flared; upper eyelid width 95.2 - 133.3 (\bar{x} = 108.9 + 3.0) % IOD in males, 76.5-109.4 (\bar{x} = 98.4 + 2.2) % in females; upper eyelid bearing subconical tubercle in posterolateral quarter (Fig. 23); no cranial crests; tympanum round in males, slightly higher than long in females, annulus thin, its length 21.9-35.7 (\bar{x} = 28.3 + 1.0) % eye length in males, 21.7-35.7 (\bar{x} = 29.0 + 0.8) % in females, separated from eye by distance equal 1 1/2 - 2 times diameter of tympanum; postrectal tubercles subconical; choanae round, not concealed by palatal shelf of maxillary arch when roof of mouth is viewed from directly above; vomerine odontophores median and posterior to choanae, triangular in outline, each about size of a choana, bearing a transverse row of 5-6 teeth, separated medially by distance equal 1/2 odontophore width; tongue longer than wide, its posterior border lacking notch, posterior 2/5 not adherent to floor of mouth; males lack vocal slits and sac.

Skin of dorsum very fine shagreen (appears smooth) with low postocular ridges; flanks bearing granules; skin of venter areolate; discoidal folds well antieriad to groin;

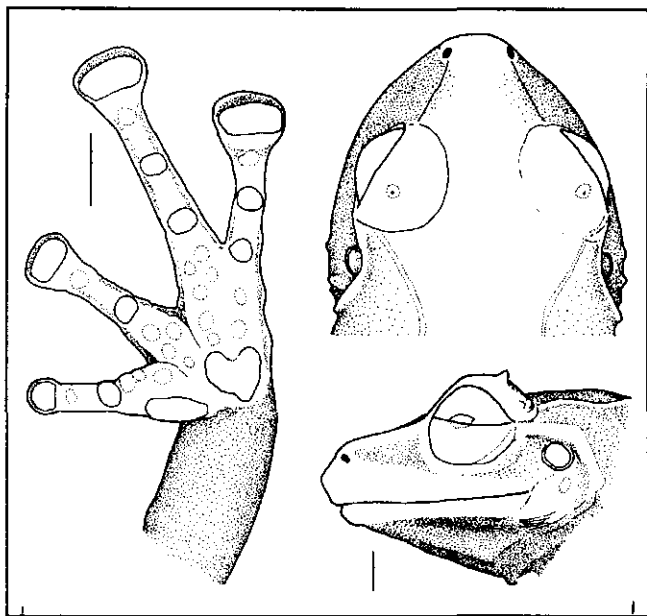


Figure 23. Dorsal and lateral views of head (ICN 16765) and palmar view of hand (ICN 17036) of *Eleutherodactylus sanguineus* sp. nov. Scales equal 2 mm.

no anal sheath; perianal tubercles small; series of four nonconical small ulnar tubercles; palmar tubercle bifid, twice size of oval thenar tubercle; numerous, low supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round, nonconical; fingers long, slender, bearing prominent lateral fringes (Fig. 23); discs round, that of first finger scarcely expanded; pads broader than long; first finger reaches to base of disc of second when each is appressed equally; males with white nuptial pads.

Round or subconical tubercle on heel; short, disconnected fold on distal 1/3 of tarsus; no outer tarsal tubercles; inner metatarsal tubercle 2 1/2 times as long as broad, about 4 times size of round outer metatarsal tubercle; supernumerary plantar tubercles at bases of toes; subarticular tubercles round, nonconical; toes bearing thin lateral keels, no webbing, toe discs round, smaller than those of outer fingers; tip of toe III reaches to distal border of penultimate subarticular tubercle of toe IV, that of toe V reaches to middle or distal border of distal subarticular tubercle of toe IV; heels overlapping when flexed hind limbs are held perpendicular to sagittal plane; shank 51.7-60.7 ($\bar{x} = 55.3 + 0.3$) % SVL in males, 51.3-57.4 ($\bar{x} = 54.9 + 0.5$) % in females.

Dorsum brown with indistinct paler markings and cream lines along canthus rostralis and postocular folds

(and polymorphic, see below); canthal-supratympanic stripe dark brown; labial bars brown; flanks heavily pigmented; limb bars brown, perpendicular, about as broad as pale brown interspaces; venter cream with fine brown stipple, most dense on undersides of legs and throat; in males, often with a brown half-moon mark at anterior edge of lower jaw; in males, pale spots (size of disc of finger II or larger) on posterior flank, posterior surfaces of thighs brown with cream spots (larger than those of females, smaller than those of groin); in females, concealed surfaces of hindlimb black with minute white spots.

Eleutherodactylus sanguineus exhibits color pattern polymorphisms based on the presence/absence of pale (lacking pigment in alcohol) interocular bands, an anal patch, a heel patch, and a pale blotch on the lower back (edges ill-defined). Most individuals (64.3%) lack these pale areas and have a pattern of ill-defined darker markings over the dorsum. However, 23.1 % exhibit a morph (A1) in which pale areas are seen on the back, heel, and rump (Fig. 24A). In life, these pale areas are cream or pale brown. Another morph (B, Fig. 24B) has a pale interocular bar bordered anteriorly by a dark brown or black bar. In life the pale bar is canela or pale brown.

In life, *E. sanguineus* is usually olive green or dark olive green above and less commonly brown with cream or green sacral spots; lower flanks and concealed surfaces of hindlimbs black with white flecks in females; lemon yellow spots in groin of males; throat and venter cream with dense brown stippling; iris bright copper or red with black reticulum; some females, perhaps in better light, were described as having the upper half of the iris orange or burnt orange, the lower half bronze or grey, with black reticulations and a brown horizontal streak.

Measurements of holotype in mm. SVL 31.4, shank 16.5, HW 12.5, head length 13.2, chord of head length 13.6, upper eyelid width 3.2, IOD 3.5, tympanum length 1.4, eye length 4.5, E-N 4.2.

Natural history. Juvenile males are 15.6-17.2 mm SVL whereas juvenile females are 17.4-28.4 mm SVL. The presence of juveniles in most samples suggests that reproduction is a seasonal. Young females, perhaps including some nearly ready to breed, are 26.9-29.0 mm SVL.

Referred specimens (juveniles). Depto. Antioquia, Dabeiba, campamento Ingeominas "Pantanos", río Amparradó, 805 m (ICNMHN 10568, 10572, 10580, 10583, 10612, 10614, 10616-17, 10620, 13872); Frontino, Km. 23, carr. Nutibara-La Blanquita, 1430-1460 m

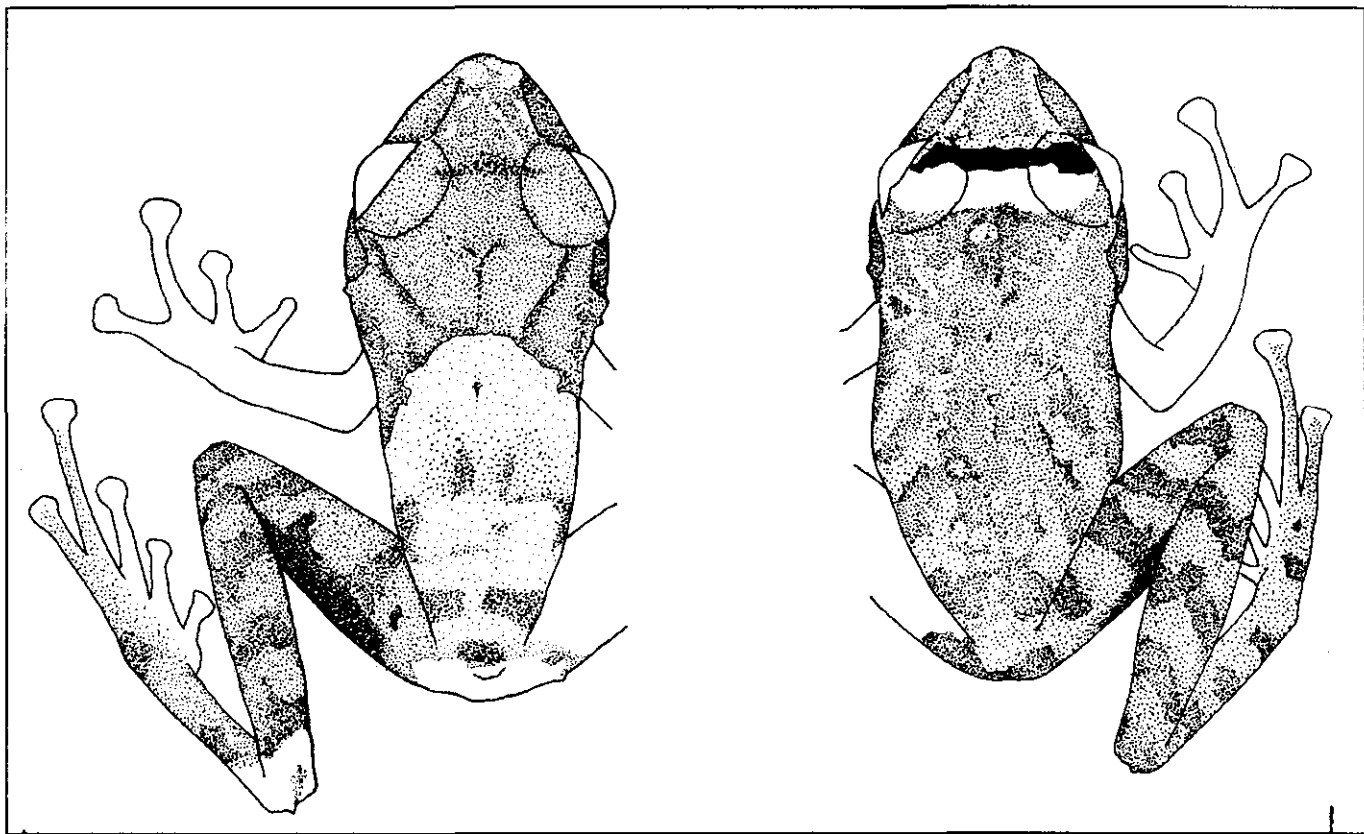


Figure 24. Dorsal pattern morphs of *Eleutherodactylus sanguineus* sp. nov. A (ICN 31982); B (ICN 31988).

(ICNMHN 16635-36, 37853), Km. 27, carr. Nutibara-La Blanquita, 1080-1140 m (ICNMHN 16650, 16766-67, 16769, 37856), carr. Nutibara-La Blanquita (ICNMHN 37858-62); 0.9-1.9 km N La Blanquita (ICNMHN 37835-36, 37844-86), 2.5 km NE La Blanquita, 800 m (ICNMHN 37858); Parque Natural Nacional Las Orquídeas, vereda Venados, Qda. El Retiro, 850-950 m (ICNMHN 19349-50, 19356-59), Qda. La Miquera, 1030-1060 m (ICNMHN 19319, 19321, 19327). Depto. **Risaralda**, Mistrató, Inspección de Policía Jeguadas, camino a Río Currumay, 1280-1300 m (ICNMHN 31742, 31952); Pueblorico, Km. 5, carr. Pueblorico-Villa Claret, 1450 m (ICNMHN 17137). Depto. **Valle del Cauca**, Buenaventura, Bahía de Málaga, Fuente de Materiales, Base Naval del Pacífico (UVC 8922, 8930).

Distribution. The occurrences of *E. sanguineus* along the Pacific coast was initially a surprise to me but matches, more or less, the pattern of distribution of *E. zygodactylus*, a larger less easily overlooked frog (Lynch & Ardila-R., 1993). These two species present a distri-

butional pattern quite unlike those of other species in the Pacific lowlands, one in which the frogs appear to cling to some upland areas and to avoid the lowlands associated with the Atrato and San Juan rivers. Such a pattern of distribution in frogs suggests a once wider distribution now fragmented by climatic shifts (a vicariance, not dispersalist, explanation).

Discussion

With these descriptions, I think I have identified all of the species of *Eleutherodactylus* of the Cordillera Occidental (minimally, I have put names on all of the undescribed species known to me over the past decade of collecting, although a few are represented by manuscript names or by inadequate material). It is appropriate to summarize the distributions of these taxa and to update and expand the table published by Ruiz-C et. al. (1997). Although there is obviously some arbitrariness in assigning species to "lowlands" or uplands (for example, *E. anatis* and *E. sanguineus*), I have long thought of these species as denizens of either the low-

Tabla 3. Distribuciones altitudinales y geográficas de las 76 especies del género *Eleutherodactylus* de las vertientes occidentales de la Cordillera Occidental y Macizo del Pasto. En cada célula (especie por transecto), se encuentran los límites de altitudes de sitios. Una estrella se indica que no hay registros pero se presume que la especie está en el transecto.

Species	La Planada	Munchique	Farallones	Calima	Paraguas	Risaralda	Carmen	Urrao	Murri	Antadó
acatallus		2190-2610	2600	*	2100-2250	2430				
B					1850-1860	1540-1880	*	1410-2170	1430-1960	
aemulatus								1410-1430		
albericoi					950					
anatipes	1200-1600	800-1240	800-1100							
angustilineatus			1900	*	1850-2100	1700-2300				
apiculatus	1780									
appendiculatus	2000									
aurantiguttatus					1490-1510	*	*	1410-1540	1000-1900	1500
babax	1600-1780	1200-1500	1750-2100	*	1900-2250	1600	*	*	1900-1940	1500
baiois								1780-1870	1960	
bellona								1400-1870	1100-2000	
boulengeri		2520-2740	*	*	*	*	*	2430-2490		
brevifrons		2190-2610	1650-2100	*	1900-2250	1400-2430	*	1770-1870	1140-2000	
buckleyi	3230	3050								
cabrerae								1770-1870	1140-1940	
cacao		2190-2600								
cadena									1900	
calcaratus			1750-2100							
calcarulatus	?									
capitonis		2440-2800	2600							
celator	1780-2600									
cerastes	*	1000-1580	1750-2000	1590	1900-2250	1700-1950	*	1480-1870	1430-1900	
cheiroplethrus					1410-1450	1380	*	1290-1540	800-1460	1500
chrysops			1900-1950	900	2100-2130					
colomai	1055-1120									
degener	1020-1400									
deinops			1750-2600	*	1900-2250					
diaphonus				1180-1250						
diogenes		1470-1600								
duellmani	1780	2190								
eremitus	1780									
erythropleura		1150-1600	1750-2100	1230-1650	1410-2100	980-2470	1610-1800	1770-2430	1140-2000	
gracilis			1750-1900	*	1775-2100	1700-2470	1790	2390-2740	1430-1940	
hectus	1780	1990								
illotus	*	1580	1230							
jaimi		1150-1580								
johannesdei						1600	*	1410-1540	1700	1500
juanchoi		1580	1750-2000	1600	1775	1800				
kelephus					1900-2250					
lasalleorum								3700-3850		
laticlavus	1780									
leoni	2600									
loustes	1200									
mantipus		1000	1750-2000	1580	2200-2400	1950	*	*	1500	
mars						1760-1790				
molybrignus		1600-2350	1100-1800	1230	1900	1180-1850				
myops					2100-2250	*	*	*	1500	
necerus	?									
ocellatus	1780	1050-1580								
orpacobates			1230-2000	1230-1590	1775	1180-1850	700	1400-1870	800-2000	1500
palmeri		1050-2200	1750-2100	1590	1775-2100	980-2470	1830-2200			
phalarus					2250					
platychilus		1580-2190	1750-2600	*	*	*	*	*	1900-2000	
polychrus					1490-1510	*	*	1410-1540	1140-1430	
ptochus					2100-2200					
quantus					2100-2250					
quinquagesimus	1780-2600									
restrepoi					1850-2250	1810-1880	1790	*	1960-2000	
ruedai					1850-1860	1500-1600	1610-1800	1410-1870	1000-1900	

Véase continuación en próxima página

Species	La Planada	Munchique	Farallones	Calima	Paraguas	Risaralda	Carmen	Urrao	Murri	Antadó
ruizi			1900	1590						
sanguineus						950-1450	630-1030	820-950	800-1500	
satagijs								3300-3850		
scolodiscus	1780									
signifer					1850-1860					
silverstonei			1900-2100	*	1900-2250					
siopelus	1780									
sulculus	1780									
theclopternus		1600-2520	1750-2100	1580-1600	2120-2200	1720-1800	2030-2200			
unistrigatus	3230									
verecundus	1780									
viridicans		2000-2610	2600							
viridis								1480-1870	1460-1960	1500
w-nigrum	1780	1300-1800	1750-1900	1230	1410-2100	1500-2430	1610-2000	1400-2400	900-2000	1500
xestus					4050					
xylochobates					2100-2250					
Observed	22	25	24	12	32	21	9	21	23	7
Predicted	26	25	25	21	34	26	21	26		

Tabla 4. Distribuciones de las 26 especies de *Eleutherodactylus* en las tierras bajas del Pacífico colombiano en nueve transectos. En cada célula (especie por transecto), se encuentran los límites de altitudes de sitios. Una estrella se indica que no hay registros pero se presume que la especie está en este transecto.

Species	La Planada	Munchique	Farallones	Calima	Paraguas	Risaralda	Carmen	Urrao	Murri
achatinus	100-1780	100-1580	100-1200	10-200	80-950	90-1480	*	40-1060	420-1430
anomalus	100	100-800	10-1180	10-500	80-950	200-590	45-700	2--80	420
biporcatus		100	10-640	10-460	*	*	150	20-1060	805
bufoniformis		100	75-900	460	*	1200-1780	700	20-1060	805-950
caprifer	*	100-200	300-1230	460-940					
caryophyllaceus								50-1060	805
chalcus	1780	100-1580	300-1230	10-460	940-960	900-1480	700-1790	50-1870	1000-1900
fitzingeri			300	10--30	10-370	200-590	45-700	2-1070	100-900
gaigei			500	10	*	200	*	*	805
gularis	400-600	100-200	10--80	10-500	10	*	*	50-1060	
hybotragus			300-920	10-460					
labiosus	1055	800	300	30-460	300-500				
latidiscus	650	100-800	720-920	10-460	10-950	590	*	2	805
longirostris	100-1360	100-200	10-300	10-940	80-960	90-1280	45	2-460	400-805
moro			10	*	*	*	*	*	*
ornatissimus	?								
parvillus	650-1360								
Q				30	*	95	*	2-1070	200-400
raniformis		100	1-1230	10	80-1050	90-1510	630-700	40-1430	350-805
ridens			10	10-940	10-110	100-590	45	2-1060	*
rosadoi	*	200							
roseus			10-900	10-200	10-600	90-590	*	50	
subsigillatus	*	100-200							
taeniatus				10	100	*	*	50-1070	200-400
T			80-640	10-500	10	95	45	950-1870	800-805
zygodactylus			300-1180	460-940	600-950	230-1490	420-1030	850-1060	800-1140
Observed	8	13	19	20	14	14	10	17	15
Predicted	12	13	19	21	19	18	18	19	17

lands (below 1000 m) or uplands. Such species as *E. chalceus* initially posed considerable difficulty (ranging from sea level to nearly 2000 m) but even that species appears to be a lowland one that invades cloud forests (Lynch & Duellman, 1997).

The plan of collections initiated by Pedro M. Ruiz and me nearly 20 yr ago proposed a series of transects over the three cordilleras as a means of efficiently documenting the rich frog fauna (chiefly centrolenids and *Eleutherodactylus*) of the cloud forests of Colombia. We then reasoned that the lowlands were sufficiently collected but that the cloud forests had scarcely been sampled. For the Cordillera Occidental, nine transects were identified and collected (1980-1995). A tenth transect remains planned and the only collection available for it was obtained by the late Marco Antonio Serna.

Ruiz et al. (1997) described five transects (Murri [approx. 6°45' N], Urrao [approx. 6 25' - 6 30' N], Carmen del Atrato [approx. 5°40' - 5°50' N], Risaralda [approx. 5°15' - 5°20' N], and Paraguas [approx. 4°50' - 4°55' N]). The remaining four are as follows:

Calima: municipios Yotoco, Restrepo, Darién, Buenaventura (Valle del Cauca). Beginning on the crest of the Cordillera Occidental at the Reserve Forestal de Yotoco (Km. 18, Buga-Loboguerrero), 1590 m and proceeding west along the Río Calima. The westernmost site is Bahía de Málaga. [Much of the distributional detail of this transect is reported in Lynch (1998)]. Ca 4° N. 10-1590 m.s.n.m.

Farallones: municipio de Cali, La Cumbre, Dagua, Buenaventura (Valle del Cauca). Beginning on the east face of the Faralones de Cali, crossing the crest of the cordillera and extending toward the Pacific coast along the old road from Cali to Buenaventura. [Much of the distributional detail of this transect is reported in Lynch (1998)]. Ca. 3°20' N - 3°40' N. 10-2700 m.s.n.m.

Munchique: municipio El Tambo (Cauca). Beginning on the crest of the Cordillera Occidental NNW of Uribe and at Cerro Munchique and proceeding west down the western flanks of the cordillera. Collecting below 1500 m has proven very difficult in recent years and the lower portion of the transect remains to be collected seriously. Ca. 2°30' N - 2°40' N. 1300-3200 m.s.n.m.

La Planada: municipios El Espino, Barbacoas, Ricaurte, Tumaco (Nariño). Western flanks of the the macizo de Pasto along the road to Tumaco. The most extensive collections come from the Reserva La Planada

and were reported by Lynch & Burrowes (1990). Other collections were made by PMR in 1982 and 1995. Ca. 1°05' N - 1°20' N. 650-3230 m.s.n.m.

The expected (see below) eleutherodactyline frog faunas of each transect (upland + lowland species) and the observed/ expected totals for the nine transects are as follows:

Murri	(23 + 17)	38/40
Urrao	(26 + 19)	38/45
Carmen	(21 + 18)	19/39
Risaralda	(26 + 18)	35/44
Paraguas	(34 + 19)	46/53
Calima	(21 + 21)	32/42
Farallones	(25 + 19)	43/44
Munchique	(25 + 13)	38/38
La Planada	(26 + 12)	30/38

These figures announce an eleutherodactyline fauna of unparalleled proportions and provide easy comparison with the data reported by Lynch & Duellman (1997) for the rich fauna of western Ecuador which represents the southern component of this chocean fauna.

The distributions of 76 species of *Eleutherodactylus* found (or expected) in the cloud forests of western Colombia are summarized in Table 3. Each of the ten transects harbors between seven and 32 species of *Eleutherodactylus*. These data do not include any of the lowland species, which may be distributed to considerable altitudes (see Table 4). Nevertheless, these data demonstrate that *Eleutherodactylus* in the cloud forests in western Colombia depart from the general pattern reported by Duellman (1988). I think two of the transects are poorly collected. The Antadó transect remains to be thoroughly sampled and the data for seven species collected by the late Marco Antonio Serna at one site represent almost all the available data (some data are available for the adjacent lowlands). The Carmen del Atrato transect (nine species) appears incomplete as well (several expected species were not taken). Ignoring the Antadó records, there are 227 species-transect cells in Table 3 of which 83% have vouchers. The 38 "missing records" represent 19 species of which two (*E. boulengeri* and *E. platyichilus*) account for 10 missing records (five each). Nine missing records occur on the Calima transect and twelve occur on the Carmen del Atrato transect.

Using the density of asterisks ("missing species"), the several transects can be evaluated for completeness.

Seven either lack missing species or lack only one to four species whereas two transects have "high" levels of missing species (Calima and Carmen del Atrato). For the Calima transect, it appears that the sampling efforts accumulated only 57% of the fauna (and see below) whereas the Camen del Atrato sample obtained only 43%. Most well-sampled transects harbor about 21-25 species but the Serranía de los Paraguas is exceptional (32 species + two species apparently missed by collectors) and part of its richness is explained by the high number of endemics found there (eight). No other transect has so many endemics (the apparent richness of La Planada is misleading because nearly all of the species also occur in Ecuador [only *E. siopelus* and *E. sulculus* are endemic to that transect]; twelve listed only for that transect also occur in Ecuador [Lynch & Duellman, 1997]). Twenty-three species are distributed south into Ecuador (Lynch & Duellman, 1997) whereas none of these species range north into Central America (unlike the lowlands fauna). The two northern transects have very limited use in calculating their own expected (predicted) faunas. For the remaining eight transects, the expected faunas range from 21 to 34 species with documentation (voucher) values of 43-100% (mean 80%). Three transects appear very well sampled (Paraguas, Farallones, and Munchique).

Under the reasonable assumption that distibutional areas ought to be contiguous if the habitat is available, our initial surveys have missed only 38 records (asterisks in Table 3). Some of these no doubt reflect our failure to sample higher on the transect (Calima, where we sampled only to 1590 m) whereas others reflect the rarity of particular species (*E. babax*, *E. cerastes*, and *E. platytilus* are seldom common animals and hence relatively easily overlooked or missed during brief inventory visits). Yet another explanation for missing records would be distributional discontinuities but to date there is little evidence of these for the Cordillera Occidental (although some of these species apparently have distributional disjuncts on the Cordillera Central [Ruiz-C. et al., 1996, 1997]). I have no idea of how complete the distributional ranges might be (the absence of a record on the transect to the north or south might reflect only the edge of a species' distribution). In only a few cases is there some evidence from systematics that lends support to the idea that the edge is real (i.e., the presence of a sister species in the adjacent transect [Lynch, 1992; Lynch & Ruiz, 1996]). Nineteen species (26%, which might appear high or low) are known from single transects. In the cases of *E. lasalleorum*, *E. satagijs*, and *E. xestus*, species from high altitudes, this probably merely reflects the geographic fragmentation of páramo habitats in the Cordillera Occi-

dental whereas in the cases of *E. albericoi*, *E. diaphonus*, and *E. diogenes* as well as *E. cacao*, *E. jaimiei*, and *E. mars*, it may reflect very local distributions among species of particular *Rassenkreisen* and the expected consequences of vicariant speciation (Lynch, 1989), and in the case of the eight endemics on the Serranía de los Paraguas, some sort of center of speciation.

The Pacific lowlands of Colombia (biogeographic chocó) are more famous as a center of biodiversity (reflecting the avian and/or lowlands biases of most biologists) and harbor a rich eleutherodactyline frog fauna (Table 4). Its eleutherodactyline fauna has been the subject of two now-dated analyses (Lynch, 1980; Lynch & Myers, 1983). Of the 26 species known (or expected) in the biogeographic chocó of Colombia, none is restricted to a single transect in contrast to the situation on the western slopes. Such an observation suggests that collecting has been adequate to sample the lowland fauna and also suggests that species from the lowlands tend to have larger distributions than do species from the cloud forests (Peters, 1973). Nevertheless, some lowlands species (*E. hybotragus*, perhaps *E. roseus*) are notable for their small distribution areas and contrast sharply with the distributions of a few highland species (*E. babax*, *E. cerastes*, *E. erythropleura*, *E. w-nigrum*).

Of the 26 species known or expected in the lowlands of western Colombia, two (*E. achatinus*, *E. longirostris*) are wide-ranging (Panama to Ecuador) whereas ten (*E. biporcatus*, *bufoniformis*, *caryophyllaceus*, *fitzingeri*, *gaigei*, *moro*, *Q*, *raniformis*, *ridens*, and *taeniatus* occur in Colombia and lower Central America (at least Panama, a few as far north as eastern Honduras). Six of these "Central American" taxa occur as far south only as Valle del Cauca whereas three are known into western Cauca. Ten other species (*E. anomalus*, *caprifer*, *chalceus*, *gularis*, *labiosus*, *latidiscus*, *ornatissimus*, *parvillus*, *rosadoi*, and *subsigillatus*) are species of Colombia and Ecuador. Their northern limits are varied (two into Nariño, two others into Cauca, two others to the Rio San Juan, and four into the northern part of the Colombian Chocó). Only four species (*E. hybotragus*, *roseus*, *T*, and *zygodactylus*) are endemic but their distributional limits correspond with others mentioned above (Valle del Cauca and the northern part of the Colombia Chocó).

These ranges of distributions over the nine transects generate 155 species-transect cells (Table 4) for which 130 (84%) have vouchers. The "missing species" (25 cells for 15 different species) include eight for one transect (Carmen del Atrato) and nine shared by the two transects to the south. Two generally rare species (*E. gaigei* and *E. moro*) account for nine missing species cells. The richest

and best studied transect (Calima) even has one missing species. The nine transects have between 56 and 100% of their expected eleutherodactyline faunas as vouchers.

These two data sets (lowlands and cloud forests) are comparable in terms of the efficiency of sampling, which, frankly, was initially a surprise to me. My colleagues, María Crisitina Ardila and Pedro M. Ruiz, and I have spent relatively little time in the western lowlands of Colombia whereas we have devoted many enjoyable nights documenting the diversity of frogs in the cloud forests. However, the western lowlands have been collected by many biologists over the past century whereas the cloud forests have only recently come under close scrutiny.

Acknowledgments

Access to collections was provided with every courtesy by Fernando Castro, William E. Duellman, W. Ronald Heyer, Arnold Kluge, Charles W. Myers, Ronn Nussbaum, the late Hmo. Marco Antonio Serna, Harold Voris, Ernest E. Williams, John Wright, and Hmo. Luis Zamudio. For assistance and companionship in the field, I thank María Cristina Ardila, Umberto Carvajal, Fernando Castro, Taran (Pedro) Grant, Paul Gutiérrez, Jorge Restrepo, Pedro M. Ruiz, Ricardo Sánchez, and Erik Wild. Lastly, I thank Kraig Adler and the late Charles F. Walker for firing my interests in the eleutherodactyline fauna of western Colombia by inviting me to study Adler's 1965 collections.

Literature cited

- Cochran, D. M. & C. J. Goin. 1970. Frogs of Colombia. U. S. National Museum, Bull. (288):1-655.
- Duellman, W. E. 1988. Patterns of species diversity in anuran amphibians in the American tropics. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **75**:79-104.
- Kattan, G. 1984. Ranas del Valle del Cauca. *Crespedesia* **13** (49-50):317-341.
- Lynch, J. D. 1980. Systematic status and distribution of some poorly known frogs of the genus *Eleutherodactylus* from the chocoan lowlands of South America. *Herpetologica* **36**:175-189.
- _____. 1981. Two new species of *Eleutherodactylus* from western Colombia (Amphibia : Anura : Leptodactylidae). *Occas. Pap. Mus. Zool. Univ. Michigan* (697):1-12.
- _____. 1989. The gauge of speciation: On the frequencies of modes of speciation, pp. 527-553, In : D. Otte & J. A. Endler (eds.), *Speciation and Its Consequences*. Sinauer Assoc., Inc.
- _____. 1992. Two new species of *Eleutherodactylus* from southwestern Colombia and the proposal of a new species group (Amphibia : Leptodactylidae). *J. Herpetol.* **26** :53-59.
- _____. 1993 [1992]. Distribution and variation in a Colombian frog, *Eleutherodactylus erythropleura* (Amphibia : Leptodactylidae). *Stud. Neotropical Fauna Environ.* **27**:211-226.
- _____. 1996. New frogs of the genus *Eleutherodactylus* (family Leptodactylidae) from the San Antonio region of the Cordillera Occidental. *Rev. Acad. Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **20** (77):331-345.
- _____. 1998. Lista anotada y clave para las ranas del genero *Eleutherodactylus* de las tierras bajas del occidente del Valle del Cauca, Colombia, con apuntes de las especies de la Cordillera Occidental adyacente. *Caldasia*
- _____. & M. C. Ardila-Robayo. 1993. *Eleutherodactylus zygodactylus*. *Cat. Amer. Amph. Rep.* (560):1-2.
- _____. & P. A. Burrowes. 1990. The frogs of the genus *Eleutherodactylus* at the La Planada Reserve in southwestern Colombia with descriptions of eight new species. *Occ. Pap. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas* (136) :1-31.
- _____. & W. E. Duellman. 1997. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in western Ecuador : systematics, ecology, and biogeography. *Nat. Hist. Mus., Univ. Kansas, Spec. Publ.* **23**:1-236.
- _____. & C. W. Myers. 1983. Frogs of the *fitzingeri* group of *Eleutherodactylus* in eastern Panama and chocoan South America (Leptodactylidae). *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.* **175**: 481-572.
- _____. & J. V. Rueda-Almonacid. 1997. Three new species of frogs (*Eleutherodactylus*) from cloud forests in eastern Departamento de Caldas. *Rev. Acad. Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **21** (79):131-142.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz-Carranza, & M. C. Ardila-Robayo. 1994. The identities of the Colombian frogs confused with *Eleutherodactylus latidiscus*. *Occas. Pap. Nat. Hist. Mus. Univ. Kansas* **170**: 1-42.
- _____, _____, _____. 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **21** (80):237-248.
- Peters, J. A. 1973. The toad genus *Atelopus* in Ecuador. *Smithsonian Contrib. Zool.* (145) :1-49.
- Ruiz-Carranza, P. M., M. C. Ardila-Robayo, & J. D. Lynch. 1996. Lista actualizada de la fauna de Amphibia de Colombia. *Rev. Acad. Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **20** (77):365-415.
- Ruiz-Carranza, P. M., J. D. Lynch, & M. C. Ardila-Robayo. 1997. Seis nuevas especies de *Eleutherodactylus* Dumeril & Bibron, 1841 (Amphibia: Leptodactylidae) del norte de la Cordillera Occidental de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **21** (79):155-174.

DYING FROGS IN WESTERN COLOMBIA: CATASTROPHE OR TRIVIAL OBSERVATION? (Ranas muertas o moribundas en el occidente de Colombia: ¿catástrofe u observación trivial?)

por

John D. Lynch¹ y Taran Grant²

Resumen

Lynch J.D. & T. Grant: Dying frogs in western Colombia: Catastrophe or trivial observation? (Ranas muertas o moribundas en el occidente de Colombia: ¿catástrofe u observación trivial?) Rev. Acad. Colomb. Cienc. **22**(82): 149-152.1998. ISSN: 0370-3908.

El descubrimiento de ranas muertas o moribundas de siete especies de los bosques nublados en julio de 1997 durante una época inusualmente seca en la Serranía de los Paraguas podría ser una indicación de la ruina de una fauna muy rica. Estudios subsecuentes sugieren que las poblaciones están sanas y que las observaciones son triviales.

Palabras claves: Declinaciones de anfibios, Andes, Centrolenidae, Hylidae, Leptodactylidae

Abstract

The encounter of dead or dying frogs of seven cloud forest species in July 1997 during an unusually dry period in the Serranía de los Paraguas could be an indication of a collapse of a rich fauna. Subsequent study suggests that the populations are healthy and that the observations are trivial.

Key words: Amphibian declines, Andes, Centrolenidae, Hylidae, Leptodactylidae

Introduction

Between 25 and 27 July 1997, TG, JDL & Paul Gutiérrez visited the crest of the Serranía de los Paraguas

(sitio El Boquerón) on the frontier between departamentos del Chocó and Valle del Cauca, Colombia (4°44.2' N, 76° 18.3' W to 4°44.5' N, 76°17.8' W). On previous visits (1991, 1995), JDL had found the climate exceptionally wet (daily rains, area bathed in clouds most of the day and night) with numerous small streams crossing the road. However, in July 1997, the area was notably dry with little or no cloud cover and no rains. Most streams were dry (or exhibited no obvious flows) and those with flows were

¹ Profesor Asociado, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia

² Estudiante pregrado, Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali

reduced markedly in volume. Local inhabitants told us that the *verano* had lasted for approximately one month. During our reconnoiter of the area on 25 July 1997, we encountered several dead and dying frogs either on the road surface (*Gastrotheca antomia*) or in the pools remaining in the streams having little or no flows. On 26 and 27 July two other dead frogs were found. Each dead frog showed no gross evidence of injury. The observation of approximately 10-12 dead (and dying) frogs contrasts with the experiences of JDL who in 30 years of field work had never seen more than 2-3 dead/dying frogs in a single field season aside from winter-killed *Rana* in the early spring in the USA. Much attention has been given in recent years to a "global" phenomenon of declining populations of amphibians yet JDL had not noticed such declines in amphibian populations during the past 20 years in Colombia aside from reduced activities (temporary difficulties finding animals) during the episode of El Niño in 1992 (contra the observations in neighboring Ecuador, **Coloma**, 1995:63-64, and Venezuela, **La Marca & Lötters**, 1997).

The searches for frogs during the morning and afternoon of 25 July resulted in the discoveries of all but two of the dead/dying frogs. We also found living but emaciated *Colostethus lehmanni* under rocks and logs and noted the apparent absences of species usually abundant under rocks and debris alongside the road. Paul Gutiérrez and TG searched explicitly for *Colostethus* along the roadside for ca. 3 kilometers and up several streambeds while JDL prepared trails for nocturnal searches (one trail up the forested slopes of Cerro El Inglés away from streams and two trails up streams within 0.5 km of the forest trail).

The El Boquerón area has a substantial (38 species known) frog fauna (collections between 2000 and 2200 m) consisting of three bufonids (*Ateopus chocoensis*, *A. sp.*, and *Rhamphophryne sp.**), five hylids (*Hyla columbiana*, *H. larinyopygion**, a species of the *Hyla bogotensis* group, *Gastrotheca antomia**, *G. guentheri*), three dendrobatids (*Colostethus agilis*, *C. atopoglossus*, *C. lehmanni**), six centrolenids (*Centrolene buckleyi**, *C. geckoideum**, *C. grandisonae**, *Cochranella armata**, *C. griffithsi**, *C. ignota*), and 21 leptodactylids (*Eleutherodactylus acatallelus**, *E. angustilineatus**, *E. babax*, *E. brevifrons**, *E. cerastes*, *E. chrysops**, *E. deinops*, *E. erythropleura**, *E. gracilis**, *E. kelephus**, *E. mantipus*, *E. myops**, *E. palmeri**, *E. phalarus**, *E. ptochus**, *E. quantus**, *E. restrepoi**, *E. silverstonei**, *E. thectopternus*, *E. w-nigrum**, and *E. xylochobates**). Initial collections (28 species) were made in the mid 1980s (Michael Alberico, Jorge Restrepo, & Philip Silverstone) followed by an extensive collection in 1991

(31 species), a brief visit in 1995 (16 sp), another in 1996 (25 sp), and the 25 species (marked with asterisks in list above) taken in 1997 (including one not previously known for this site).

We visited El Boquerón specifically to search for additional material of six then-undescribed *Eleutherodactylus* and found all six. The observations during the day of 25 July caused us to be concerned that few frogs might be found during the night. However, on the night of 25 July we spent approximately four hours searching for frogs and collected more than 300 individuals in the forest and along one stream including all species found dead except *C. geckoideum* and *E. xylochobates*. An estimated additional 100 frogs were observed and handled but not collected. Also remarkable about the site was the absence of calling of centrolenids, *Colostethus*, and *Eleutherodactylus angustilineatus* and *E. brevifrons*, species normally heard daily. During our stay at El Boquerón, we took 25 species of frogs (see species list above; those marked with an asterisk were collected in 1997). The 13 species we did not find are rare historically except for *Cochranella ignota* and *Colostethus atopoglossus*. Our failure to collect *C. ignota* may well reflect our use of a single stream at the site (in previous years it was found along different streams than the one we worked). Prior experience suggests that different species of centrolenids occupy different streams, perhaps due to some biological exclusion (pers. obser., pers. comm., Pedro M. Ruiz). *Colostethus atopoglossus* had been very abundant at the site along the road; in the absence of streams and rivulets crossing the road, one does not expect to find this semi-aquatic species. JDL may have observed one in a seep on a steep hillside in the forest but the specimen escaped before it could be identified positively (it could have been a *C. agilis*).

Results

The dead and dying frogs observed in 1997 included seven species: *Centrolene geckoideum* (Centrolenidae), *Gastrotheca antomia* (Hylidae), *Eleutherodactylus chrysops*, *E. gracilis*, *E. myops*, *E. w-nigrum*, and *E. xylochobates* (Leptodactylidae). Specimens are identified using field numbers. Those identified as TG and PG will be deposited in the Universidad del Valle collection and those identified as JDL will be deposited in the Instituto de Ciencias Naturales collection.

Centrolene geckoideum

One dead adult female (TG 971, 76 mm SVL) was found in a pool ca. one meter deep on the first stream

above the casa at Las Amarillas. She showed no obvious pathology and contained eggs that appear mature. This animal is larger than the maximum known size for females of this species (Rueda-A., 1994). No calls were heard of this species during our visit (in contrast to previous visits to the site) nor were any other individuals seen.

Gastrotheca antomia

Three dead adult males were found on the road (JDL 21262, 54 mm SVL, TG 972, 60 mm SVL, PG 015, 56 mm SVL). These all appear to have died within 24 hrs of being found (in one case, we had walked that section of the road less than a day before the corpse was found). Each animal is well muscled and shows no evidence of starvation. These fall within the size range reported for adult males (Ruiz-C. et al., 1997). Adult males called very sporadically every night during our stay (in contrast to observations of much more intense activity in 1991 and 1995) and one adult female carrying embryos was found. In addition, we found several recently born young in the forest.

Eleutherodactylus chrysops

One adult (TG 973, 51.9 mm SVL) male was found in a pool. The adult male was dying (the animal could not right itself and made only feeble movements). This recently described species was not previously known from the site (Lynch & Ruiz-C., 1996). During collecting the night of 25 July, two additional adult males (JDL 21155-56, 54.0-57.5 mm SVL) and one juvenile male (JDL 21072, 16.7 mm SVL) were found.

Eleutherodactylus gracilis

One large adult female (not kept) in an advanced state of decomposition was found in a pool. Adults and juveniles were very abundant along one stream that we sampled, as they had been in 1991 and 1995. This is a species of streams and was not observed in the forest away from streams.

Eleutherodactylus myops

A single large adult female was found dead beside a pool (TG 1082, 19.7 mm SVL). She is larger than the largest female captured of the species (Lynch, 1998). This species was abundant in the forest as well as along a stream we worked. Although a concerted effort was made to collect this species, JDL's impression is that it was more common in 1997 than it had been in 1991 or 1995.

Eleutherodactylus w-nigrum

One large adult female (TG 1019, 80 mm SVL) was found dead 27 July in same the pool where the *Centrolene geckoideum* had been found two days earlier. During our visit, males called sporadically from vegetation along the roadside. We observed very few individuals along streams but did encounter very small juveniles there. The species appears much less common than it had been during previous visits.

Eleutherodactylus xylochobates

One juvenile female (TG 1081, 41.2 mm SVL) was found on a rock. She was collected in spite of the fact that she was dead and is badly decomposed. The collector did not make explicit notes as to where she was found but we surmise that she was taken in the same stream as the *C. geckoideum* and *E. chrysops*. No other individuals of *E. xylochobates* were observed during our stay.

A few other frog remains were found in the pools (or dried on the surfaces of rocks that had previously been under water) but these were so decomposed (and incomplete, apparently due to scavenging by an Andean catfish, genus *Astroblepus*) that they were merely noted and not collected (hence, we cannot comment on their identities except that they appeared to be species of *Eleutherodactylus*).

Discussion

Dr. Karen Lips (*in litt.*) told JDL of parallel observations in Panamá and suggested that the observations of late July 1997 on the Serranía de los Paraguas represent early observations of a process of local extinction. Dr. David Green (*in litt.*) suggested that some "protozoan" pathogen was responsible. Additionally, we are aware of one other site on the Cordillera Occidental where frogs became inexplicably rare/absent in the past 24 months. A site under study by Dr. Fernando Castro and Wilmar Bolívar at finca San Pedro, near Queremal (municipio de Dagua, Valle del Cauca) experienced dramatic reductions in abundances of several common frog species and local disappearances of others during 1996 (pers. observ., TG). That observation stands in marked contrast to comparable sites in the region where no reductions were detected over the same time frame.

The Colombian frog fauna is the most diverse on the planet (Ruiz-C. et al., 1996) and the possibility of precipitous declines causes much alarm because the cloud forest faunas are remarkable for their high levels of en-

demicity (Lynch et al., 1997). As a reaction to our initial observations, Conservation International dispatched an accomplished collector (José Vicente Rueda) to the Serranía de los Paraguas in early September. He reports (*in litt.*) that the "normal" climate had been restored and that no dead or dying frogs were seen. In November 1997, TG returned to the site briefly and noted that conditions were "normal", including that centrolenid frogs were calling along the several streams.

Our initial interpretation of these data (and our current view) was that dead and dying frogs, especially large individuals, might reflect normal mortality made more obvious by the failure of streams to wash the bodies away. This does not account for the *Gastrotheca antomia* found dead on the road. *Gastrotheca antomia* is commonly found in terrestrial bromeliads at this site and JDL inspected a dozen or so bromeliads and found all completely dry. We interpreted the dead *G. antomia* as individuals who were desiccated and had fled their bromeliads before dying on the road where they were obvious to collectors (we made no effort to walk comparable distances within the forest looking for dead frogs on the forest floor). That we found frogs abundant on the night of 25 July suggested to us that the observation of dead frogs was of little note. Our present estimate is that the observations of dead and dying frogs in July 1997 represent trivial ones but continued monitoring is planned for each site in an effort to understand these puzzling observations.

Acknowledgments

We thank Drs. David Green (U. Maryland) and Karen Lips (St. Lawrence U.) for information concerning de-

clines in Panamá and possible causes. Dr. Fernando Castro & Wilmar Bolívar shared unpublished information concerning the declines at finca San Pedro. Paul Gutiérrez accompanied us during our fieldwork in Valle del Cauca.

Literature cited

- Coloma, L. A.** 1995. Ecuadorian frogs of the genus *Colostethus* (Anura: Dendrobatidae). Univ. Kansas Nat. Hist. Mus., Misc. Publ. (87):1-72.
- La Marca, E. & S. Lötters.** 1997. monitoring of declines in Venezuela *Atelopus* (Amphibia: Anura: Bufonidae), pp. 207-213, In. W. Böhme, W. Bischoff & T. Ziegler (eds.), Herpetologica Bonnensis. Bonn, Germany.
- Lynch, J. D.** 1998. New species of *Eleutherodactylus* from the Cordillera Occidental of western Colombia with a synopsis of the distributions of species in western Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **22** (82): 129-160.
- Lynch, J. D. & P. M. Ruiz-Carranza.** 1996. New sister-species of *Eleutherodactylus* from th Cordillera Occidental of southwestern Colombia (Amphibia: Salientia: Leptodactylidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **20** (77): 347-363.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz-Carranza, & M. C. Ardila-Robayo.** 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **21** (80): 237-248.
- Rueda-Almonacid, J. V.** 1994. Estudio anatómico y relaciones sistemáticas de *Centrolene geckoideum* (Salientia: Anura: Centrolenidae). Trianea (Act. Cien. Tecn. INDERENA) (5): 133-187.
- Ruiz-Carranza, P. M., M. C. Ardila Robayo, & J. D. Lynch.** 1996. Lista actualizada de la fauna de Amphibia de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **20** (77): 365-415.
- Ruiz-Carranza, P. M., M. C. Ardila-Robayo, J. D. Lynch, & J. H. Restrepo.** 1997. Una nueva especie de *Gastrotheca* (Amphibia: Anura: Hylidae) de la Cordillera Occidental de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. **21** (80): 373-378.

VIDA ACADEMICA

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL DR. POLIDORO PINTO EN HOMENAJE AL ACADÉMICO HONORARIO JOSÉ CUATRECASAS DURANTE SU POSESIÓN COMO MIEMBRO CORRESPONDIENTE

Para entender la personalidad del profesor Cuatrecasas hay que remontarse un poco atrás.

Los condados catalanes hacían parte de la Marca Hispánica organizadas por los reyes francos. Bajo Guifré "El Pilos", que fue Conde de Barcelona, Gerona, Osuna, Besalú, Urgel y Cerdeña, comienza a esbozarse la independencia de la marca para dar paso a la primitiva Cataluña y casi podemos decir que el Monasterio de Santa María de Ripoll es la partida de nacimiento de Cataluña cuando es fundado en el 888 por el Conde Guifré.

Es en el corazón de esta comarca el Ripollés, donde se encuentra la población de Camprodón. Ripoll es el punto de confluencia de dos ríos el Ter y el Freser. Prácticamente es el único sitio plano de la comarca. Por eso es un cruce de caminos: Vic y Berga al sur; la "pobla de Lillet" al oeste; Ribes, Nuria y Puigcerda hacia el norte y Sant Joan de las Abadesses, Camprodón y Olot al este.

Arriba de Ripoll y de San Joan se encuentra Camprodón, bella población del Pirineo donde se halla el Antiguo Monasterio de Saint Pere de Camprodón joya de romántico, arte que es la primera manifestación artística europea que aparece a fin del primer milenio, coetáneo de la desintegración del Imperio Carolingio y de la consiguiente formación de las nacionalidades europeas.

También es famoso el Pont Nou, extraordinaria construcción medieval. El Modernismo de fin de siglo XIX y comienzos de XX muestra ejemplo en Camprodón como el Casal del Arquitecto J. Vilaseca de 1882 y la Casa Roig de 1901.

Cataluña se va consolidando y el 1137 se produce su unión con Aragón cuando se realiza los esponsales de Ramón Berenger IV, conde de Barcelona y Peronella hija de Ramiro II, el Monje, Rey de Aragón, el de la Campana de Huesca; está unión se hace en el beneficio de los magnates, señores

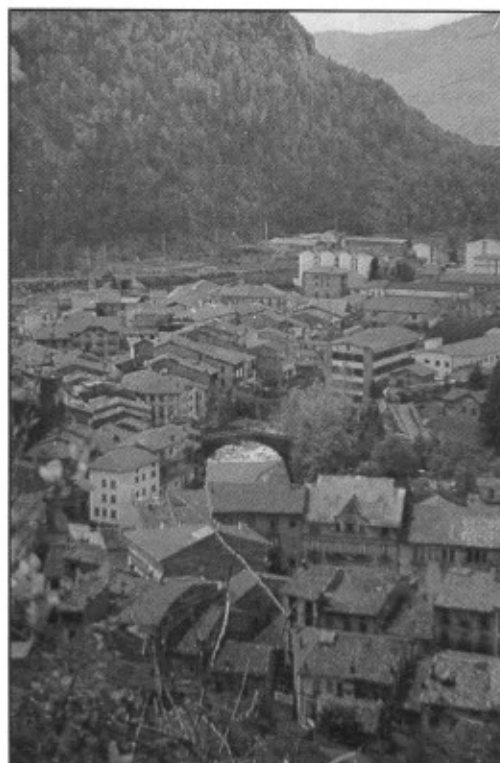


Figura 1. Vista panorámica de Camprodón en la comarca del Ripollés.
Fotografía de F. Pinto

grandes burgueses catalanes que buscaban primero, el prestigio del Conde de Barcelona que no podía ser rey de Francia y esto en la época Feudal tenía una importancia primordial. Si se casaba con la hija del rey Ramiro, su hijo sería Rey por otra parte su política transpirenaica se vería ampliada hasta la Costa Atlántica y por último desaparecería la rivalidad de la reconquista entre aragoneses y catalanes que convergían en Lérida y Tortosa.

Hasta la aparición de los imperialismos renacentistas, catalanes y aragoneses encontraron y realizaron una solución: unión no unificación dentro de la diversidad; trabajo en la obra comunitaria, una libertad completa en el desarrollo social, lingüístico y estructural en cada uno de ellos.

El Reino de Aragón se va confirmando y extendiendo hasta que se realizó el matrimonio de Ferrant II de Aragón e Isabel de Castilla, los Reyes Católicos, con lo cual se inicia la unificación de España. A través del tiempo se forma la nación Catalana con sus características específicas al fundirse los descendientes de las poblaciones de la reconquista venidas de Cerdeña, de la Gascuña y del Languedoc, que con los escasos restos de las poblaciones visigodas y romanas que quedaron después del paso de las huestes musulmanas del Al-Andalus.

En este crisol se fundieron con los ya nombrados, los sarracenos, los judíos y los esclavos, los primeros que se habían permitido quedarse en las tierras donde se ha vivido. Fuera del trabajo del campo estos se dedicaron a oficios tales como la talla de piedra de la arquitectura, el arte pictórico y al funcionamiento de las acequias.

Estaban también los judíos, uno de los grupos, más activos y de gran productividad económica hasta los días de la reconquista.



Figura 2. El "Pont Nou" en Camprodón. Fotografía de F. Pinto

Por último los esclavos, producto de la guerra entre cristianos y moros ya que tanto de un lado como de otro se redujo a la esclavitud a los prisioneros de guerra.

Posteriormente, bajo los Austrias, Cataluña va perdiendo su importancia política y económica, lo que se agudiza bajo los Borbón, pero el carácter propio del Catalán se afianza en los infortunios sucesivos y las cualidades de amor a sus libertades y a su patria; su lealtad y entrega a sus ideales se afianzan a pesar de las derrotas y dificultades que en el transcurso del tiempo experimentó ese pueblo que en la edad media formó un gran Imperio en la cuenca del mediterráneo que hoy renace en la democracia y la libertad de la España actual.

Estos antecedentes históricos nos explican la personalidad y el carácter del profesor Cuatrecasas, nacido en el corazón de Cataluña natal.

"En Josep Cuatrecasas !Arumí, catalá universal Home lliure i mestre", nace el 19 de marzo de 1903 en la población de Camprodón, provincia de Gerona. En su casa y ayudado de su padre, quien enseñó todas las asignaturas, preparó los exámenes que le permitieron obtener el título de bachiller en el Instituto General de Barcelona en agosto de 1918.

Sus estudios universitarios los desarrolló en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona donde, en junio de 1923, se licencia como Farmacéutico y le adjudican el premio extraordinario de licenciatura. En 1928 obtiene el título de doctor en farmacia de la Universidad de Madrid, con una tesis "Flora y la Vegetación del Macizo de Mágina". Ya está clara su afición por la botánica.

De 1924 a 1931 ocupa el cargo de profesor auxiliar de botánica en la Universidad de Barcelona y en 1931 gana las oposiciones para la "Cátedra de Botánica Descriptiva", de la facultad de Farmacia de la Universidad Central de Madrid, cargo que desempeña hasta 1939 cuando, derrotada la República por los "fascistas", tienen que exiliarse.

Su formación como investigador se inicia en la sección de botánica del Museo de Ciencias Naturales de Barcelona, bajo la dirección de "En Pius Font i Quer Patriota i exiliat de la ciencia oficial el qui amb el seu "Diccionario" va a unificar el llenguatge botànic de les persones que escriben en castella", amplía sus estudios de fitogeografía y ecología en la Universidad de Ginebra, con el profesor Chodat en 1927, y los de Botánica Tropical en el Instituto Jardín Botánico de Berlín-Dahlem, durante su permanencia en 1930 y 1931.

En 1932 como representante del Gobierno de la República Española, viaja a Bogotá para participar en la celebración del bicentenario del nacimiento de José Celestino Mutis, quien llenó, en el siglo XVIII, el espacio de los estudios de botánica del virreinato de la Nueva Granada al dirigir a la generación de la ilustración saltó a la independencia.

En este viaje, Cuatrecasas entra en el contacto con la maravillosa flora colombiana cuyo estudio ya no interrumpirá y allí comienza entonces, la interpretación del paisaje colombiano con sus "Observaciones Geobotánicas en Colombia" en 1934.

En 1933 ocupa la jefatura de la Sección de Flora Tropical de Jardín Botánico de Madrid, y en 1973 dirigió con notable acierto el Jardín Botánico durante los difíciles años de la guerra civil en la cual permanece hasta 1939 cuando se exilia en Colombia, felizmente para la botánica nuestra, al vincularse con el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (1939-1943).

Posteriormente, como profesor de la Escuela de la Agricultura Tropical fundada en 1935, la que más tarde, se traslada a Palmira (Valle), posteriormente se convertirá en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional. Entre 1943-1947, dirige además la Comisión Botánica del Valle.

En 1947 se radica en los Estados Unidos como "Curator of Colombian Botany", del Museo de Historia Natural de Chicago y como investigador de la National Science Foundation, para el estudio de la Flora Colombiana, de 1953 hasta 1955.

Posteriormente, pasa a ser investigador asociado a la "Smithsonian Institution" a través del "National Museum of Natural History", de 1955 hasta 1977, fecha de su jubilación, la que no interrumpe su incansable labor investigativa.

En la primera etapa de su vida, el doctor Cuatrecasas desarrolla su actividad investigativa en España y sus primeros trabajos relativos a la flora micológica y, en su tesis doctoral, realiza una descripción del paisaje giennense utilizando la metodología de Huguet del Villar, que volverá a emplear al analizar el paisaje malagueño en su trabajo con la Laza sobre Torremolinos (1936) y la fitosociología de las Costas del Garraf, trabajo premiado por la Academia de Ciencias de Barcelona cuyo texto desapareció durante la guerra civil española.

En esta etapa, Cuatrecasas fue secretario de la redacción de la revista *Cavanillesia*; participó en la redacción del *Butlletí de la Institució Catalana d'Historia*

Natural y publicó numerosos trabajos en el *Boletín de la Real Sociedad Española de la Historia Natural*.

A partir de 1939, una vez instalado en Colombia, su interés se centra en nuestra flora y su serie acerca de *Notas a la Flora de Colombia y Estudios sobre las Plantas Andinas*, junto a la enorme bibliografía por él publicada, lo acreditan como el botánico que más ha contribuido, en este siglo, al conocimiento de nuestra flora.

En 1957 inicia la Publicación de la *Prima Flora Colombiana* la cual definió así: "esta obra trata de reunir por primera vez en forma sinóptica las especies que crecen espontáneamente entre los límites geográficos de la República de Colombia. Su principal objeto es establecer el plazo mas breve un inventario de especies botánicas de Colombia, facilitar con claves descriptivas la identificación de las plantas e indicar su distribución ecológica, usos y nombres populares".

En esta empresa de enorme importancia para el conocimiento de nuestra naturaleza, hizo la revisión de tres grupos: la familia Burseraceae, en la que registró ocho géneros; la familia Malpighiaceae, publicada en 1958 con la revisión de veintiún géneros; y la tribu Astereae, de la familia Compositae, con dieciséis géneros, tercer volumen publicado en 1960.

Posteriormente, el doctor Cuatrecasas dirigió sus esfuerzos a la realización del enorme proyecto de la publicación de la "*Flora Neotrópica*", obra también de gran interés para nosotros, pues en las numerosas familias allí estudiadas se incluyen las plantas presentes en Colombia.

Tuvieron que pasar veintitrés años para el Instituto de Ciencias Naturales reiniciar la publicación de la Flora de Colombia en 1963, y prosiguiese con esta iniciativa del doctor Cuatrecasas, empresa fundamental para el conocimiento de nuestro país, que hoy en 1997, catorce años después, se corta con la falta de continuidad en los propósitos en los que nos comprometemos los Colombianos, la carencia de recursos y el desinterés por parte de los organismos estatales encargados de las políticas investigativas y científicas por la indiferencia de las instancias universitarias.

En "*Flora Neotrópica*", obra auspiciada por la Unesco, fue nombrado Director Científico, desde 1964 hasta 1971, fecha en que pasó a ser presidente de la Organización Flora Neotrópica; hasta 1975.

Con su vinculación al Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia en 1939, contribuyó eficientemente a la organización y desarrollo del mismo. En su herbario y en el de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional, Seccional Palmira (VALLE), junto con el de los herbarios

de Madrid(MA), Barcelona(BA), Chicago(F) y Washington(US), se guardan las colecciones realizadas por don José Cuatrecasas, con más de treinta mil números propios además de las colecciones hechas durante las expediciones con otros botánicos.

VEGETACION Y FLORA

Quien inicia en los tiempos modernos en la forma sistemática los estudios geobotánicos en Colombia es el profesor JOSE CUATRECASAS, en 1932, quien siguiendo la terminología y el método de Hugué del Villar, presenta un cuadro de Vegetación de Colombia.

Más tarde el propio CUATRECASAS, 1957, publica un estudio fitogeográfico, vale decir uno de los aspectos de la geobotánica, aclarando hacerlo "como avance de un trabajo ecológico profundo y extenso, que ha de sucederle" y presentándolo como la "primera fase en el conocimiento de una vegetación" o "estudio de su fisionomía". es decir de sus "formaciones", realizando así esa primera versión de la Vegetación Colombiana y propone su clasificación.

Desde HUMBOLDT y CALDAS hasta este siglo se produjeron una serie de notas y observaciones concernientes a la vegetación de Colombia. En el decenio de 1930 aparecieron algunas reseñas descriptivas de vegetación del departamento del Atlántico de las llamadas tierras de Loba (Bolívar) y de la región de Santa Marta-Fundación.

Más tarde 1963, se realizará un trabajo basándose en el sistema de HOLDRIDGE. Anteriormente, bajo el título de Colombia, un archipiélago biológico, se transcriben

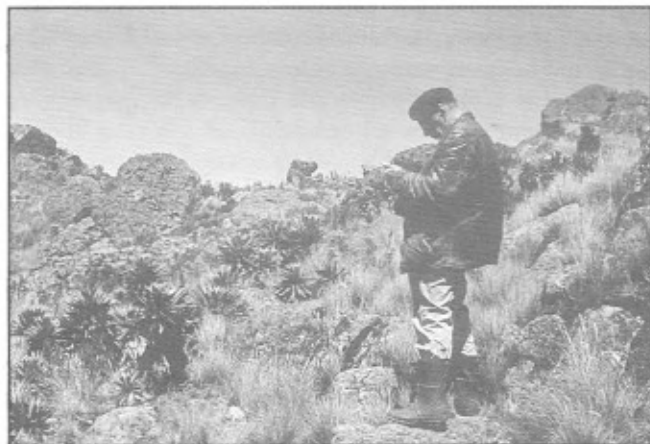


Figura 3. El profesor Cuatrecasas en 1972, trabajando en el Páramo de la Rusia. Fotografía de A.M. Cleef.

con anotaciones los trabajos de CALDAS, VERGARA Y CHAPMAN, sobre ecología del país.

Posteriormente, se han adelantado muchos estudios sobre ecología, vegetación y biodiversidad por parte de diversos autores, además de los volúmenes de "Colombia, Diversidad Biótica", recientemente aparecidos.

Analizando las distintas clasificaciones y terminologías empleadas y siguiendo el razonamiento de CUATRECASAS, encontramos más sencillo, más lógico y dado el estado del conocimiento, más práctico, adoptar el criterio de ese último autor, por lo cual creemos se deben seguir las líneas generales de su terminología y su clasificación.

Definitivamente el valor de una clasificación se deduce de los resultados obtenidos.

La principal característica de la vegetación Colombiana en su conjunto es su riqueza, variabilidad y exuberancia de su flora.

Una cobertura vegetal abarca la casi totalidad del territorio colombiano, con áreas limitadas de vegetación discontinua, debido a factores locales o edáficos o por acción humana. En esta cobertura se destaca una enorme variedad de formas biológicas y una gran cantidad de entidades taxonómicas.

La localización del país en las zonas ecuatorial y tropical, caracterizadas por una elevada pluviosidad y por altas temperaturas en las tierras bajas y un territorio sobresaliente por sus complejas orografía e hidrografía, produce una gran diversidad de medios ecológicos y hace que todas esas características aunadas presentan las mejores condiciones para la diversificación morfológica y la evolución de estas unidades.

Colombia es uno de los pocos países del mundo donde la vegetación clímax cubría la mayor parte de su territorio.

Esa es la razón que determina que el territorio colombiano tenga pocas formaciones pero extensamente distribuidas. A cambio, dentro de las grandes formaciones, muy ricas en especies se presenta una enorme gama de tipos biológicos.

Del conocimiento que en la actualidad se tiene de la flora del país se deduce que la Flora de los Andes y de las tierras bajas constituyen una unidad de las formas taxonómicas emparentadas, que se suceden y entrelazan en el espacio. En todo el territorio se presentan las mismas familias y casi todos los géneros sin ninguna diferencia latitudinal.

En cuanto a la distribución altitudinal, la selección natural ha actuado en beneficio de ciertos grupos, pero es claro que la mayor parte de la flora de las laderas andinas han derivado de las tierras bajas.

CUATRECASAS, en 1957, presenta las siguientes formaciones vegetales para Colombia.

- 1) Selva Neotropical.
 - a) Selva Neotropical Inferior
 - b) Selva o Bosque Subandino
 - c) Selva o Bosque Andino
- 2) Formaciones de Páramo
 - a) El Subpáramo
 - b) El Páramo propiamente dicho
 - c) El Superpáramo
- 3) La Sabana
 - a) La Sabana Casmófitas.
- 4) Formaciones Xerofíticas o Subxerofíticas
- 5) Los Manglares
- 6) Formaciones Playas y Márgenes

7) Los Prados

8) Formaciones Acuáticas.

Para concluir podemos afirmar que la trascendencia y la significación de la obra del profesor Cuatrecasas en la botánica es concluyente, primero en el aspecto de la Flora, al propulsar la necesidad de condición de realizar en el plazo más breve posible un inventario de las especies botánicas de Colombia y la segunda trazar y proyectar el estudio de la vegetación creando un sistema y una síntesis que comprende y abarca el conjunto de principios que forman en cuerpo de nuestra diversidad biológica.

Esto sin hablar de la gigantesca contribución que hizo en el desarrollo y organización de Instituciones nuestras y del acervo de sus numerosas publicaciones florísticas y novedades taxonómicas.

Don José Cuatrecasas gozaba de este talante de carácter catalán, el "Seny", esa ponderación mental y sana capacidad que lleva a una justa percepción. Fue un temperamento clásico, sereno, equilibrado y universal y sobre todo fue leal. Leal de a si mismo, leal a sus ideas políticas, a su patria, a los suyos, a sus discípulos y a sus amigos.

Digamos como el poeta: "*Nada termina, empieza. Nada muere, se inicia*".

Rangel, J. O. , P.D. Lowy & M. Aguilar. 1997. COLOMBIA DIVERSIDAD BIOTICA II. Universidad Nacional de Colombia. 436 págs. ISBN 958-608-125-7. Precio US\$ 20.00. Disponible en el Instituto de Ciencias de la Universidad Nacional A.A. 7495, Bogotá.

Con este volumen se continúa la serie sobre la diversidad biótica de Colombia cuya publicación se inició en 1995. Cambiando el enfoque propuesto en la primera parte, este libro es una excelente recopilación de la información relativa a las comunidades vegetales que se han descrito para el país y de la metodología empleada en su estudio.

El libro consta de cuatro capítulos no numerados, enfocados sobre diversos aspectos. En la parte introductoria, van der Hammen & Rangel presentan una visión general de como han evolucionado los estudios relativos a la vegetación en Colombia, desde los trabajos iniciales de Caldas y Humboldt sobre la geografía de las plantas, hasta el presente. En este capítulo, que está bien documentado, reseñan publicaciones tanto desde el punto de vista biológico como desde el geográfico y paleobotánico; en el aparte de consideraciones finales, donde muestran el camino a seguir, descuidan la perspectiva histórico-biogeográfica (de la vicarianza) para entender la diversidad, ahondando en la dualidad ecología vs. historia.

En el segundo capítulo, Rangel & Velázquez presentan una visión muy personal de las metodologías que se han usado en la descripción de la vegetación en Colombia. Resaltan solo algunos elementos de análisis como los índices de diversidad de Jaccard y Sørensen donde no citan fuentes primarias sino trabajos de grado. La exposición hace énfasis en la metodología utilizada por la escuela de Zurich-Montpellier que estudia las comunidades vegetales con base en la fisionomía y la composición florística, obviamente sustentada en la experiencia del primer autor. De manera tangencial se mencionan otras metodologías que utilizan aspectos de la morfología foliar o el manejo de datos cuantitativos en el análisis de la diversidad. La mención a «los procedimientos automatizados» no está integrada con el resto del capítulo y plantea un aparente rompimiento con los métodos no automatizados a los que los autores denominan clásicos, desconociendo que los programas de computo solo repiten la estrategia manual. No citan

ningún programa estándar de estadística (tipo SYSTAT, SPSS, SAS, etc.) los cuales pueden usarse igualmente para calcular los distintos índices, ni ningún programa aparecido durante la última década; tampoco se hace mención a los programas basados en datos representados en la cartografía. La explicación de los diferentes pasos que se siguen en el campo para la toma de datos en la metodología fitosociológica, es una guía muy útil para homogeneizar el procedimiento; sin embargo, falta comentar el trabajo de campo que emplean las demás propuestas. Este capítulo corresponde más a una descripción de algunas estrategias usadas en el estudio de la vegetación y carece de un análisis de las conveniencias y limitaciones de las diferentes propuestas descritas, sin plantear o al menos mostrar algunas estrategias alternativas que pueden ser igualmente válidas.

El tercer capítulo es el más importante, no solo por su extensión, sino porque constituye la parte central del libro y es de consulta obligada para todos los interesados en la vegetación de Colombia. Contiene información pertinente a 686 comunidades vegetales organizada alfabéticamente. Para cada comunidad se incluye la definición fisionómica, localización, altitud, acompañada de comentarios breves sobre las especies asociadas; en algunos casos se citan los sinónimos. También contiene información relativa a 268 comunidades definidas por términos fisionómicos, ecológicos o geográficos. Finalmente, incluyen un apartado con 52 términos toponímicos de utilidad. Rangel y colaboradores hicieron un gran aporte con la revisión sistemática de diversas fuentes pertinentes a las comunidades o ecosistemas, que bajo denominaciones de origen fitosociológico y geobotánico se han registrado para el país.

En el capítulo final, Rangel et al. retomando los principios de la geobotánica de Del Villar, hacen una síntesis sobre la distribución de las diferentes tipos de vegetación en las regiones naturales de Colombia. Con base en este resumen el páramo es la región mejor conocida, en contraste con la región andina para la cual solamente se han definido el 25% de los bosques

registrados en ella y para las regiones subandina y tropical el 50% de los bosques reconocidos. A pesar del enorme esfuerzo que se ha hecho en el estudio de la vegetación de Colombia, todavía queda mucho por hacer, como queda demostrado en este volumen.

La exposición de los capítulos anteriores se ve enriquecida por el Anexo 1, donde los autores resumen la información en un cuadro que relaciona la distribución de los tipos de vegetación en las cinco regiones naturales de Colombia. A pesar de ello, éste sería más útil si estuviera organizado por regiones, dado que está ordenado alfabéticamente al igual que el tercer capítulo. Sería loable que los autores pusieran ésta información disponible en internet con el fin de que más interesado en el tema puedan hacer uso de ella.

La información proporcionada en este libro es muy útil para todos los interesados en la vegetación de Colombia y en las especies dominantes, e incluye la definición de muchos de los términos que se corresponden con los tipos de vegetación que aparecen en la bibliografía y sus respectivas localizaciones geográficas. Los autores quedan en deuda con sus lectores al no incluir un índice de nombres científicos ni de localidades.

Pilar Franco Rosselli.
Instituto de Ciencias Naturales.
Universidad Nacional de Colombia.

Daniel Rafael Miranda Esquivel.
Universidad Industrial de Santander