

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

VOLUMEN XXI

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

NUMERO 80

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

JULIO DE 1997

	Pág.		Pág.
Nota Editorial (Editorial)	199	Los primeros 10 años de la superconductividad de alta temperatura. (The first ten years of superconductivity at high temperatures) <i>Pedro Antonio Prieto-Pulido</i>	271
Botánica (Botany)		Historia de la Ciencia (History of Science)	
Nuevas especie y variedad de <i>Pentacalia</i> subgen. <i>Microchaete</i> [Asteraceae-Senecioneae] de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. (A new species and a new variety of <i>Pentacalia</i> subgenero <i>Microchaete</i> [Asteraceae-Senecioneae] from the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia)	201	Vicisitudes del postulado euclídeo en Colombia (Vicissitudes of the Euclidean postulate in Colombia) <i>Víctor Samuel Albis-González</i>	281
<i>Santiago Díaz-Piedrahita & Marta Lucía Bueno</i>	201	César Uribe Piedrahita, un científico fuera de serie. (Cesar Uribe Piedrahita, an exceptional scientist). <i>Luis Carlos Rodríguez-Alvarez</i>	295
Nueva especie de <i>Pentacalia</i> subgen. <i>Pentacalia</i> [Asteraceae-Senecioneae] de Colombia. (A new species of <i>Pentacalia</i> subgen. <i>Pentacalia</i> [Asteraceae-Senecioneae] from Colombia).	205	Matemáticas (Mathematics)	
<i>Santiago Díaz-Piedrahita & Gina Paola Méndez</i>	205	On a conjecture of Borevich and Shafarevich. (Sobre una conjetura de Borevich & Shafarevich). <i>Víctor Samuel Albis-González & Raúl Chaparro</i>	313
Novedades y correcciones de la flora de Uredinales de Colombia. (Novelties and corrections of the flora of Uredinales from Colombia). <i>Victor Manuel Pardo-Cardona</i>	209	Química (Chemistry)	
Notas sobre la tribu <i>Paniceae</i> R. Brown (Gramineae) y clave para sus géneros en Colombia. (Notes on tribe <i>Paniceae</i> R. Brown [Gramineae] and a key to its genera in Colombia).	217	Nuevas anillaciones generadas por transposiciones moleculares a partir del esqueleto del Longipineno (Generation of new ring systems by molecular rearrangements of the Longipinene Skeleton) <i>Pedro Joseph-Nathan</i>	321
<i>Joaquín Pinto Nolla</i>	217	Cincuenta años de Resonancia Magnética Nuclear. (Fifty years of Magnetic Nuclear Resonance). <i>Juan Crisóstomo Martínez-Valderrama</i>	335
Una especie nueva del género <i>Brownea</i> (Leguminosae-Caesalpinioideae) (A new of <i>Brownea</i> gen [Leguminosae-Caesalpinioideae]) <i>Luz Mila Quiñones</i>	225	Zoología (Zoology)	
Ciencias de la Salud (Health Sciences)		Description of some accessory structures of the urogenital system in the neotropical family <i>astroblepidae</i> (pisces, siluroidei) (Descripción de algunas estructuras accesorias del sistema urogenital de la familia neotropical <i>astroblepidae</i> [pisces, siluroidei]) <i>Uriel Ángel Buitrago-Suárez & Germán Galvis</i>	347
Demencia-priones y enfermedades priónicas. Referencia especial a las "vacas locas". (Dementia-prions and prionic illnesses with special reference to the "crazy cows"). <i>Gabriel Toro-González</i>	229	Intragenetic relationships of mainland <i>Eleutherodactylus</i> 11. A review of the <i>E. sulcatus</i> group. (Relaciones intragenéticas de los <i>Eleutherodactylus</i> continentales 11. Una revisión del grupo <i>E. sulcatus</i>). <i>John D. Lynch</i>	353
Ecología (Ecology)		Una nueva especie de <i>Gastrotheca</i> (Amphibia: Anura: Hylidae) de la cordillera occidental de Colombia (A new species of <i>Gastrotheca</i> [Amphibia: Anura: Hylidae] from the Cordillera Occidental of Colombia). <i>Pedro M. Ruiz-Carranza, María Cristina Ardila-R., John D. Lynch & Jorge Humberto Restrepo</i>	373
Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. (Patrones biogeográficos de las ranas y sapos de Colombia). <i>J.D. Lynch, P.M. Ruiz-Carranza & M.C. Ardila</i>	237	Vida Académica (Academic Life)	379
Estudio florístico en un robledal del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque (Boyacá-Colombia). (A floristic study in an oakforest of the Biological Sanctuary of Iguaque (Boyacá-Colombia). <i>César Marín-Corba & Julio Betancur</i>	249	Constitución de la Academia (Members of the Academy)	381
Física (Physics)			
Los espejismos del asfalto. (Asphalt mirages) <i>Joaquín Pelkowski</i>	261		

NUEVAS ESPECIE Y VARIEDAD DE *PENTACALIA* SUBGEN. *MICROCHAETE* (ASTERACEAE, SENECIONEAE) DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA, COLOMBIA

por

Santiago Díaz-Piedrahita¹ y Marta Lucía Bueno²

Resumen

Díaz-Piedrahita, S. & M. L. Bueno: Nuevas especie y variedad de *Pentacalia* Subgen. *Microchaete* (Asteraceae, Senecioneae) de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 21(80): 201-204, 1997. ISSN 0370-3908.

Se describe e ilustra una nueva especie ubicable en el subgénero *Microchaete*; la misma muestra su mayor afinidad con *Pentacalia subarachnoidea* (Cuatr.) Cuatr. de la que puede separarse fácilmente por el número de filarias del involucre, la lámina foliar obovada y pseudopetiolada, el indumento cinamómeo o dorado, las brácteas subuladas de los pedúnculos y el cálculo formado por numerosas bractéolas lineares triangulares. Igualmente, se propone una nueva variedad de *P. subarachnoidea* diferenciable de la var. *typica* por el menor número de filarias, lígulas y flósculos. Se presenta una clave para las especies de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Palabras claves. *Pentacalia*, Asteraceae, Senecioneae, Colombia, Sistemática.

Abstract

A new species of *Pentacalia* from the Sierra Nevada de Santa Marta is described and illustrated. The species belongs to the subgenus *Microchaete* and has its nearest affinity with *P. subarachnoidea* (Cuatr.) Cuatr., from which it is easily separated by the number of phyllaries of the involucre, the ovate and pseudopetiolate leaves, the reddish or golden hairs, the very acute bracts of the peduncles, and the calyculus formed by numerous small acute bracts. Likewise, a new variety of *P. subarachnoidea* is diagnosed from the same area, distinguished from the typical variety by the smaller number of phyllaries, ray flowers and florets. A key for the Sierra Nevada de Santa Marta species are provided.

Key words. *Pentacalia*, Asteraceae, Senecioneae, Colombia, Systematics.

¹ Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Santafé de Bogotá D.C. sdiaz@ciencias.ciencias.unal.edu.co

² Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. mlbueno@ciencias.ciencias.unal.edu.co

En desarrollo de la revisión de los especímenes de *Pentacalia* y como parte de la preparación de la monografía correspondiente para la Flora de Colombia, se han encontrado algunas novedades que se presentan a continuación.

***Pentacalia romeroana* Díaz & Bueno sp. nov. Fig. 1**

Tipo. COLOMBIA, Departamento del Magdalena, Municipio de Ciénaga. Región de Santa Marta, flanco oeste de la Sierra Nevada, 16 Ene 1954, R. Romero 4551 (Holotypus COL).

Etimología. Dedicada al destacado botánico **Rafael Romero Castañeda** (Ciénaga, Magdalena, 28 de marzo de 1910-Bogotá, 10 de enero de 1973).

Fruticulus 50 cm. altus plus minusve ramoso-foliatus ramus ramalisque striolatis juvenilibus densiuscule pubescentibus pilis ochraceis longis valde tenuibus plus minusve flexuosis, intricatis subadpressis araneoides.

Folia alterna coriacea breviter pseudopetiolata, obovata distale maxima latitudine (20-28 mm long x 8-13 mm lat) basim versus gradatim angustata proximale circa 2.0 mm lata, margine parce revoluta vel plana, serrata (4 dentibus calloso mucronatis triangularibus utroque latere), plus minusve cinnamomeo vel ochraceo pilosa induta pilis adpressis visu araneosis plus minusve deciduis.

Synflorescentiae terminales pauciflorae 1-6 capitula pedunculata ferentes. Pedunculi densiuscule ochraceo-pubescentes 3-4 cm longi 2-4 bracteis lineare-lanceolatis acutis circa 5 mm longis. Calyculus 10-12 bracteolis lineari-triangularis acutis 5-7 mm longis x 0.8-1.0 mm latis, glabris vel tenuiter araneosis. Capitula radiata circa 12 mm alta circulo ligulari 22 mm diam. Involucrum subcampanulatum 13 phyllariis, 6-8 interioribus ellipticis 6.2-6.5 mm longis, 2.6-3.0 mm latis dorso crassiusculo herbaceo glabro vel tenuiter araneoso, marginibus late scariosis ad apicem ciliato-penicillatis, pilis unicellularibus, exterioribus angosto-ovatis 5.5-6.0 mm altis x 1-2 mm latis, dorso glabro vel leviter araneoso marginibus breviter scariosis. Receptaculum planum alveolatum 5 mm diam.

Flores radii ligulati 18 in capitulo. Corolla lutea 10.5 mm longa, tubo 3 mm longo; lamina crassiuscula circa 7.5 mm longa, circa 3 mm lata glabra anguste elliptica apice obtusa et minutissime 2-3 denticulata, 4 venulata venulis immersis. Stylus 4.5 mm, ramis 1.5 mm longis, obtusis apice truncato. Ovarium 1.5 mm longum; pappus albus 5.0-5.2 mm longus setis strigulosus apice incrassatis papilloso clavatis. Flores disci hermaphroditi circa 80 in

capitulo. Corolla tubulosa lutea glabra 5-6 mm longa, tubo 1.8-2.0 mm longo, limbo tubuloso lobis triangularis 0.5 mm longis 0.5 mm latis; antherae pallidae 2 mm longae basi acute sagittatae; collum crasse lageniforme 0.3 mm longum, filamento tenue flexuoso 1.2-1.5 mm longo; stylus maturitate exertus 2 ramis 1.5 mm longis cum apice truncato; ovarium oblongum 5-nervatum 1.5 mm longum, 0.4 mm latum, pappus albus 4.0-4.5 mm longus setis uniseriatis strigulosus fragilibus apice incrassatis breviter clavatis basi non coalitis

Arbustos de cerca de 50 cm alt, tallos de 4 mm diam glabros, canaliculados y de color marrón oscuro; ramas y ramillas cubiertas por indumento lanoso cinamómeo o dorado, hojas obovadas, concóloras, pseudo pecioladas, lámina foliar aplanada, de 20-28 mm long por 8-13 mm lat, ápice obtuso, mucronado, pseudo peciolo de 3-5 mm long por 1.5-3 mm lat aplanados y tenuemente acanalados, haz foliar con retículo inconspicuo y laxamente tomentoso, envés laxa a densamente tomentoso, pelos de cinamómeos a dorados, nervio medio prominulo, los laterales ascendentes, margen aserrada con cuatro dientes callosos por lado y ligeramente revoluta.

Capítulos solitarios o agrupados en pseudo corimbos de 3-6, pedúnculos esbeltos de 2 mm diam, y 30-40 mm long, densamente tomentosos con 2-4 brácteas angosto ovadas a subuladas, glabras o laxamente tomentosas de 5-7 mm long x 0.8-1.0 mm lat, involucro sub acampanado formado por 13 filarias, las exteriores 5-6 angosto ovadas de 5.5 mm long x 1-2 mm lat, glabras en el dorso o con escaso indumento aracnoideo, margen ligeramente escariosa; las interiores 6-8, angosto elípticas, 6.2-6.5 mm long x 2.6-3.0 mm lat, engrosadas en el dorso y glabras o con ligero indumento aracnoideo, márgenes anchamente escariosas, ápice con un mechoncito de cilios unicelulares; receptáculo plano, alveolado y de 5 mm diam.

Flores radiales liguladas 18 por capítulo, corola amarilla de 10.5 mm long, porción tubular de 3 mm long, lámina angosto elíptica, crasiúsula, de ca. 7.5 mm long x 3 mm lat, glabra, obtusa en el ápice y con 2-3 denticulos engrosados, generalmente con 4 vénulas inmersas; estilo de 4.5 mm, ramas estigmáticas de 1.5 mm long, obtusas y truncadas en el ápice; ovario de 1.5 mm long, papus blanquecino, cerdas estrigosas de 5.0-5.2 mm long, engrosadas y claviformes en la porción apical.

Flósculos del disco hermafroditas, ca. 80 por capítulo, corola tubulosa, amarilla, glabra de 5-6 mm long, porción tubular de 1.8-2.0 mm long, limbo tubuloso, lóbulos triangulares de 0.5 mm long x 0.5 mm lat, anteras amarillo pálidas, de 2 mm long. y con la base agudo-sagitada;

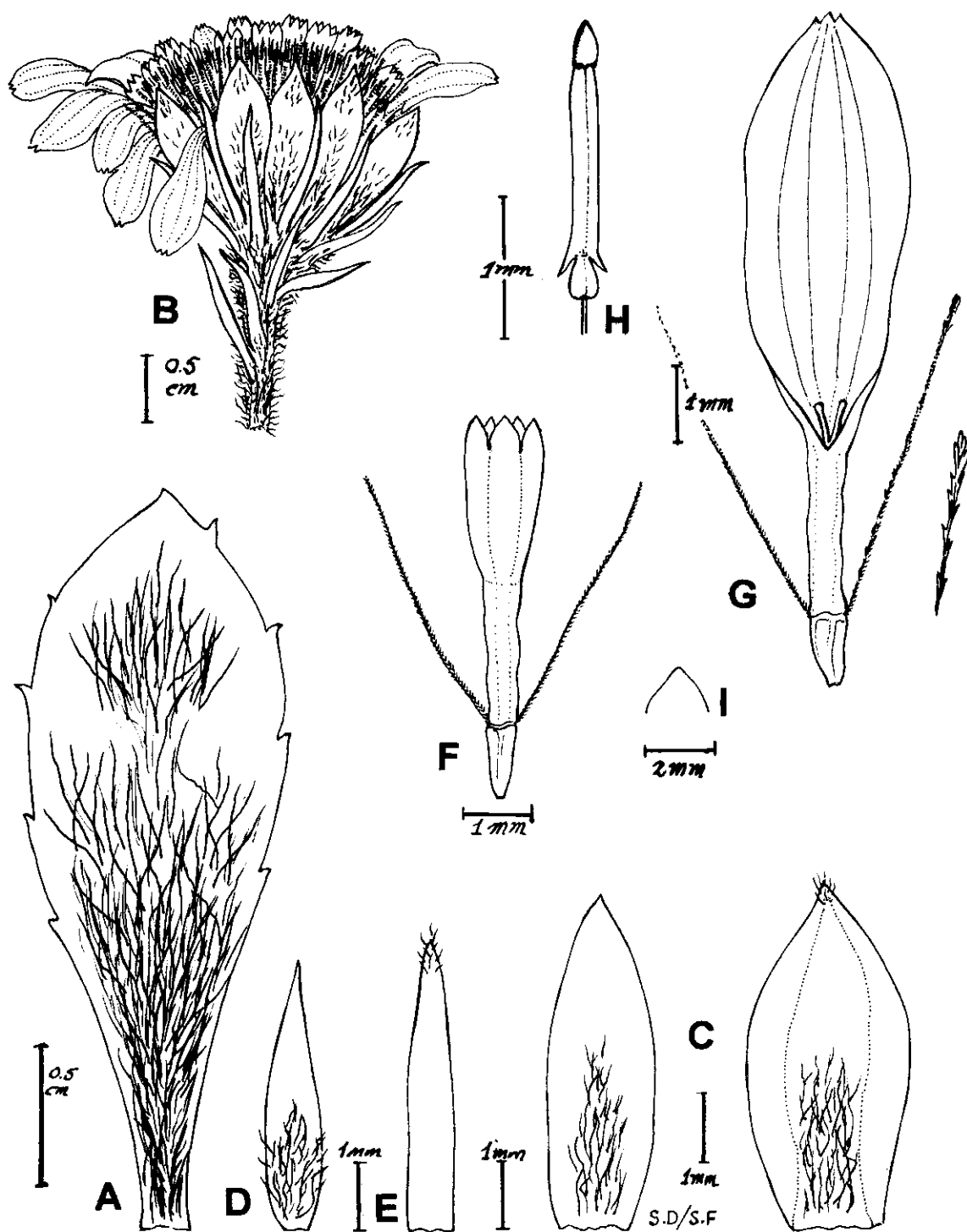


Figura 1. *Pentacalia romeroana* Díaz & Bueno. **A.** Hoja, **B.** capítulo, **C.** filarias exterior (izquierda) e interior (derecha), **D.** bráctea del pedicelo, **E.** bráctea del cálculo, **F.** flósculo, **G.** flor ligulada (a la derecha detalle del extremo de una cerda del pappus [x 48]), **H.** antera, **I.** lóbulo de la corola de un flósculo. Tomado del ejemplar tipo *R. Romero 4551* (COL). Dibujo de S. Díaz y S. Fernández.

collar lageniforme engrosado de 0.3 mm long, filamento tenue, flexuoso 1,2- 1.5 mm long.; estilo exserto cuando maduro, ramas estigmáticas de 1.5 mm long, con ápice truncado; ovario de 1,5 mm long. x 0.4 mm lat, oblongo y con 5 costillas, papus blanco, 4.0-4.5 mm long, setas uniseriadas, libres en la base, estrigulosas, frágiles y ensanchadas y claviformes en el ápice.

Pentacalia subarachnoidea var. **pauciflora** Díaz & Bueno var. nova.

Pentacalia subarachnoidea var. *typicae* affinis a qua imprimis differt minore copia ligularum (13 vs. 20-22) flosculis (74 vs. 91-119) et phyllaris (16 vs. 21) capytulum formantibus.

Tipo. COLOMBIA, Departamento del Magdalena, Sierra Nevada de Santa Marta, caserío de San Sebastián, 2400 m alt, 5 de Diciembre de 1978, O. Rangel, H. Sturm & E. Wedler 1868 (Holotypus var. COL)

En el territorio de la Sierra Nevada de Santa Marta, tan rico en endemismos, debido a su aislamiento de la cordillera andina, se han encontrado diez especies del género *Pentacalia*, subgénero *Microchaete*; además se presentan una subespecie y una variedad. Con el fin de facilitar su identificación se presenta la siguiente clave que permite separarlas fácilmente.

**CLAVE PARA LAS ESPECIES DE *PENTACALIA*,
SUBGENERO *MICROCHAETE* DE LA SIERRA
NEVADA DE SANTA MARTA**

1. Capítulos discóideos

2. Filarias 8 por capítulo

3. Hojas angosto elípticas, enteras, sésiles o claramente pecioladas *P. carrikeri*.

3'. Hojas anchamente elípticas, enteras, sésiles, pecioladas y perfectamente dentadas
..... *P. taironae*

2'. Filarias 13 por capítulo

4. Hojas pecioladas *P. hammenii*

4'. Hojas sésiles *P. harrietae*

1'. Capítulos radiados

5. Pecíolos auriculados en la base.

6. Envés foliar ceniciento, densamente adpreso-villoso, flósculos, 45-60 por capítulo
..... *P. schultzei*

6' Envés foliar glabrescente, pelos flexuosos más o menos enredados y dispersos, flósculos 69-85 por capítulo *P. schultzei* var. *sevillana*

5'. Pecíolos sin aurículas

7. Filarias 13 por capítulo.

8. Capítulos terminales solitarios a veces formando pseudocorimbos de hasta cuatro capítulos, hojas pseudopecioladas con cuatro dientes por lado *P. romeroana*

8'. Capítulos en corimbos policéfalos, hojas pecioladas con dientes solo en la mitad superior *P. polymera*

7'. Filarias 16- 21 por capítulo.

9. Márgenes foliares enteras y revolutas

10. Hojas de 3.5-5 cm. long x 1.6-2 cm. lat., pelos moniliformes amarillos rellenos de zumo, cálculo de 3-4 bractéolas
..... *P. juajibioy*

10'. Hojas de 2-3.5 cm. long. x 0.8-1.6 cm. lat. pelos finos hialinos, cálculo con numerosas (ca. 14) bractéolas
..... *P. mamancanacana*

9' Márgenes dentadas al menos en la mitad superior

11. Flores liguladas 20-22 por capítulo, flósculos hermafroditas más de 90
..... *P. subarchnoidea*

11'. Flores liguladas 13 por capítulo, flósculos hermafroditas ca. 70
..... *P. subarachnoidea* var. *pauciflora*

NUEVA ESPECIE DE *PENTACALIA* SUBGENERO *PENTACALIA* (ASTERACEAE-SENECIONEAE) DE COLOMBIA

por

Santiago Díaz-Piedrahita¹ & Gina Paola Méndez Ramírez²

Resumen

Díaz-Piedrahita, S. & G. P. Méndez: Nueva especie de *Pentacalia* subgénero *Pentacalia* (Asteraceae-Senecioneae) de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 205-208, 1997. ISSN: 0370-3908.

Con base en los caracteres ilustrados en una lámina de la colección iconográfica de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada (1783-1816) y en una diagnosis correspondiente al análisis de seis capítulos, se propone una nueva especie afin a *Pentacalia theaefolia* (Benth.) Cuatr., de la cual puede diferenciarse fácilmente por el mayor tamaño de las hojas (13 - 15 cm long x 5.2 cm lat vs. 3.0 - 7.0 cm long x 1.4 - 2.7 cm lat) y la densidad del indumento que cubre los tallos y el envés foliar.

Palabras claves: *Pentacalia*, Senecioneae, Asteraceae, Colombia, sistemática.

Abstract

Based on the characters illustrated on a plate from the iconographic collection of the Royal Botanical Expedition of the New Kingdom of Granada (1783-1816) and some corresponding diagnoses from the six chapters, a new species, allied to *Pentacalia theaefolia* (Benth.) Cuatr. is proposed. It can be distinguished readily because of the size of the leaves (13 - 15 cm long x 5.2 cm lat vs. 3.0 - 7.0 cm long x 1.4 - 2.7 cm lat) and the density of the hairs that cover the stems and the undersides of the leaves.

Key words: *Pentacalia*, Senecioneae, Asteraceae, Colombia, systematics.

En desarrollo de la preparación de los manuscritos correspondientes al tomo XLVIII de la Flora de la Real

Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada, y paralelamente, con la revisión de los materiales del género *Pentacalia* Cassini, para la monografía en preparación de la Flora de Colombia (Díaz-Piedrahita & Cuatrecasas), se ha encontrado una novedad taxonómica respaldada por dos documentos históricos, el primero una diagnosis correspondiente a la disección de seis capítulos, el

¹ Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 7495. E.mail. sdiaz@ciencias.ciencias.unal.edu.co

² Apartado Aéreo 43237. Santafé de Bogotá. Colombia.

segundo una lámina policroma iluminada en acuarela temperada, documentos que se conservan en los archivos del Real Jardín Botánico de Madrid. Dado que no se dispone de material de herbario y que las láminas y diagnósis elaboradas por los integrantes de la Real Expedición Botánica guardan una gran fidelidad con las plantas representadas, lo cual es verificable en más de seis mil ochocientas cuarenta y nueve láminas, de las cuales dos mil novecientas cuarenta y cinco están iluminadas a color, dos mil cuatrocientas cuarenta y ocho son monocromas y más de mil corresponden a borradores, diagnósis y disecciones. En esta admirable colección de ilustraciones botánicas están representadas cerca de dos mil setecientas especies originarias de Colombia y Ecuador. La descripción de la nueva especie ha sido elaborada con base en estos documentos y teniendo como antecedente la pauta planteada en la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada por el padre **Lorenzo Uribe Uribe** en el tomo XXVII: 35, cuando describe *Passiflora azeroana* y, por el primero de los autores de este artículo en el tomo XLV(1): 40, cuando describe *Centropogon ignoti-pictoris*; en ambos casos, las tipificaciones se hicieron en las láminas originales, conservadas en el Real Jardín Botánico de Madrid, acogiéndose a lo establecido en el artículo IX literales 9.1, 9.3 del Código Internacional de Nomenclatura Botánica en su edición de 1983 (Congreso de Sidney, 1981), normas que no han sido modificadas en los congresos y ediciones posteriores.

Cabe destacar que, con posterioridad a la descripción de *Passiflora azeroana* Uribe, se han encontrado poblaciones de la especie cuyos ejemplares de herbario coinciden plenamente en sus caracteres con las láminas de la colección iconográfica, y que la existencia de *Senecio carbonelli* Díaz se dedujo primero con base en una diagnósis similar a la de la *Pentacalia* que se describe a continuación, habiendo encontrado posteriormente el ejemplar que sirvió para tipificar dicha especie. Las diagnósis correspondientes a 113 especies de compuestas forman parte de un paquete documental distinguido con el número 13(2), folios 395 a 430 (1-16 de la signatura original) y que forma un conjunto claramente numerado del 1 al 102, en el que se incluyen datos pertinentes a 101 especies. Cada diagnósis trae información relativa a la clasificación preliminar, nombres vulgares y observaciones sobre la estructura del cáliz (involucro), los flósculos hermafroditas, los flósculos femeninos, el vilano, las semillas (aquenios) y el receptáculo. En muchos casos se añaden observaciones sobre el hábito de la planta, color de las flores, forma y posición de las hojas, otras

características, usos y el promedio de las flores analizadas. Los anteriores documentos se corresponden con un álbum de acuarelas conocidas en su momento como "**Album de florones de Francisco Javier Matís**", iniciado el 4 de mayo de 1809 por este pintor con la supervisión de **Sinforoso Mutis Consuegra**, entonces director de la Expedición. En el mismo se ilustran detalladamente las diagnósis anatómicas de 122 especies de asteráceas; tal cuadernillo está organizado con una foliación que va del No. 1 al 54 y que contiene 156 dibujos anatómicos con anotaciones pertinentes al número de piezas de cada verticilo.

Pentacalia sinforosi Díaz & Méndez sp. nov.

Figura 1

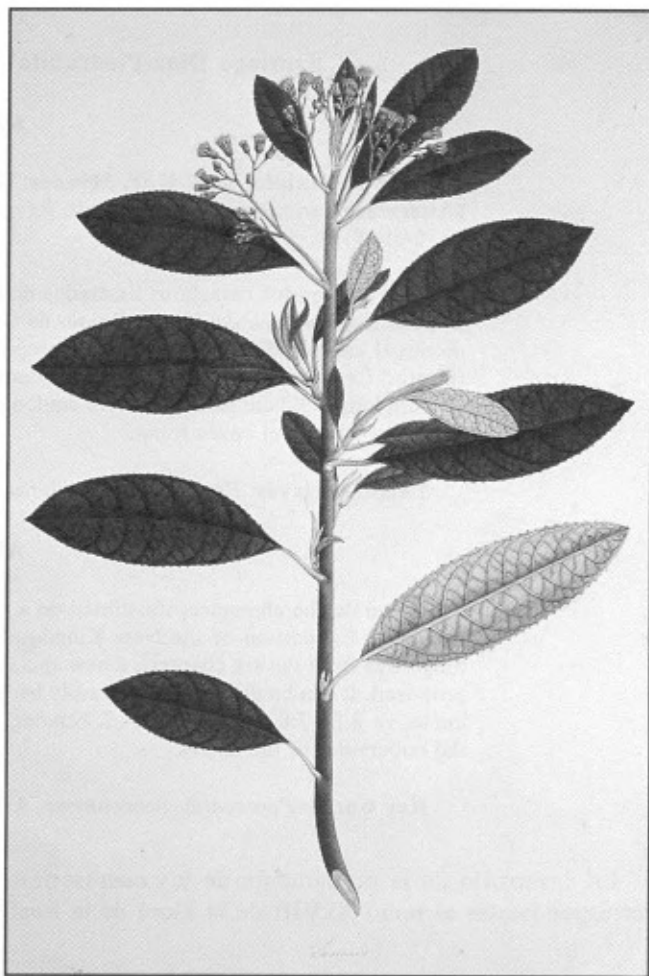


Figura 1. *Pentacalia sinforosi* Díaz & Méndez. Lámina 1136 de la colección iconográfica de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada. Real Jardín Botánico de Madrid. Dibujo de Manuel Martínez.

Rason de Escamas y flosculos de las Singenesias.

Orden 1.º e Equalis.



Los calis q.º se componen de 6.º 7.º Escamas de las mayores es por la casualidad de aberse unido una con otra pero bien se conoce por lomas ancho de ella y que termina en dos puntas y así se ubserba q.º en el calis de 6. ai dos mayores, y en el de 7. à una mayor.

Figura 2. Facsímil de la diagnosis correspondiente a *Pentacalia sinforosi* Díaz & Méndez. Nótese en la misma que se examinaron seis capítulos para contar las bracteólas del cálculo, las filarias y los flósculos. A la derecha y debajo del perfil de la hoja está la medida de la misma, de la cual se han deducido las dimensiones de la planta. La transcripción de la diagnosis, respetando la ortografía original, es la siguiente:

"Rason de escamas y flosculos de las Singenesias.

Orden 1a. Æqualis

Calis calis de escamas menores	5. mayores yguales	8. Flosculos ermafro	14.
en la base	5.	8. ditos fecundos	14.
Receptaculo desnudo	5.	8.	14.
	5.	8.	13.
	6.	6.	15.
	6.	7.	16.

6. Pulgadas y media de lonxitud.

Los calis q.º se componen de 6.º 7.º escamas de las mayores es por la casualidad de aberse unido una con otra pero bien se conoce por lomas ancho de ella y que termina en dos puntas y así se ubserba q.º en el calis de 6. ai dos mayores, y en el de 7. à una mayor".

Frutex ramis ultimis plus minusve flexuosis medullosis, viridibus fuscentibus tomentosis. Folia alterna petiolata; petiolus circa 1.2 cm. longus, flexuosus (?); lamina angosto-ovata, basi cuneata, apice acuta, margine serrato-dentata, circa 13 cm. longa x circa 5.2 cm. lata, supra laeteviridis, glabra, subnitida, rugulosa, costa impressa ceteris nervis impresso-reticulatis; subtus dense sordido ochracea adpresse lanata, aspectu mucida, costa eminenti, nervis

secundariis circa 13 utroque latere, prominulis subarcuato-ascendentibus, prope marginem arcuatis anastomosatisque, nervis minoribus parvis obsoletis.

Synflorescentiis paniculatis, ramosis secundariis lateralibus ex axillis foliorum supremorum nascentibus, pedunculatis, pedunculis usque ad 5 mm longis, puberulis, apice corymboso-paniculatis contractis, ramulis usque ad

10 cm longis, apice corymbulum saepe 7 - 11 capytulum gerentibus, capytulis 12 mm altis, homogamis, bracteolatis, bracteolis linearibus acutis circa 1 - 3 mm longis, puberulis quorum saepe 5 - 6 infra involucrium coacervatis calyculum efformantibus; involucri angusticampanulati, squamis 7 - 8 anguste-ovatis, acutiusculis circa 10 mm longis, fuscescenti-viridibus, herbaceis (?) scarioso-marginatis (?) receptaculi nudi. Floribus hermaphroditi tubulosis disci 13 - 16, corollis glabris luteis; pappus albidus.

Typus. Tabula 1136 coll. iconographicae J.C. Mutisii in Hortu Botanico Matritensis asservatae.

Etimología: Especie dedicada a **Sinforoso Mutis Consuegra** (*Bucaramanga, 15 julio 1773 - +Bogotá, 22 agosto 1822), segundo director de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada, reorganizador de la misma y promotor, junto con **Francisco Javier Matís**, de los álbumes de anatomías y diagnosis de flores, y en particular de los capítulos de asteráceas.

Frútiles grandes, ramas terminales más o menos tortuosas y medulosas, verde-negruzcas, lanuginosas. Hojas alternas pecioladas, pecíolos de ca. 0.5 cm long., flexuosos, lámina foliar angosto-ovada, ca. 13 cm long. x ca. 5.2 cm lat, cuneada en la base, aguda en el ápice, márgenes aserrado-dentadas, superficie adaxial verde oscura, glabra, sublustrosa, rugulosa y con el nervio medio impreso, los otros nervios impreso-reticulados, superficie abaxial frecuentemente adpreso-tomentosa, indumento ocráceo-mohoso, nervio medio elevado, nervios secundarios ca. 13 por cada lado, promínulos, subarqueados, ascendentes y anastomosados cerca a las márgenes, retículo obsoleto.

Sinflorescencias paniculadas, ramas secundarias en las axilas de las hojas superiores, pedúnculos hasta de 5 mm long., pubérulos y corimboso-paniculados, capítulos contraídos hacia el ápice, ramillas de 3 - 5 cm long., rematadas en un pseudo-corimbo apical, de 7-11 capítulos. Capítulos homógamos, bracteolados, bractéolas lineares,

agudas, de ca. 1-3 mm long., pubérulas, casi siempre agrupadas en la base del capítulo en un cálculo de 5 - 6 piezas. Involucro angosto-acampanado, formado por 7-8 filarias, angosto-ovadas, acutiúsculas, ca. 10 mm long., herbáceas, dorsalmente verde-negruzcas y con las márgenes escariosas; receptáculo desnudo, flósculos del disco hermafroditas tubulosos, 13-16 por capítulo, corolas amarillas, glabras, pappus blanquecino.

Por sus caracteres, *Pentacalia sinforosi* muestra similitud con el grupo de especies con sinflorescencias tirsoideo-paniculadas, capítulos discoideos, involucros formados por 8 filarias y hojas con la margen dentada, siendo la especie más afín *P. theaefolia*, de la cual se separa por el mayor tamaño de las hojas y la densidad del indumento que cubre los tallos y el envés foliar. De las demás especies afines se distingue así: de *P. arborea* porque sus nervios secundarios no divergen en ángulo recto o casi recto y por la densidad del indumento que viste sus hojas y tallos; de *P. chaquiroensis* y *P. diamantensis* se separa por las dimensiones de sus hojas que las cuadruplican; de *P. trianae* se diferencia por la forma del ápice foliar, el indumento del envés y también el mayor tamaño de las hojas.

Bibliografía citada

- Díaz-Piedrahita, S. 1985. Cucurbitales y Campanulales de la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada. Tomo XLV(1): 40-41. Láminas 44 y 45.
- Díaz, S. 1986a. Aspectos metodológicos de la actividad taxonómica adelantada por los integrantes de la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo reino de Granada, 1783-1816. Anales Real Jardín botánico de Madrid 41(2): 441-450.
- . 1986b. Apuntes a la Flora de Colombia. Estudios en Compuestas VI. Caldasia 15(71-75): 35-39.
- . 1993. Aventuras y desventuras de un miniaturista. Boletín de Historia y Antigüedades. 530(783): 1011-1040.
- Uribe, L. 1955. Pasifloráceas y begoniáceas de la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada. Tomo XXVII: 35.
- Voos, E. G. et alii. 1983. International Code of Botanical Nomenclature.

NOVEDADES Y CORRECCIONES DE LA FLORA DE UREDINALES DE COLOMBIA

por

Víctor Manuel Pardo-Cardona *

Resumen

Pardo-Cardona, V.M.: Novedades y correcciones de la flora de Uredinales de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 209-215, 1997. ISSN 0370-3908.

Se incrementa la información sobre las especies de Uredinales de Colombia al proponer dos nuevas especies para la ciencia, registrar 10 nuevos hospedantes para 5 especies de Uredinales y 3 hospedantes ya conocidos mundialmente pero nuevos para el país. Se hacen algunas correcciones a la Flora uredinológica colombiana. Se determinan a nivel de variedad algunas colecciones Colombianas de *Puccinia levis*.

Palabras claves: Royas, Uredinales, Hospedantes, Colombia.

Abstract

The information about colombian rust-fungi is increased. Two new species are proposed; 10 new hosts are registered; 3 new hosts, previously well-known worldwide are registered for first time for Colombia. The varieties of some Colombian collections of *Puccinia levis* are determinated. Corrections about Colombian uredinological flora are done.

Key words: Rust-fungi, Uredinales, Hosts, Colombia.

A pesar de que recientemente se publicó un índice actualizado de los Uredinales de Colombia (**Buriticá & Pardo-Cardona** 1996), este grupo de hongos es aún poco conocido en nuestro país y continuamente se encuentran novedades. Las colecciones efectuadas en el último año y la revisión de otras anteriores hacen necesario señalar

nuevos hallazgos y determinaciones. Por otra parte, en unas pocas especies ya registradas, se hace necesario indicar algunas adiciones y correcciones.

1. **Catenulopsora praelonga** (Spegazzini) Buriticá, Rev. Acad. Colombiana Cienc. **19**(74):464. 1995.

= *Rostrupia praelonga* Spegazzini. Contribución al estudio de la Flora de la Sierra de Ventana. En: Ministerio de Obras Públicas, Buenos Aires (Argentina), La Plata, p. 83. 1896.

* Profesor Titular, Museo Micológico, Universidad Nacional de Colombia, Apartado aéreo 3840, Medellín.

= *Kuehneola malvicola* (Spegazzini) Arthur, N. Amer. Flora 7(3):187. 1912.

= *Cerotelium malvicolum* (Spegazzini) Dietel, Die Naturlich. Pflanzenfamilien Ed. 2. 6:70-71. 1928.

Anamorfos:

Macabuna malvicola (Spegazzini) Buriticá, Rev. Acad. Colombiana Cienc. 19(74):464. 1995.

= *Uredo malvicola* Spegazzini, An. Soc. Cient. Argentina 17:124. 1884.

= *Uredo hibisci* H. & P. Sydow, Hedwigia Beibl. 40:128. 1901.

Sobre: *Abutilon* sp (Malvaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Caramanta, corregimiento Alegrías, 1800 m. alt., 21 Feb 1997, C.A. Roza; municipio de Medellín, 1450 m. alt., 1995, P. Buriticá; barrio Robledo, Jardines Facultad de Medicina Veterinaria U. de A., 1500 m. alt., W. Cardona, MMUNM 739; predios Universidad Nacional, 1450 m. alt., 28 Jun 1996, M. Salazar 01, MMUNM 732; municipio de Rionegro, Centro Experimental La Selva, ICA, 2200 m. alt., 30 Sep 1996, A. Muriel, A. Cardona & D. Cano, MMUNM 744; municipio de Santo Domingo, cabecera municipal, cerca al Hospital Antioquia, 1960 m. alt., 2 Feb 1997, L.M. Agudelo.

Con esta nota se corrige el género del hospedante, erróneamente determinado como *Hibiscus* sp (Buriticá & Pardo-Cardona 1996) y se amplía la información acerca de su distribución geográfica en el departamento de Antioquia.

2. **Gerwasia variabilis** (Mayor) Buriticá, Rev. I.C.N.E. (Medellín) 5(2): 188. 1994

= *Uromyces variabilis* Mayor, Mem. Soc. Neuchatel. Sci. Nat. 5:457. 1913.

= *Mainsia variabilis* (Mayor) Jackson & Holway. En: Jackson, Mycologia 23: 11. 1931.

Anamorfos:

Spirechina variabilis Dietel, Die. Nat. Pflanzenfamilien, Ed. 2:6. 1931

= *Spirechina variabilis* Kern & Whetzel, En: Chardon & Toro, J. Dept. Agr. Puerto Rico 14:309. 1930.

Sobre: **Rubus floribundus** H.B.K. (Rosaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Santa Rosa de Osos, bifurcación de la carretera a San José de la Montaña y San Andrés de Cuerquia, 2680 m. alt., 23 Sep 1994, Pardo-Cardona 346, MMUNM 619 (I, II, III); municipio de San José de la Montaña, camino a La Arabia, 2950 m. alt., 3 Nov 1994, Pardo-Cardona 348, MMUNM 621; **R. guianensis** Focke, municipio de Belmira, carretera a las Trucheras, 2600 m. alt., 3 Nov 1996, E. Niño 23, MMUNM 791 (I, II, III).

R. floribundus y *R. guianensis* son nuevos hospedantes para *G. variabilis*. En Suramérica ya había sido registrada sobre *R. megalococcus* Focke y *R. nubigenus* H.B.K. ambos en la república del Ecuador (Jackson 1931). En Colombia solo estaba registrada sobre especies no determinadas de *Rubus* (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

3. **Puccinia brachypodii** Otth. var. **poae-nemoralis** (Otth.) Cummins & Greene, Mycologia 58:705. 1966.

= *Puccinia poae-nemoralis* Otth., Mitth. Natur. Ges. Berna 1870: 113. 1871.

= *Puccinia exigua* Dietel, Hedwigia 36: 299. 1897.

= *Puccinia poae-sudeticae* Joerstad, Nytt. Mag. Naturv. 70: 325. 1932.

= *Puccinia poae-annuae* Viennot-Bourgin, Bull. Soc. Mycol. Francia 84: 497. 1968.

Anamorfos:

Macabuna poae-sudeticae (Westend) Buriticá, Rev. Acad. Colombiana Cienc. 20(77): 206. 1996.

= *Uredo poae-sudeticae* Westend, Bull. Roy. Acad. Belg. II: 650. 1861.

= *Uredo anthoxanthina* Bubak, Ann. Mycol. 3: 223. 1905.

Sobre: **Poidium jurgensii** (Haeckel) Matthei (Poaceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Guarne, 2150 m. alt., 9 Ene 1996, Amaya 08, MMUNM 690 (II).

Este nuevo registro amplía el rango mundial de hospedantes para *P. brachypodii* var. *poae-nemoralis* la cual ya había sido registrada en Colombia sobre *Alopecurus aequalis* Sobol, *Anthoxanthum odoratum* L., *Poa annua* L. y *P. pratensis* Nielson. (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

4. *Puccinia cordicola* Pardo-Cardona, sp. nov. (Fig. 1)

Anamorfo: *Aecidium cordicola* Pardo-Cardona, sp. anamorph. nov.

Tipo: Sobre *Cordia spinescens* L. (Boraginaceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Yolombó, Vereda El Pichón, márgenes del río Nechí, 1100 m. alt., 11 Oct 1993, Pardo-Cardona 271, MMUNM 518 (0, I, III).

Spermogoniis epiphyllis, 205-260 x 212-250 μ m, maculis fulvis insidentibus, aggregatis, numerosis, oppositis aecidiis; hymenio concavo, typus 4 (Cummins & Hiratsuka 1980). Aecidiis hypophyllis, 212-413 x 177-280 μ m, in greges rotundatos 3-20, albidis; cellulis peridii rhomboideis vel oblongis, angularibus, 45-62,5 x 15-32,5 μ m; parietibus verrucosis, hyalinis; sporis globosis vel elipsoideis, 28-35 x 17-30 μ m; parietibus verrucosis, hyalinis vel flaveis. Soris uredosporiferis adhuc ignotis. Soris teleutosporiferis hypophyllis, minutis, erumpentibus, circa aecidia; sporis oblongis vel elipsoideis, medio constrictis, 45-62,5 x 155-32,5 μ m; parietibus flaveis vel brunneis pallentibus, 1,0 μ m crasso; pedicello hyalino, crasso, brevi, persistente.

Espermogonios epífilos, de 205-260 x 212-250 μ m, en manchas rojizas, en grupos numerosos, negruzcos, opuestos a los aeciosoros, himenio cóncavo, tipo 4 (Cummins & Hiratsuka 1983). Anamorfo en *Aecidium* Persoon, hipófilo, de 212-413 x 177-280 μ m, en grupos de 3-20, formando pequeñas agallas, eruptivos, blanquecinos; células peridiales de romboides a oblongas, angulares, 45-62,5 x 15-32,5 μ m; pared hialina, verrucosa; aeciosporos de globosos a elipsoides, 28-35 x 17-30 μ m; pared verrucosa, de hialina a ligeramente amarilla. Uredosoros desconocidos. Teliosoros hipófilos, diminutos, eruptivos, cerca a los ecidios; teliosporos de oblongos a elipsoides, constreñidos en el septo, de 45-62,5 x 15-32,5 μ m; pared lisa, de amarillenta a café pálido, de 1,0 μ m de espesor uniforme; pedicelo hialino, persistente, corto.

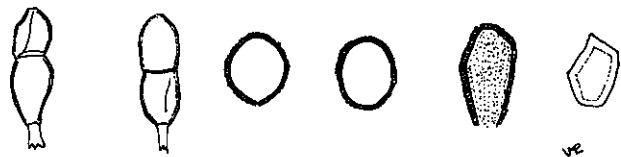


Figura 1. Esquema de las estructuras y estados esporicos de *Puccinia cordicola*, tomados del tipo. Izquierda: teliosporos; centro: aeciosporos; derecha: células del peridio. Barra = 25 μ m.

P. cordicola difiere de *Puccinia cordiae* Arthur (Mycologia 8: 17. 1916) en los estados esporicos y en la morfología del teliomorfo. *P. cordiae* posee uredosoros parafisados y teliosoros, en tanto que *P. cordicola* no posee uredosoros pero en cambio presenta espermogonios y aeciosoros. Es claro que *P. cordicola* es una especie autóica. Además existen importantes diferencias en la morfología de los teliosporos. Finalmente el hospedero de *P. cordiae* es *Cordia alliodora* (R. & Pav.) Cham.

Esta especie es la primera de *Puccinia* Persoon que se registra en Colombia sobre el género *Cordia* L. Anteriormente habían sido registradas para el país *Alveolaria cordiae* Lagerheim y *Uredo cordiorum* Kern & Whetzel. (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

5. *Puccinia cnici-oleracei* Persoon ex Desmazières, Catal Pl. Omis. p 24. 1823. sensu lato.

= *Puccinia asteris* Duby, Bot. Gall. 2: 888. 1830.

= *Puccinia acanthospermi* P. Hennings, Hedwigia 41: 296. 1902.

= *Puccinia doloris* Spegazzini, Anal. Soc. Ci. Argentina 12: 23. 1881.

= *Puccinia melampodii* Dietel & Holway En: Holway, Bot. Gaz. 24: 32. 1897.

= *Puccinia eleutherantherae* Dietel, Ann. Mycol. 7: 354. 1909.

= *Puccinia spilanthicola* Mayor, Mem. Soc. Neuch. Sci. Nat. 5: 531. 1913.

Sobre: *Galinsoga quadriradiata* R & P. (Asteraceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Yolombó, Vereda Mulatos, finca Guamito, 8 oct 1991, Pardo-Cardona 135, MMUNM 341.

Galinsoga urticaefolia Benth., Yolombó, Estación Sofia, 883 m. alt., 9 oct 1991, Pardo-Cardona 138, MMUNM 361.

Lagascea mollis Cav. (Asteraceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, Santa Fe de Antioquia, Centro Cotové, Universidad Nacional, 550 m. alt., 8 jun 1996, Pardo-Cardona 371, MMUNM 726; Antioquia, Sopetrán, Vivero Universidad Nacional, 730 m. alt., 23 abr 1994, Pardo-Cardona 301, MMUNM 550.

Los anteriores registros amplían el rango mundial de *P. cnici-oleracei*, la cual ha sido registrada anteriormente sobre *Acmella ciliata* (H.B.K.) Cassini, *A. mutisii* (H.B.K.)

Cassini, *Eleutheranthera ruderalis* Schultz-Bip., *Erigeron* cf. *uliginosus* Benth., *Ayapana turbacensis* (Hieron.) R.M. King & H. Robinson, *Sonchus oleraceus* L., *Synedrella nodiflora* (L.) Gaertn., *Wedelia caracasana* DC, *W. jacquinii* Rich. y *W. trichostephia* DC (Pardo-Cardona 1994).

P. cnici-oleracei sensu lato es considerada actualmente como una especie que parasita un complejo de especies de plantas dentro de la familia *Asteraceae*, y que incluirían como sinónimos a *P. melampodii* Dietel & Holway, *P. spilanthis* Hennings y probablemente *P. emiliae* P. Hennings (Figueiredo et al., 1990).

6. *Puccinia hydrocotyles* Cooke, Grevillea 9:14. 1880.

Sobre *Hydrocotyle bonariensis* Lam. (Umbelliferae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Medellín, Corregimiento San Cristóbal, Vereda El Naranjal, 1990 m. alt., Gómez 09, MMUNM 719 (II).

El presente registro amplía el rango de hospedantes de *P. hydrocotyles* en Colombia donde ya se conocen *H. asiatica* L., *H. humboldtii* Rich., *H. leucocephala* Cham., *H. quinqueloba* Ruiz & Pav., *H. umbellata* L. e *Hydrocotyle* sp (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

7. *Puccinia jericosensis* Pardo-Cardona sp. nov. (Fig. 2)

Anamorfos:

Aecidium jericosensis Pardo-Cardona, sp. anamorph. nov.

Uredo jericosensis Pardo-Cardona, sp. anamorph. nov.

Tipo: Sobre *Aspilia quinquenervis* Blake (Asteraceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Jericó, Vereda Palo Cabildo, finca La Mama, carretera a Palermo, 23 jul 1992, Pardo-Cardona 210, MMUNM 439.

Paratipo: Sobre *Aspilia patentipilia* Blake (Asteraceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Jericó, Vereda Palo Cabildo, carretera a Palermo, 23 jul 1992, Pardo-Cardona 206, MMUNM 443.

Aecidiis amphigenis, plerumque epiphyllis, occasione data numerosis et aggregatis in gallis parvis, occasione data sparsis incumulos 3-4, 220-320x190-300 μ m; sporis globosis vel elipsoideis, 22,5-27,5x15-25 μ m; parietibus fuligineis vel obscure brunneis, verrucosis; cellulis peridii oblongis, obclavatis, 32,5-45x15-25 μ m; subtiliter echinulatis. Soris uredosporiferis hypophyllis, flavis, minutis, sparsis, impetiginosis; sporis globosis, 21-25 μ m

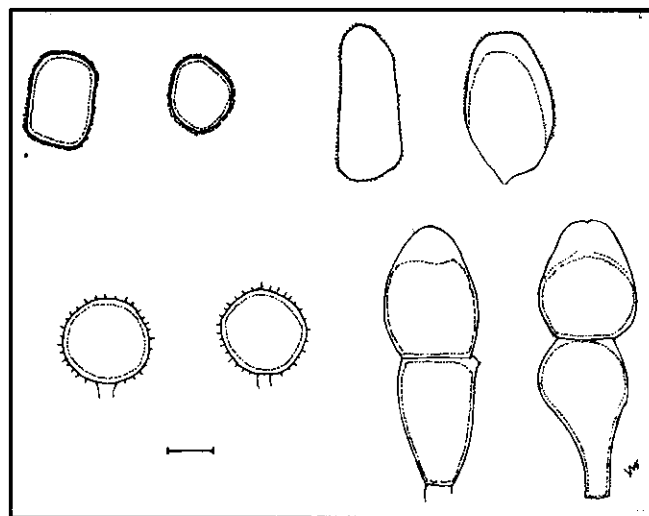


Figura 2. Esquema de las estructuras y estados esporicos de *Puccinia jericosensis*, tomados del tipo. Arriba, izquierda: aeciosporos, derecha células del peridio; abajo, izquierda: uredoniosporos; derecha teliosporos. Barra = 12.5 μ m.

diam., parietibus, brunneo flaveis, aculeatis, 0,7-1,2 μ m crassis. Soris teleutosporiferis hypophyllis, brunneo cinnamomeis, minutis, sparsis, impetiginosis; sporis oblongis vel elipsoideis, 60-75 μ m long, 21-27,5 μ m latitudo cellulis apicalis, 17,5-24 μ m latitudo cellulis basalis; parietibus flavo-brunneis, levis, 0,1-2,5 μ m crassis, versus apicem incrassatis, papillis apice 6-10 μ m; pedicello hyalino, deciduo; mesosporis paucis, clavatis, oblongis vel elipsoideis, 35-52,5x20-24 μ m, occasione data in apice papilla 5-7,5 μ m; parietibus flavo brunneis; 0,1-1,2 μ m crassis, versus apicem incrassatis, pedicello hyalino, deciduo.

Aeciosoros anfigenos, predominantemente epífilos, a veces numerosos, agrupados en pequeñas agallas, a veces dispersos en grupos de 3 ó 4, de 220-320 μ m; esporos ligeramente globosos, elipsoides, polihedrales al comienzo, 22,5-27,5x15-25 μ m; pared de carmelita a café oscuro, de 2,5-5,0 μ m de espesor, verrucosa; células del peridio oblongas, obclavadas, 32,5-45x17,5-20 μ m, ligeramente equinuladas. Uredosoros hipófilos, amarillos, diminutos, dispersos, eruptivos; uredosporos globosos, 21-25 μ m de diámetro; pared café amarillenta, espinosa, 0,7-1,2 μ m de espesor. Teliosoros hipófilos, café canela, diminutos, dispersos, eruptivos; teliosporos oblongos, ampliamente elipsoides, 60-75 μ m de largo, de 21-27,5 μ m de ancho en la célula apical, de 17,5-24 μ m de ancho en la célula basal; pared celular amarillo café, lisa, de 0,1-2,5 μ m de grosor en los costados, incrementándose de la parte inferior ha-

cia la superior; papila apical de 6-10µm; pedicelo hialino, caduco; mesosporos ocasionales, clavados, oblongos o ampliamente elipsoides, de 35-52.55 x 20-24µm, ocasionalmente con papila de 5-7.5µm, pared amarillo café, de 0.1-1.2µm de espesor, aumentando de la base hacia el ápice; pedicelo hialino, caduco.

P. jericosensis difiere de **Puccinia aspiliae** Dietel en que ésta posee un ciclo de vida reducido altamente evolucionado, de **P. fragilispora** Dade por la morfología y tamaño de los teliosporos, y de **P. spegazziniana** De-Toni en que esta no posee estado aecidial (I) y sus teliosporos son diferentes en tamaño y forma. En esta especie queda por determinar la función de los aeciosporos.

8. Puccinia lateritia Berkeley & Curtis, J. Acad. Nat. Sci. Phil. II.2:281. 1853.

= *Puccinia spermacoces* Berkeley & Curtis, Grevillea 3:53. 1874.

= *Puccinia houstoniae* Sydow, Hedwigia p. 126. 1901.

= *Micropuccinia lateritia* Arthur & Jackson, N. Amer. Flora 7:847. 1920.

Sobre *Spermacoce confusa* Rendle (Rubiaceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Santa Fe de Antioquia, Centro Cotové, Universidad Nacional, 550 m. alt., 16 may 1996, M.L. Gómez, MMUNM 711.

El presente registro amplía el rango mundial de hospederos de *P. lateritia*. En Colombia ya estaba registrada sobre *Diodia cymosa* Cham., *Hemidiodia* sp, *Spermacoce laevis* Lam., *S. latifolia* Aubl., *S. ocymoides* Burm. y *S. spinosa* Jacq. (Buriticá & Pardo-Cardona, 1996).

9.a. Puccinia levis (Saccardo & Bizzozero) Magnus Ber. Deutsh. Bot. Ges. 9:190. 1891 var. *levis*.

= *Diorchidium leve* Saccardo & Bizzozero Michelia 2:648. 1882.

= *Puccinia paspali* Tracy & Earle, Bull. Torrey Bot. Club 22:174. 1895.

Sobre *Axonopus scoparius* (Fluegge) Kuhlman (Poaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia; municipio de Jardín, vereda San Bartolo, 1600 m. alt., 5 Dic 1991, Pardo-Cardona 149, MMUNM 403 (II); municipio de Medellín, Escuela Nacional de Agricultura, 1450 m. alt., 10 Jul 1930, Archer H-76, MEDEL 1026, II (Ramachar & Cummins 1965); municipio de Sabaneta, 1575 m. alt., Oct 1941, Garcés & de Rojas.

Manisuris granularis L., (Poaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Fredonia, 1800 m. alt., 3 Ago 1930, Archer H-82, MEDEL 1031 (II, III).

Se corrigen los hospedantes denominados por Buriticá & Pardo-Cardona (1996) como *Paspalum fournerianum* Thell., los cuales son sinónimos de *A. scoparius*.

9.b. Puccinia levis (Saccardo & Bizzozero) Magnus, var. *panici-sanguinalis* (Rangel) Ramachar & Cummins, Mycopath. Mycol. Appl. 25:44. 1965.

= *Uromyces panici-sanguinalis* Rangel, Arch. Mus. Rio de Janeiro 18:159. 1916.

= *Puccinia setariae-viridis* Diet., Ann. Mycol. 15:493. 1917.

= *Puccinia kimurai* Hirat. f. & Yoshinaga, Mem. Tottori Agr. Coll. 3:314. 1935.

= *Diorchidium digitariae* Ahmad, Biologia 2:31. 1956.

Anamorfo

= *Uredo paspali-perrottetti* Petch., Ann. Roy. Bot. Gard. Peradeniya 6:216. 1917.

Sobre *Brachiaria decumbens* Stapf. (Poaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Titiribí, vereda Otramina, finca El Pilar, 1600 m. alt., M. Salazar 15, MMUNM 830 (II, III).

Digitaria aff. *bicornis* (Lam.) Roem. (Poaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Medellín, casa de habitación, 1550 m. alt., 2 Sep 1995, P. Buriticá, MMUNM 694 (II).

B. decumbens es nuevo hospedante para *P. levis* var. *panici-sanguinalis*. Vale la pena destacar que este es un pasto de gran importancia económica en Colombia y que según el colector se ha encontrado causando abundantes y severas infecciones (Pardo-Cardona & Salazar 1997).

9.c. Puccinia levis (Saccardo & Bizzozero) Magnus var. *tricholaenae* (H. Sydow & P. Sydow) Ramachar & Cummins, Mycopath. Mycol. Appl. 25:44. 1965.

= *Diorchidium tricholaenae* H. Sydow & P. Sydow, Ann. Mycol. 10:33. 1912.

= *Uromyces tricholaenae* González-Fragoso & Ciferri Bol. Roy. Soc. Esp. Hist. Nat. 25:357. 1925

- = *Puccinia tricholaenae* (H. Sydow & P. Sydow) Ramak. T. & K. Ramak., Proc. Indian Acad. Sci. B. 28:63. 1948.

Sobre: *Rhynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubb ((Poaceae), COLOMBIA, Cuatrecasas & García 9828 (sin otra información) (Ramachar & Cummins 1965).

Se adiciona el Índice de las royas de Colombia (Buriticá & Pardo-Cardona 1996) con la determinación de las variedades de *P. levis*.

10. *Puccinia substriata* Ellis & Bartholomew, Erythea 5:47. 1897 var. indeterminada. N.B. Al no conocerse la variedad no se relacionan los sinónimos.

Sobre: *Digitaria decumbens* Steud. (Poaceae), COLOMBIA, departamento de Antioquia, municipio de Titiribí, vereda Otramina, finca El Pilar, 1600 m. alt., 7 Feb 1997, M. Salazar 13, MMUNM 832 (II).

D. decumbens es nuevo hospedante de *P. substriata*. En Colombia ya se encuentra registrada sobre *Chaetochloa geniculata* (Lam.) Millsp., *Paspalum conjugatum* Berg., *P. humboldtianum* Flugge y *P. paniculatum* L. (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

11. *Puccinia tageticola* Dietel & Holway, En: Holway, Bot. Gaz. 24:26. 1897.

Sobre *Tagetes erecta* L. (Asteraceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Envigado, Urbanización Milán, 1550 m. alt., 17 nov 1996, Salazar 08, MMUNM 803 (II); municipio de Ituango, Vereda El Guadual, cerca a la Granja, 1200 m. alt., 20 sep 1994, Pardo-Cardona 317, MMUNM 590 (II).

Los presentes registros amplían el rango de hospederos de *P. tageticola* para Colombia. En nuestro país ya había sido registrada sobre *Tagetes microglossa* Benth. y *T. patula* L. (Buriticá & Pardo-Cardona, 1996).

12. *Uredo hypoxidis* (Bressadola) P. Hennings, Hedwigia 40:173. 1901.

= *Doassansia hypoxidis* Bressadola, En: Pazschke, Rabenh. Fg. Eur. Exs. no. 4201. 1901.

= *Uredo globulosa* Arthur, Mycologia 8:22. 1916.

Sobre: *Hypoxis hirsuta* L., (Amaryllidaceae), COLOMBIA, Departamento de Antioquia, municipio de Medellín, Corregimiento San Cristóbal, Vereda El Naranjal, 1990 m. alt., 3 jun 1996, Gómez 07, MMUNM 717.

El presente registro amplía el rango de hospedantes de *U. hypoxidis* para Colombia; ya lo había sido sobre *H. decumbens* L. e *Hypoxis* sp. (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

13. *Uromyces euphorbiae* Cook & Peck, En: Peck, Ann. Rept. New York St. Mus. 25:90. 1873.

= *Uromyces myristica* Berkeley & Curtis, En: Berkeley, Grevillea 3:57. 1874.

= *Uromyces euphorbiicola* Tranzschel, Ann. Myc. 8:8. 1910.

= *Uromyces poinsettiae* Tranzschel, Ann. Mycol. 8:11. 1910.

Anamorfo:

Uredo proeminens De Candolle, Fl. France 2:235. 1805.

Sobre: *Euphorbia glomerifera* (Millsp.) Wheeber (Euphorbiaceae), COLOMBIA, Santa Fe de Antioquia, Centro Cotové, Universidad Nacional, 550 m. alt., Noviembre de 1996, Salazar 10, MMUNM 817 (II, III).

E. glomerifera es nuevo hospedante mundial para *U. euphorbiae*. En Colombia ya está registrada sobre *Chamaesyce brasiliensis* (Lam.) Small, *Ch. hirta* (L.) Millsp., *Ch. hyperifolia* (L.) Millsp., *Ch. hyssopifolia* (L.) Small y *Euphorbia pilulifera* L. (Buriticá & Pardo-Cardona 1996).

14. *Uromyces setariae-italicae* Yoshino, Bot. Mag. Tokyo 20:247. 1906.

Para sinonimia ver Cummins (1971)

En Flora Uredineana Colombiana (Buriticá & Pardo-Cardona) se señalaron por error *Lasiacis ruscifolia* (H.B.K.) Hitchc. y *L. sorghoidea* (Desv.) Hitchc. & Chase como hospedantes de *U. setariae-italicae* y de *U. costaricensis* H. Sydow. Estas dos especies son hospedantes sólo de *U. costaricensis*.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos al Doctor Pablo Buriticá C. por la revisión del manuscrito así como por sus valiosos comentarios y sugerencias, al Herbario Gabriel Gutiérrez MEDEL, en especial al Profesor Darío Sánchez S. (Director) y a su asistente Jorge Pérez, por las determinaciones de los hospederos.

Bibliografía

Buriticá, C., P. & V.M. Pardo-Cardona. 1996. Flora Uredineana Colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20 (77): 183-236.

Cummins, G.B. 1971. The rust fungi of cereals, grasses and bamboos. Springer-Verlag, New York, 570 pp.

Figueiredo, M.B., A.A., de Carvalho Jr., & J.F. Hennen. 1990. Basidiospore production by *Puccinia cnici-oleracei* (Uredinales), a microcyclic lepto-form. Rept. Tottori Mycol Inst. 28: 89-94.

Jackson, H.S. 1931. The rusts of South America based on Holway collections-III. Mycologia 23: 96-116.

Pardo-Cardona, V.M. 1994. Índice comentado de las royas (Fungi, Uredinales) del Departamento de Antioquia, Colombia, S.A. Rev. del I.C.N.E. 5 (2): 99-172.

Pardo-Cardona, V.M. & Y.M. Salazar. 1997. Una nueva roya del pasto brachiaria común en Colombia. Ascolfi Informa, Colombia, Vol. 22 (En prensa).

Ramachar, P., Cummins, G.B. 1965. The species of Puccinia on the Paniceae. Mycopath. Mycol. Appl. 25: 7-60.

NOTAS SOBRE LA TRIBU *PANICEAE* R. BROWN (GRAMINEAE) Y CLAVE PARA SUS GENEROS EN COLOMBIA

por

Joaquín Pinto-Nolla *

Resumen

Pinto-Nolla, J.: Notas sobre la tribu *Paniceae* R. Brown (Gramineae) y clave para sus géneros en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 217-223, 1997. ISSN: 0370-3908.

Se presenta una clave para identificar los géneros de la tribu *Paniceae* representados en Colombia y se hacen comentarios sobre su abundancia relativa con base en las colecciones depositadas en el Herbario Nacional Colombiano (COL).

Palabras claves: Gramineae, *Paniceae*, Colombia.

Abstract

A key for the identification of the Colombian genera of the tribe *Paniceae* is provided. The relative abundances of genera based on the collections of the Colombian National Herbarium (COL) is discussed.

Key words: Gramineae, *Paniceae*, Colombia.

Subfamilia Panicoideae A. Br. in Ascherson, Fl. Prov. Brand. **1**: 799. 1864; Pilger, R. Das System der Gramineae. Bot. Jahrb. **76**(3):353. 1954; Hitchcock, A.S. Manual of the grasses of the U.S. 2a. ed. 15. 1950; Nicora, E. & Z. Rúgolo de Agrasar; Los géneros de Gramíneas de Am. Austral **416**. 1987.

Raquila articulada debajo de las glumas de manera que estas caen junto con el fruto en su madurez. Espículas

típicamente bifloras, la flor terminal fértil, la basal estéril o nula. Almidón de granos simples. Cromosomas pequeños: $x=4-19$ (Nicora & Rúgolo, 1967).

Tribus representadas en Colombia: *Paniceae*, *Melinideae*, *Isachneae*, *Anthephoreae*.

Tribus que no están representadas en Colombia: *Boinvinelleae*, *Lecomptelleae*, *Thrachyeae* y *Arthropogoneae*.

Tribu *Paniceae* R. Brown in Flinders Voy. Terr. Austr. **2**(3): 582. 1814; Pilger, R. Das System der Gramineae.

* Apartado Aéreo 77606 de Santa Fé de Bogotá

Bot. Jahrb. 76(3):354. 1954; Hitchcock, A.S. Manual of the grasses of U.S. 2a. ed. 24.1950; Nicora, E. & Z. Rúgolo de Agrasar, Los géneros de gram. de Amer. Austral 421. 1987.

Etimología. Del género *Panicum* y éste según Téis (cita palisot de beauvois, 1812) de panis = pan, porque con las semillas de algunas especies se elaboraba pan. Para Plinio, proviene de *panicula* vide Beauvois (fide, Pinto, 1985).

Plantas anuales o perennes, cespitosas o rizomatosas, culmos herbáceos o subleñosos. Hojas con lígula membranacea o ciliadas, raro ausente. Láminas lineares o lanceoladas. Inflorescencia en panícula laxa, amplia o contraída, o subespiciiforme y cilíndrica o formada por uno o varios racimos espiciiformes unilaterales, espículas solitarias binadas o agrupadas, a veces acompañadas por 1-a varias setas involucrales o encerradas en un involucro endurecido; espículas 2-floras, generalmente comprimidas dorsiventralmente, raro de compresión lateral. Raquilla articulada por debajo de las glumas, no prolongada más allá del antecio superior. Antecio inferior masculino o ausente, lema generalmente igual a la 2ª gluma y pálea más o menos desarrollada o ausente; lodículas presentes o ausentes. Antecio superior fértil. Glumas 2 membranáceas o herbáceas, la inferior ordinariamente menor que la 2ª, a veces ausente; 2ª gluma tan larga como la espícula o mucho menor que la misma. Antecio fértil aovado o aovado-lanceolado, ordinariamente místico, excepcionalmente con una arista o mucron. Lema fértil papiráceo o cartilaginoso, raramente membranáceo, con los bordes cartilaginosos o membranáceos, encerrando totalmente a la pálea o cubriéndola parcialmente, en cuyo caso el antecio es abierto en el ápice. Pálea cartilaginosa, papirácea o membranácea, generalmente tan larga como el lema, excepcionalmente poco desarrollada. Lodículas dos, generalmente papiráceas o algo carnosas, truncadas, nervadas, planas o conduplicadas. Androceo con 3 estambres excepcionalmente 1-2. Ovario globoso o comprimido dorsiventralmente, plano-convexo, sin surco ventral manifiesto, encerrado por el lema y la pálea y cae junto con las mismas, o sin ellas cuando el antecio permanece abierto hacia el ápice; hilo punctiforme u oval; embrión de tipo panicoide. Números básicos predominantes $x=9,10$. (Nicora & Rúgolo, 1987).

Distribución. Esta tribu se halla ampliamente distribuida en regiones tropicales hasta templado-cálidas.

La tribu *Paniceae* es una de las mejor representadas en Colombia.

Géneros de la Tribu *Paniceae* representados en Colombia:

<i>Panicum</i> L.	<i>Pseudechinolaena</i> (Hook.f.) Stapf
<i>Acroceras</i> Stapf	<i>Homolepis</i> Chase
<i>Lasiacis</i> (Griseb.) Hitchc.	<i>Echinolaena</i> Desv.
<i>Brachiaria</i> Griseb.	<i>Leptocoriphium</i> Nees
<i>Ichnanthus</i> P.Beauv.	<i>Oplismenus</i> P.Beauv.
<i>Echinochloa</i> P.Beauv.	<i>Hymenachne</i> P.Beauv.
<i>Sacciolepis</i> Nash	<i>Digitaria</i> Heist.
<i>Pennisetum</i> Rich.	<i>Axonopus</i> P.Beauv.
<i>Cenchrus</i> L.	<i>Eriochloa</i> Kunth
<i>Stenotaphrum</i> Trin.	<i>Reimaria</i> Flügge
<i>Paspalum</i> L.	<i>Setaria</i> P.Beauv.
<i>Thrasya</i> Kunth	<i>Ixophorus</i> Schlechtendal
<i>Mesosetum</i> Steudel	<i>Antheophora</i> Schreber
<i>Rhynchelytrum</i>	

Frecuencia de los diferentes géneros de la Tribu *Paniceae* en Colombia y abundancia de colecciones de los mismos:

Los géneros de la tribu *Paniceae* nativos, adventicios y cultivados representados en Colombia hasta el presente son 27, con lo cual es una de las tribus mejor representadas en el país con 224 especies (Tabla 1 y Fig. 1).

Alrededor de 3425 ejemplares de la tribu *Paniceae* se encuentran en el Herbario Nacional Colombiano (COL) (Tabla 2 y Fig. 2).

Consideramos interesante ver la frecuencia de colección de los diversos géneros de la tribu lo cual nos indica la abundancia de cada una de ellas.

Se puede observar que al lado de grandes géneros, numerosos en especies y exsiccata, tales como *Paspalum* y *Panicum* muy abundantes en todo el territorio nacional, encontramos pequeños géneros tales como *Thrasya* con pocas especies y escasas colecciones lo que hacen la rareza y por ende la dificultad para su colección.

Estas especies viven en Colombia y la frecuencia de las mismas por género se reflejan en los cuadros siguientes:

Tabla 1. Número de especies por género y porcentaje de especies sobre un total de 224 especies presentes en Colombia.

GENEROS	# de especies	% de especies
Lasiacis	11	4.91
Brachiaria	5	2.23
Acroceras	1	0.45
Ichnantus	13	5.80
Anthephora	1	0.45
Echinochloa	6	2.68
Sacciolepis	1	0.45
Pennisetum	6	2.68
Mesosetum	1	0.45
Cenchrus	5	2.23
Stenotaphrum	1	0.45
Homolepis	3	1.34
Echinolaena	1	0.45
Leptocoryphium	1	0.45
Eriochloa	3	1.34
Oplismenus	3	1.34
Hymenachne	2	0.89
Digitaria	8	3.57
Reimaria	2	0.89
Rhynchelytrum	1	0.45
Axonopus	14	6.25
Pseudechinolaena	1	0.45
Setaria	12	5.36
Ixophorus	1	0.45
Paspalum	61	27.23
Thrasya	4	1.79
Panicum	56	25.00
TOTAL ESPECIES	224	

Tabla 2. Número de ejemplares por género y porcentaje de los mismos sobre un total de 3425 exsiccata de la tribu *Paniceae* que se hallan en el Herbario Nacional Colombiano.

GENEROS	# de ejemplares	% de ejemplares
Lasiacis	236	6.89
Brachiaria	53	1.55
Acroceras	35	1.02
Ichnantus	126	3.68
Anthephora	33	0.96
Echinochloa	90	2.63
Sacciolepis	16	0.47
Pennisetum	143	4.18
Mesosetum	5	0.15
Cenchrus	48	1.40
Stenotaphrum	5	0.15
Homolepis	93	2.72
Echinolaena	5	0.15
Leptocoryphium	45	1.31
Eriochloa	30	0.88
Oplismenus	66	1.93
Hymenachne	37	1.08
Digitaria	134	3.91
Reimaria	11	0.32
Rhynchelytrum	38	1.11
Axonopus	243	7.09
Pseudechinolaena	35	1.02
Setaria	256	7.47
Ixophorus	10	0.29
Paspalum	796	23.24
Thrasya	28	0.82
Panicum	808	23.59
TOTAL EJEMPLARES	3425	

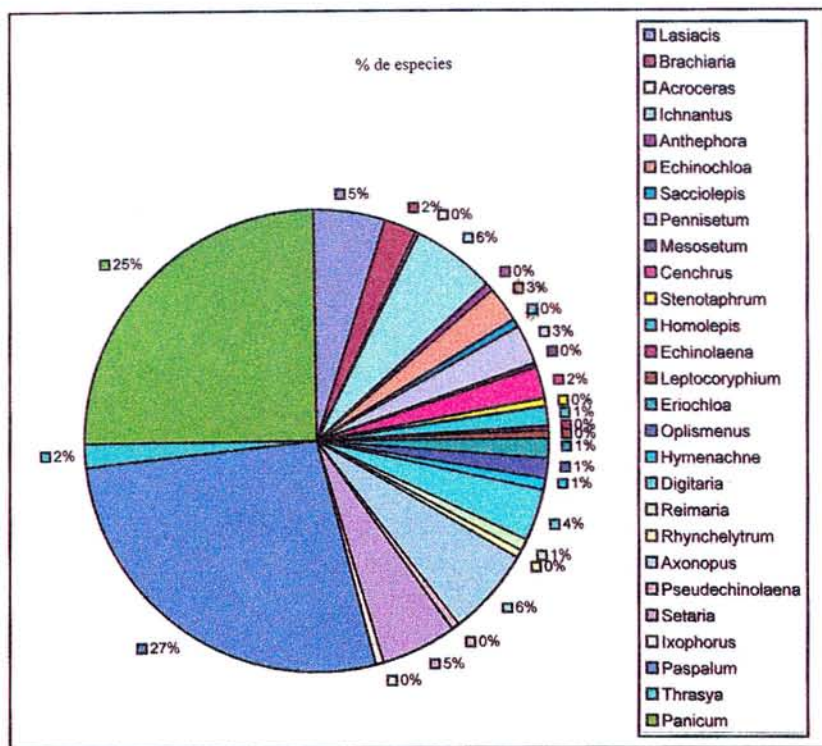


Figura 1. Frecuencia relativa de especies por género para la tribu Paniceae en Colombia.

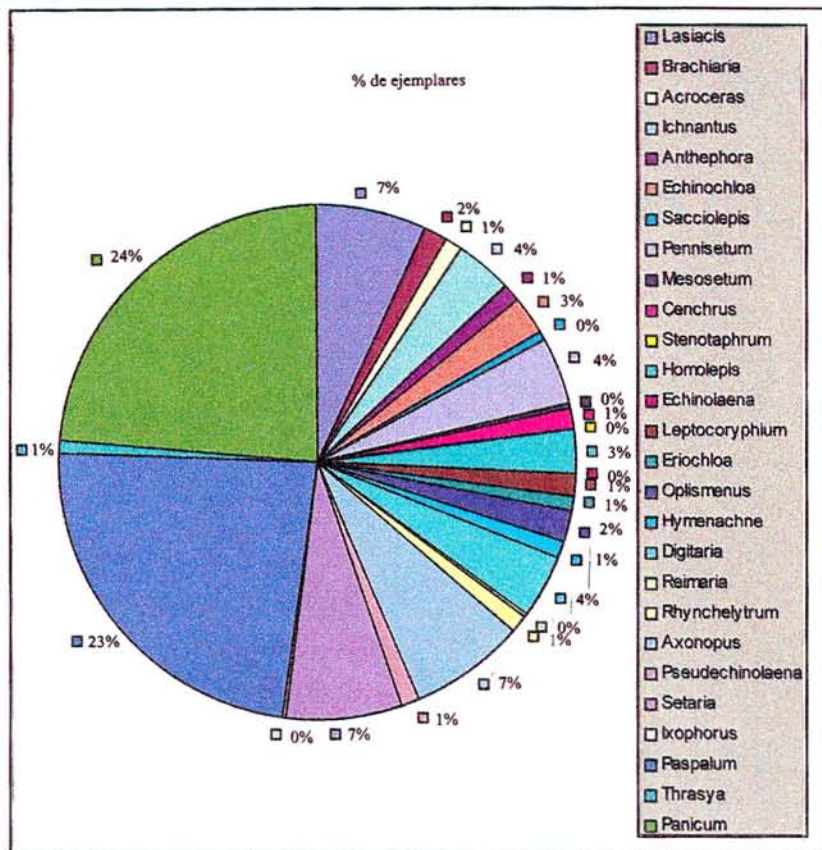


Figura 2. Frecuencia relativa de ejemplares por género de la Tribu Paniceae en Colombia.

Clave para los géneros de la Tribu *Paniceae*

1. Espículas rodeadas de 1-varias setas libres más o menos soldadas entre sí o con un involucre más o menos endurecido, a veces espinoso.
 2. Espículas reunidas en grupos de 4, 2 fértiles y dos estériles. Pseudo-involucre formado por las glumas inferiores de las espículas, concrecentes en la base, oval-lanceoladas **Antheophora**
 2. Espículas solitarias o agrupadas y acompañadas por 1-varias setas involucrales, libres o concrecentes en la base o casi totalmente soldadas formando un involucre endurecido.
 3. Setas adheridas al raquis al desprenderse la espícula.
 4. Espículas solitarias o en grupos de 2-3 rodeadas de 1-varias setas involucrales. Antecio inferior masculino o neutro, superior hermafrodita **Setaria**
 4. Espículas acompañadas de una seta. Antecio inferior masculino, superior femenino **Ixophorus**
 3. Setas que se desprenden junto con las espículas.
 5. Setas involucrales escabras o plumosas, libre hasta la base formando un involucre sésil o cortamente pedicelado **Pennisetum**
 5. Setas rígidas, concrecentes en la base formando un disco o formando un involucre sésil endurecido, espinoso **Cenchrus**
1. Espículas no rodeadas de setas.
 6. Espículas subsésiles, con el dorso del fruto opuesto al raquis.
 7. Inflorescencia formada por un racimo terminal solitario.
 8. Espículas divergentes, en dos hileras a un lado de un raquis plano; Glumas cubiertas de pelos fuertes y espinosos **Echinolaena**
 8. Espículas alternas adpresas en 2 hileras a un lado del raquis plano; glumas glabras o con pelos delgados **Mesosetum**
 7. Inflorescencia formada por varios racimos insertos en un eje común.
 9. Primera gluma diminuta formando con la raquila articulada un anillo basal, 2ª gluma y lema estéril suavemente villosos **Eriochloa**
 9. Primera gluma acuminada tan larga como la espícula; 2ª gluma ventricosa, cubierta en su madurez con pelos fuertes en forma de ganchos . **Leptocoriphium**
 6. Espículas pediceladas, dorso del Fr.introrso.
 10. Glumas ausentes o la inferior ausente y la superior más o menos desarrollada.
 - 11.2 glumas ausentes. Inflorescencia en racimos subdigitados **Reimaria**
 11. Gluma inferior ausente y la superior más ó menos desarrollada.
 12. Espícula con el dorso del lema fértil hacia afuera del raquis **Axonopus**
 12. Espículas con el dorso del lema fértil contra el raquis **Paspalum**
 10. Glumas 2, siempre presentes, iguales, subiguales o desiguales.
 13. Glumas iguales o subiguales, ambas mayores que la mitad de la longitud de la espícula hasta mayores que los antecios.
 14. Lema del antecio superior fértil con dos apéndices o dilataciones a manera de rebordes **Ichnantus**
 14. Lema del antecio superior fértil sin apéndices ni dilataciones.
 15. Glumas superior con pelos adpresos que se transforman en gloquidios a la madurez de la espícula **Pseudechinolaena**

- 15...Glumas superior glabra, escabrosa, pilosa o hirsuta.
- 16.Infl. formada por 1-varios racimos espiciformes, alargados o muy breve **Oplismenus**
16. Infl. en panícula laxa. Lema con los bordes aplicados sobre la palea no enrollados sobre la misma **Homolepis**
- 13.Glumas desiguales la primera escamiforme y reducida, excepcionalmente ausente o alcanzando 1/2 a 2/4 partes de la longitud de la espícula, segunda gluma menor, igual o poco mayor que el antecio fértil.
- 17.Lema del antecio fértil con ápice crestado o con una depresión cubierta de pubescencia lanosa.
- 18.Lema fértil con el ápice crestado.....
..... **Acroceras**
- 18.Lema fértil con una depresión apical cubierta de pubescencia lanosa **Lasiacis**
- 17.Lema del antecio fértil acuminado u obtuso, sin cresta ni depresión.
19. Antecio fértil abierto hacia el ápice cartilaginoso o membranoso.El lema abraza con sus bordes a la palea dejando libre su ápice.
20. Antecio fértil cartilaginoso. Antecio inferior masculino o neutro
..... **Echinochloa**
20. Antecio fértil membranáceo. Antecio inferior neutro **Hymenachne**
19. Antecio fértil con el ápice cerrado, cartilaginoso, los bordes del lema encierran a la palea dejando expuesto el dorso solamente.
- 21.Raquis de la inflorescencia dilatado, comprimido dorsiventralmente o cilíndrico, meduloso o suberoso, con excavaciones alternas donde se alojan breves racimos espiciformes. Raquis desarticulándose en segmentos en la madurez **Stenotaphrum**
- 21.Raquis de la infl. delgado o foliáceo, no suberoso, ni meduloso. Espículas no alojadas en excavaciones del mismo, dispuestas en racimos espiciformes o en panículas laxas o subespiciformes.
22. Inflorescencia en panícula laxa multiflora o pausiflora, generalmente con pedicelos largos y delgados.
- 23.Espículas comprimidas lateralmente, gluma inferior reducida, aguda u obtusa. Gluma superior y lema estéril con el ápice bilobado, místico, mucronado o aristado, ambos sobrepasando el antecio fértil y este papiráceo.
24. Espículas con pelos sedosos, blanco-plateados o rosados. Plantas no aromáticas..... **Rhynchelitrum**
24. Espículas glabras o pilosas. Plantas con pelos secretores, fuertemente aromáticas **Melinis**
23. Espículas comprimidas dorsi-ventralmente. Gluma superior abrazando la base de la.. espícula. Gluma superior y lema estéril con el ápice entero, místico generalmente tan largos como el antecio fértil, a veces algo menor o brevemente mayor que el mismo..... **Panicum**
- 22.Infl. formada por uno o varios racimos espiciformes o inflorescencia en panícula cilíndrica, subespiciforme y densa.
25. Infl. en panícula cilíndrica sub-espiciforme, densamente espiculadas. Espículas cortamente pediceladas, segunda gluma gibosa en su parte basal. Antecio fértil mucho menor que el lema inferior
..... **Sacciolepis**
- 25.Infl.formada por uno a varios racimos, espiciformes alternos sobre un eje o en la extremidad del culmo; Gluma superior no gibosa. Antecio fértil generalmente de igual largo que el lema inferior; espículas solitarias, apareadas, raramente ternadas o fasciculadas, dispuestas alternamente sobre dos lados del mismo. Lema del antecio inferior entera.

26. Inflorescencia formada por varios racimos especiformes alternos sobre un eje o en la extremidad del culmo, espículas solitarias apareadas raramente trenadas o fasciculadas dispuestas alternadamente sobre los lados del raquis. Lema del antecio inferior entera a la madurez.

27.... Lema fértil con el dorso dispuesto hacia afuera del raquis, gluma inferior con el dorso contra el raquis
..... **Brachiaria**

27. ..Lema fértil con el dorso dispuesto contra el raquis, gluma inferior con el dorso hacia afuera del raquis
..... **Digitaria**

26. Infl. formada por un racimo espiciforme con raquis foliáceo, plano, conduplicado, ancho, cubriendo la base de las espículas; están dispuestas en una hilera

en la parte media del raquis. Lema del antecio inferior profundamente sulcado y dividido

Thrasya

Bibliografía Citada

- Nicora, E.G. & Z.E. Rügolo De Agrasar. 1987. Los géneros de gramíneas de América. Austral, 454.- Bs.Aires: Ediciones Hemisferio Sur.
- Palisot De Beauvois, A.M.F.J. 1812. Essai d'une nouvelle agrostographie. Paris.
- Pinto, J. 1995. Revisión preliminar del género *Thrasya*, tribu Paniceae (Gramineae-Poaceae) para Colombia. Tesis de grado Dept. Biología. Pontificia Universidad Javeriana.
- Pinto, P. 1963. Catálogo de los géneros de las gramíneas de Colombia. Revista. Acad. Colomb. Cien. Exac. 12(45): 100,110.
- . 1985. Gramineae. In Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reyno de Granada. 4(1):17-23.
- Rügolo De Agrasar, Z. E., O. Morrone & F. O. Zuloaga. 1993. Clave de los géneros de la tribu Paniceae (Gramineae) presentes en Paraguay. *Candollea*, 48 (1): 241-243.
- Smith, L.B., D.W. Wasshausen & R.M. Klein. 1981. Gramíneas (1) in Reitz, R.F. Ilustrada Catarinense (1) GRAM.

UNA ESPECIE NUEVA DEL GENERO *BROWNEA* (Leguminosae-Caesalpinioideae)

por

Luz Mila Quiñones¹

Resumen

Quiñones, L.M.: Una especie nueva del género *Brownea* (Leguminosae-Caesalpinioideae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 225-227, 1997. ISSN 0370-3908.

Se describe e ilustra una nueva especie del género *Brownea* Jacq., *Brownea chocoana*, conocida solamente del Chocó, sobre las orillas del río Baudó.

Palabras claves: Caesalpinioideae, Taxonomía, Sistemática, *Brownea*, Leguminosae

Abstract

A new species of the Neotropical genus *Brownea* Jacq. is described and illustrated. *Brownea chocoana* is known only from the Río Baudó, Chocó, Colombia.

Key words: Caesalpinioideae, Taxonomy, Sistematic, *Brownea*, Leguminosae

Brownea chocoana Quiñones, sp. nov.

Figura 1.

Tipo: COLOMBIA. CHOCO: area of Baudó on the left side of rio Baudó, about 50 K upstream from the stuary near quebrada Oro Chocó, 2 feb a 29 mar 1967, *H.P. Fuchs, E. Zanella & J. Torres* 22384 fl. (Holotipo, COL, Isotipos, MO, K).

Arbor 20 m. alta. Foliis 12 foliolis paripinnatis. Rachidi glabra, 80 cm longa; foliolis suboppositis, coriaceis, elípticis-oblongis, 14.5-22 cm longis, quasi 5.0 cm latis. Inflorescentiis terminalibus; tegmentis pubescentibus, 10

cm longis, striatis, caducis. Axibus floralibus glabrescentibus, 11.5 cm longis, sed bracteolis connatis 2 lobulatis, receptaculi tubo obconico a bracteolis omnino obtecto, 4 - 5 cm longo. Sepalis 4, dimorphis, latis, ovatis; petalis spathulatis, apicibus emarginatis, 4 - 6 cm longis, 1.8 - 2.5 cm latis.

Arbol 20 m.. Hojas más o menos 50 cm de longitud, multifolioladas; pecíolo 2 cm de longitud y 0.6 - 0.8 cm de ancho; folíolos subopuestos, peciólulos 1 cm de longitud, glabros. Raquis 80 cm, glabro; folíolos 12 pares, subopuestos, coriáceos, 14.5 - 22 cm de largo, 5 cm de ancho, oblongo-elípticos, acuminados; nervadura central plana en la haz, prominente en el envés; folíolos basales no vistos. Inflorescencia terminal. Tegmentos o catáfilos ovados, 10 cm de longitud, disminuyendo en tamaño hacia

¹ Profesora Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de los Llanos. Apartado aéreo 3086 Villavicencio, Meta. Colombia.

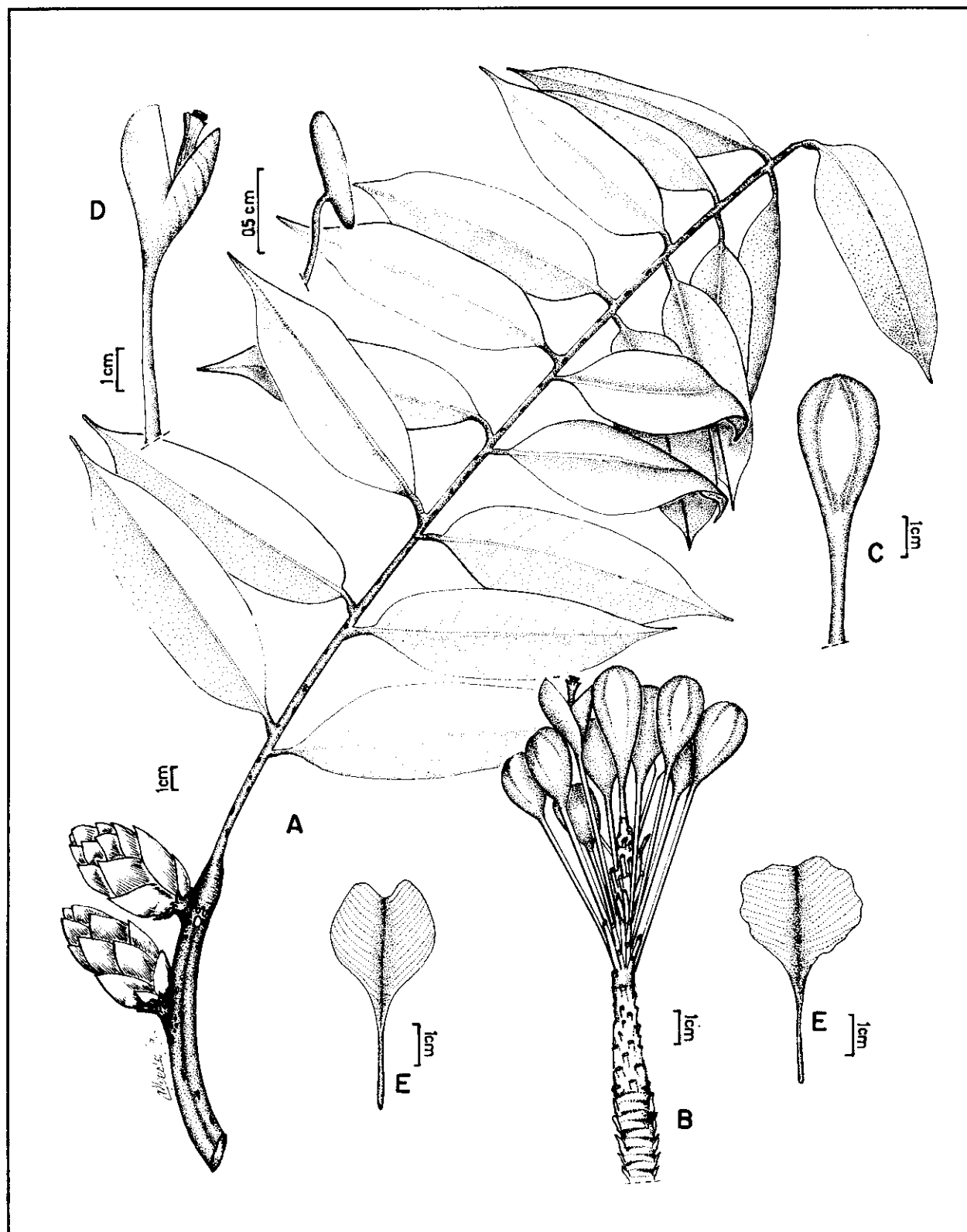


Figura 1. *Brownea chocoana* Quiñones, sp. nov. A. Hoja; B. Inflorescencia; C. Botón floral; D. Bracteolas y E. Pétalos.

el ápice, estriados, densamente pubescentes externamente y glabros internamente, caducos; brácteas filiformes, pubescentes; eje floral glabrescente, 11.5 cm de longitud; bracteolas connadas, totalmente cerradas en antesis, posteriormente bilobuladas, tomentosas, los lóbulos a manera de quilla, 3.5 - 6 cm de longitud, envolviendo totalmente al hipantio. Pedicelos 3 - 6 cm de largo, con indumento adpreso y con numerosas costillas longitudinales; tubo del receptáculo obcónico, 4 - 5 cm de largo, glabro internamente, pubérulo externamente; sépalos 4, dimórficos, dos anchamente ovados de 2 cm de largo y aproximadamente 1.8 cm de ancho, los otros dos elípticos, desiguales de 1.8 - 3 cm de largo y 0.8 cm de ancho; pétalos 5, dimórficos, espatulados, ápice emarginado, 4-6 cm de largo, 1.8 - 2.5 cm de ancho; estambres 11, filamentos 6.5 cm de longitud, anteras oblongas, 0.7 - 1 cm de largo, dehiscentes longitudinalmente; ovario lanoso, estípite del ovario adnato al tubo del receptáculo, 1.5 - 2 cm de longitud, estilo filiforme, glabro, 4 - 5 cm de longitud. Frutos y semillas no vistos.

Distribución. Se conoce únicamente de la localidad típica en el departamento del Chocó; crece en bosque primario a 950 metros sobre el nivel del mar.

Brownea chocoana se caracteriza por presentar inflorescencias y flores muy grandes y vistosas, por tener estambres casi libres y bracteolas totalmente cerradas, las cuales después de la antesis son bilobulares y naviculares. La especie más afín es *Brownea grandiceps*, que presenta también raquis y eje de la inflorescencia de tamaño considerable e inflorescencias y flores grandes y vistosas; sin embargo todos estos caracteres son de mucho mayor tamaño en *Brownea chocoana*.

Agradecimientos

Expreso mis agradecimientos a los Doctores Enrique Forero y Gustavo Lozano por la asesoría y revisión del manuscrito, a la profesora María Teresa Murillo y al padre Alonso Salgado, de la comunidad carmelita, por la versión latina y a los Herbarios COL, NY, K, MO, por el préstamo de las colecciones examinadas.

DEMENCIA - PRIONES Y ENFERMEDADES PRIONICAS

Referencia especial a las “vacas locas”

por

Gabriel Toro González*

Resumen

Toro-González, G.: Demencia-priones y enfermedades priónicas. Referencia especial a las “vacas locas” Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 229-236, 1997. ISSN 0370-3908.

Se describe la manera como D.C. Gajdusek apoyado en sus propias observaciones y en la propuesta de B. Sigurdsson considera para estas entidades una etiología “viral lenta”. Se afirma que hasta donde sabemos hoy la relación Demencia Prion se limita a la llamada enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y según recientes evidencias, muy especialmente a su variedad atípica.

El enfoque etiológico de este grupo de entidades cambia hacia los años 1982-84 cuando Stanley Prusiner introduce el concepto de Prion. Se describen de manera sucinta las entidades que actualmente se consideran de origen priónico haciendo especial referencia a la Encefalopatía espongiforme bovina, coloquialmente mencionada como “vacas locas”. Citando a Domich se plantea la posibilidad de una frecuencia mucho mayor de la conocida hasta ahora para este grupo de entidades.

Palabras claves: Priones, Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, Encefalopatía espongiforme bovina. “vacas locas”.

Abstract

Based on C. J. Gajdusek own observations and on B. Sigurdsson proposals, they described the slow virus etiology for these entities. We state that, as far as we know nowadays, the prion-demency relationship is limited to the Creutzfeldt-Jakob disease and according to recent evidence, especially to the atypical form. The etiological approach to these entities changed around 1982-1984 when Stanley Prusiner introduced the prion concept. The entities actually considered to be of prionic origin are succinctly described, paying special attention to bovine spongiform encephalitis, colloquially called as “crazy cows”. Citing Domich, there is the possibility of a greater frequency of these entities that what is known up to these present.

Key words: Prions, atypical form of Creutzfeldt-Jakob disease, bovine spongiform encephalopathy (“crazy cows”).

* Neuropatólogo. Profesor Honorario, Universidad Nacional. Investigador Emérito, Instituto Nacional de Salud. Santafé de Bogotá.

La demencia con su amplio espectro médico y como problema de salud pública no es el propósito de este artículo y la sugerencia que plantea el título se refiere exclusivamente a la relación cada vez mejor documentada entre la Demencia de Creutzfeldt-Jakob (ECJ) y su variante el Síndrome de Gerstmann-Straussler-Scheinker (GSS), con el Kuru y con las demás entidades que afectan ovinos, caprinos, bovinos y otros vertebrados y cuya etiología priónica es tema actualmente de efervescente controversia como puede deducirse por ejemplo de las siguientes muy autorizadas opiniones: "Algunos aspectos de la hipótesis Prion están cayendo en el contexto del pensamiento medieval" (Laura Manuelidis).

"La evidencia hacia la hipótesis Prion está logrando más y más solidez". (Charles Weissmann).

"Trajimos ya casi treinta años y nadie ha logrado todavía un sustituto para las proteínas" (Clarence J. Gibbs). Es también objeto de análisis un silencio apenas interrumpido en diciembre/96 que podría ser muy expresivo porque corresponde precisamente al descubridor de los priones Stanley Prusiner. Pese a todo, mi deseo de informar algunos hechos claros y otros motivo de debate sobre este novedoso tema sí es el objeto de esta breve comunicación.

El término "Enfermedades virales lentas" que utilizamos hasta hace poco, toda vez que hacíamos referencia al contenido de este artículo lo debemos al veterinario islandés Bjorn Sigurdsson quien lo propuso en 1954. Durante 30 años se fueron aproximando bajo este título varias enfermedades humanas y de otros vertebrados cuyo espectro clínico exhibe demasiada similitud y cuyos cambios neuropatológicos son fundamentalmente idénticos. La secuencia de eventos y la prolija y densa información acumulada por D.C. Gajdusek y su grupo durante este período y electivamente en su punto de partida, ha quedado consignada en este libro. *Kuru Early letters and Field. Notes from the collection of D. Carleton Gajdusek* -Edited by Judith Farquhar/D. Carleton Gajdusek. Raven Press, 1981. (fig 1) Y es por entonces cuando la terminología cambia y en vez de virus y viroides se habla de priones y también los términos Demencia viral transmisible y Encefalopatía espongiforme se han ido reemplazando por Enfermedades priónicas como vemos en la tabla 1, de cuyo contenido, sólo algunas entidades serán tratadas y apenas brevemente atendiendo la limitación de este espacio.

Scrapie

La enfermedad de las ovejas aparecida en Gran Bretaña en 1732 y que por el incesante rascado de los ani-

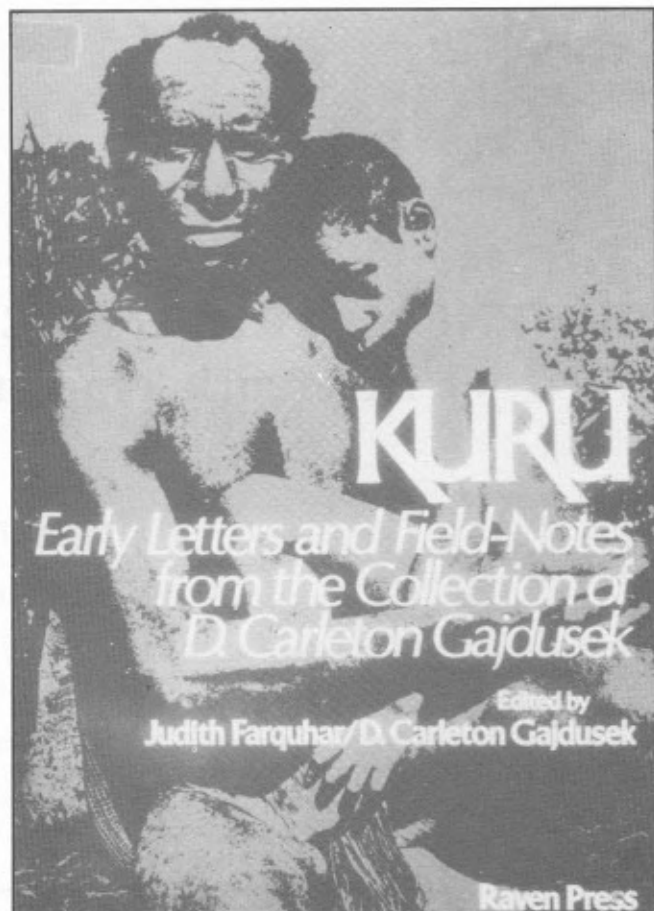


Figura 1. Carátula del libro que condensa la historia de los primeros años de investigación en Kuru (editado en 1981). Este ejemplo de búsqueda incansable es el punto de partida del estudio del grupo de entidades que durante tres décadas se denominaron Enfermedades virales lentas, la mayoría de ellas hoy consideradas priónicas.

males enfermos, científicos anglosajones denominan Scrapie desde el año 1900, se conocía antes como "tembladera ovina" (Tremblante du mouton) descrita por Teissier en 1810, pero su patología, enfatizando su marcadísimo cambio vacuolar a lo largo del neuroeje con gliosis y mínima o ninguna reacción inflamatoria, es descrita por Besnoit y Morel apenas en 1898.

Hacia 1755, la enfermedad estaba ocasionando notables pérdidas económicas al Reino Unido y su presencia en América se identifica primero en Michigan en 1942 y diez años más tarde en California causando en 1954 la muerte de 576 animales. Fuera de Inglaterra y Escocia se ha observado en Irlanda, Kenia, India, Sur Africa, Emiratos Arabes, Nueva Zelandia y en varios países de Europa Occidental.

Aunque durante un siglo se consideró un proceso hereditario **Cuillé** y **Chelle** lograron en 1936 su transmisión experimental de oveja a oveja y de oveja a cabra, **Chandler** en 1960 de oveja a ratón y luego **Marsh** y **Kimberlin** de oveja a hamster.

A la presencia de estructuras tubulo-fibrilares en todos los tejidos afectados por Scrapie, denominadas SAF (Scrapie Associated Fibrils-fibrillas asociadas a Scrapie) se ha sumado la comprobación del potencial infeccioso de estos elementos, que hoy se sabe contienen amiloide y su estructura básica es proteica.

La muy estrecha semejanza entre las SAF del Scrapie y las placas amiloides del Kuru, de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y del Síndrome de Gerstmann-Straussler-Scheinker es sin duda el hecho que más ha aglutinado el criterio de homologación y unificación de entidades que hasta hace poco parecían tan distantes. El paso más largo hacia un enfoque unicista de este grupo de entidades fue aportado por **Stanley Prusiner** y su grupo cuando descubren a partir de 1982 que en todas ellas es posible identificar la estructura que denominan Prion o proteína priónica (PrP) y de ellas la primera aislada la PrPsc (proteína priónica scrapie) con un peso molecular de 33 a 35 KD.

En sus palabras los PRIONES son partículas proteicas infecciosas, carentes de ADN y ARN y por ello resistentes a la inactivación por procedimientos que modifican los ácidos nucleicos pero en cambio sensibles a los métodos disponibles para degradar proteínas; su codificación está a cargo de genes localizados en cromosomas de la célula huésped. Tal como sucede en las SAF del Scrapie las agrupaciones de priones de las demás entidades citadas en la Tabla 1 son positivas a la tinción con rojo congo y dan birrefringencia verde a la luz polarizada como lo hace el amiloide y su presencia es el único elemento objetivo para confirmar que tenemos en frente una entidad tipo Prion; con la ventaja de conservar idéntica su estructura cuando por ejemplo una de las entidades que afectan seres humanos se reproduce en el animal de experimentación.

En Scrapie después de cambios de conducta que pueden ser sutiles o mostrar excesivo nerviosismo y de disminución de la actividad motora, su cuadro clínico se limita a ataxia, prurito y temblor; manifestaciones no sólo semejantes a las del bovino con Encefalopatía espongiforme sino también a las observadas en pacientes de Kuru y Creutzfeldt como fue puntualizado desde 1959 por **Hadlow** y por **Klatzo**.

Tabla 1. Enfermedades de etiología priónica de vertebrados varios

Enfermedad	Hospedero
Scrapie	Ovejas y cabras
Encefalopatía espongiforme bovina	Ganado bovino
Encefalopatía del vison	Vison
E. Caquectizante (venado y alce)	Venado y alce
Encefalopatía espongiforme felina	Gatos
Encefalopatía ungulada exótica	Nyala, gran kudu
Enfermedades humanas	
Kuru	
Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (ECJ)	
Enfermedad de Gerstmann-Straussler-Scheinker (GSS)	
Insomnio familiar fatal (IFF)	
Miopatía con cuerpos de inclusión	

Encefalopatía espongiforme bovina (EEB)

La EEB aparecida por primera vez en 1985 en el Reino Unido es desde el punto de vista clínico y por su patología idéntica al Scrapie pero en bovinos, cuyo comportamiento ("pseudoneurótico") les ha valido su calificativo de "vacas locas". Ese comportamiento del animal atáxico y tembloroso incluye excitabilidad, agresividad, hiperestesia y finalmente imposibilidad para sostenerse en pie y para marchar. Muy significativos hechos en varios zoológicos ingleses precedieron la identificación de la EEB, el primero de ellos fue la muerte de un nyala ungulado salvaje africano en Marwell cerca de Winchester, luego fallecen tres bisontes americanos en el Zoo de Londres y a los cuales se suma una serie de antílopes, alces, oryx y un grupo de ungulados salvajes huéspedes de estos zoológicos. La autopsia de estos animales comprobó una encefalopatía espongiforme. Todos estos animales estaban recibiendo desde 1981 alimentos que incluían proteínas provenientes de ovejas afectadas de Scrapie; por idéntica razón se ha considerado que la enfermedad ha pasado de la oveja al bovino. Se ha demostrado que la inoculación intracerebral de extractos de tejido nervioso transmite la EEB a otros vacunos, ovejas, conejos, ratones y más recientemente a marmosa y a primates. La preocupación de un posible riesgo para la salud humana a través de la carne crece aún más por la eventualidad de

que el material contaminado se utilice en la elaboración de productos lácteos o incluso en la industria farmacéutica para consumo humano y veterinario. La descripción en 1996 de once pacientes en el Reino Unido afectados por una variedad atípica de ECJ, muy jóvenes y con aparente contacto con bovinos afectados de encefalopatía espongiforme de predominio occipital y talámico, aumenta el desasosiego.

El daño a la economía puede medirse ahora con base en 160.000 casos fatales comprobados de más de cinco mil granjas contaminadas con 75% de rebaños infectados, ocasionando semanalmente el sacrificio de 300 a 400 animales enfermos y la amenaza de tener que eliminar el 50% de los bovinos británicos, unos seis millones de cabezas.

Kuru

El KURU es entre las enfermedades humanas hoy relacionadas con etiología priónica la primera convertida en un modelo experimental. Descubierta en 1511 por el navegante portugués Antonio De Abreu esperó cuatro siglos y medio, hasta 1954-55 para ser objeto de una investigación ejemplo para la biomedicina iniciada hace ya 40 años por **DC. Gajdusek y Vincent Zigas** en las regiones de Okapa y Kainantu en la Nueva Guinea. (fig. 2) Kuru en dialecto Fore significa tiritar o sea temblar y esto en un paciente atáxico simula estrechamente lo descrito en Scrapie y en EEB. En 1966 **Gibbs, Gajdusek y Alpers** lograron reproducir en chimpancé su patología que a semejanza de Scrapie y EEB consiste en extensa vacuolización (fig.3), gliosis, mínimo o ausente infiltrado



Figura 2. Aldea del grupo lingüístico Fore en la Nueva Guinea una de las áreas donde el Kuru probó en el pasado su capacidad devastadora (cortesía de D.C. Gajdusek).

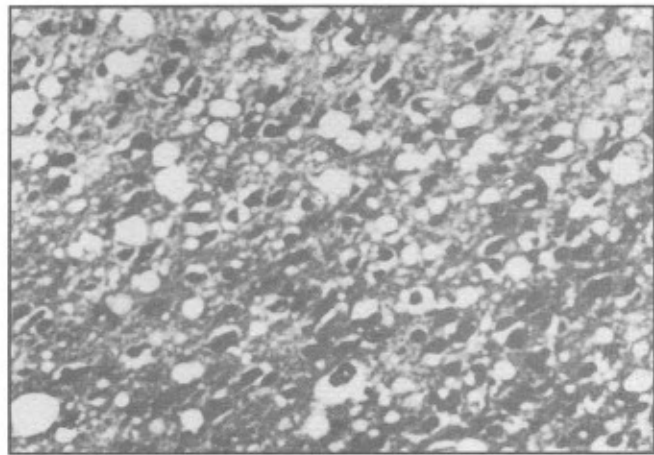


Figura 3. Aspecto clásico del cambio esponjiforme. Esta imagen es sensiblemente idéntica si se trata de un paciente con Kuru o con demencia de Creutzfeldt-Jakob y cuando vemos el cerebro de una oveja con Scrapie, de un visón con encefalopatía de este tipo o el de una "vaca loca" (cortesía de D.C. Gajdusek).

inflamatorio y por supuesto las placas amiloides que hoy se sabe son conglomerados priónicos.

Afectó principalmente niños y mujeres, consecuencia de algunos matices del canibalismo practicado por estos grupos étnicos; el abandono de estos hábitos a partir de las recomendaciones de **Glasse** en 1966 está logrando la desaparición de esta enfermedad.

Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (ECJ)

El conocimiento de una relación entre priones y demencia se limita hoy a lo comprobado en la ECJ y en su variante conocida como Síndrome de Gerstmann Straussler-Scheinker (G.S.S.) puesto que carecemos de argumentos para aproximar a esta etiología la enfermedad de Alzheimer, y por supuesto las demencias de origen vascular.

Creutzfeldt hace en 1920 la primera descripción, un año después **Jakob** la complementa analizando cuatro casos y apenas en 1968 **Kirshbaum** en su libro hace una primera revisión universal del problema, coincidentalmente el mismo año cuando **Gajdusek** y su grupo logran reproducir en chimpancé no sólo la ataxia y otras manifestaciones clínicas sino sobre todo su patología homologable a lo observado en Kuru, vacuolización (cambio esponjiforme), gliosis y placas amiloides (priones).

La primera evidencia de transmisibilidad entre seres humanos la comunicaron **Ph. Duffy** et al en 1974 a través

de un trasplante de córnea y al que siguieron muchos otros casos entre los cuales tuvo particular difusión el de dos jóvenes de apenas 17 y 21 años que adquirieron la enfermedad tras el implante de electrodos que antes estuvieron en el cerebro de un paciente con esta demencia y han sido numerosos los casos informados por injerto de duramadre.

Esta enfermedad descrita inicialmente bajo el término de "pseudoesclerosis espástica", es esencialmente una profunda demencia, rápidamente progresiva, asociada con ataxia y mioclonías. Sin embargo, el cuadro clínico puede ser muy variable pues existe degeneración cortico-estriato-cerebelo-espinal. Se presenta casi siempre en personas mayores de 40 años, iniciándose con cambios del afecto y el comportamiento, defectos de la memoria, del juicio y de la crítica, dificultades visuales, distorsión de las imágenes y frecuentemente alucinaciones y cuadros francamente delirantes. El deterioro es muy rápidamente progresivo y conduce a una profunda demencia en muy corto tiempo, algunos meses hasta 1-2 años. Aparecen igualmente, sacudidas mioclónicas inicialmente focales y que luego se generalizan, alteraciones motoras, incluyendo espasticidad, a veces signos de lesión de neurona motora inferior, ataxia, temblores de los dedos, disartria y signos extrapiramidales cambios que progresan finalmente hasta el estupor y el coma. El electroencefalograma muestra brotes paroxísticos y periódicos de actividad lenta o de puntas de alto voltaje contrastando con un ritmo de base progresivamente más plano y lento. El líquido cefalorraquídeo es normal en general así como los exámenes de sangre. Existen estrechas semejanzas clínicas y patológicas entre esta entidad y el Kuru, entre ellas la más notable es la vacuolización o estado esponjoso de las regiones afectadas en el neuroeje, aspecto que les ha valido durante mucho tiempo la denominación de "encefalopatías esponjiformes".

Considerada inicialmente como una entidad de extrema rareza, pues hasta 1968 en la citada revisión universal sólo habían 150 casos, en la actualidad cada año se identifican no menos de 200 casos nuevos en EE.UU. con una prevalencia de 2-3 casos por millón. En Francia se diagnosticaron 170 casos fatales en la década pasada; la entidad ha sido descrita igualmente en Latinoamérica y particularmente en Chile y Colombia, aunque su verdadera frecuencia en esta región del planeta se desconoce. Se considera que en todo el mundo no menos de 5000 casos están bien documentados 15% de ellos de carácter familiar; unos muy pocos fueron iatrogénicos a través de hormona de crecimiento. En el cerebro de la ECJ es muy prominente la atrofia que predomina en la corteza cerebral

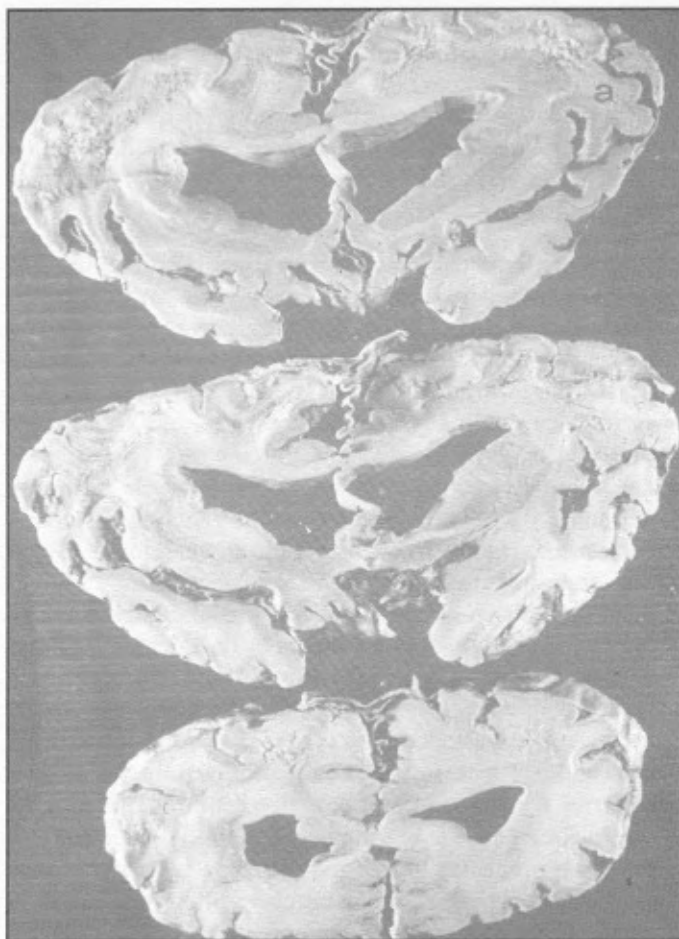


Figura 4a. Enfermedad de Crutzfeldt-Jakob en un hombre de 60 años de Cartagena de Indias. Tras tres años de evolución la atrofia cerebral es muy severa pero pudo notarse simétricamente del volumen ventricular atribuible a la pérdida de masa, la cual lo mismo que la marcadísima la atrofia cerebelosa se aprecian bien en la fig. 4b perteneciente al mismo paciente.

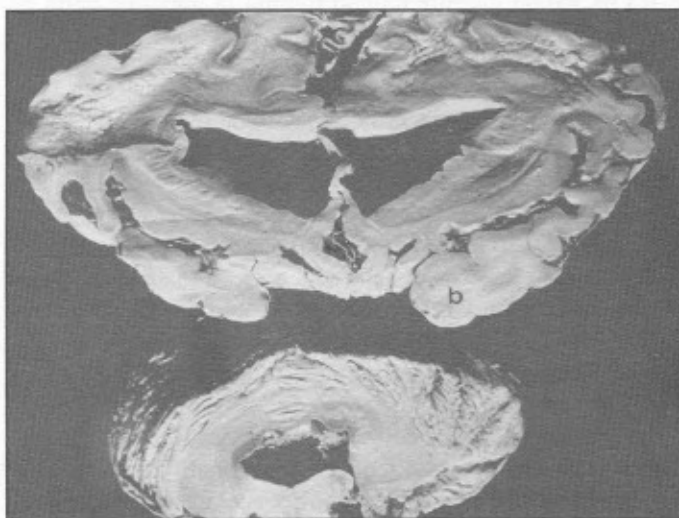


Figura 5. Enfermedad de Creutzfeldt-Jakob en un hombre de 65 años de santafé de Bogotá con una evolución de casi cinco años. La atrofia es mayor que en el caso anterior y visiblemente generalizada. Con la colaboración de DC. Gajdusek en el NIH se inoculó tejido nervioso de este caso a algunos primates pero no se logró reproducir la enfermedad, tal vez por la muy prolongada fijación en formalina previa a la preparación del inóculo.

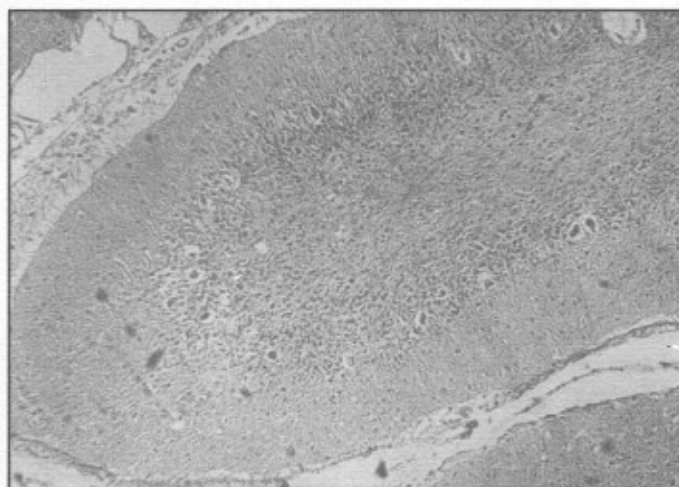


Figura 6. Una folia cerebelosa que muestra la desaparición casi total de la capa de células granulosas en el mismo paciente de la fig. 4 H&E. 100 x aprox.

← **Figura 4b.** Nótese el aumento simétrico del volumen ventricular y la muy severa atrofia cerebelosa.

occipitoparietal y en la corteza cerebelosa (fig. 4a. y 4b.) generalizándose en casos de evolución más prologanda (fig.5), alternando con la transformación esponjosa, a veces existe un total barrido de las células de la capa granulosa del cerebelo (fig.6) con marcada proliferación astrogial y ausencia total de cambios inflamatorios. La entidad no tiene tratamiento lo cual sumado a su probada transmisión entre seres humanos ha llevado a partir de 1977 a fijar normas para su manejo. Estas precauciones se basan en el hecho de que su agente etiológico transmisible resiste altas temperaturas, los rayos ultravioletas, el alcohol de 70%, larga permanencia en formaldehído al 10% y el autoclave por menos de una hora. Se recomienda el manejo muy cuidadoso de la sangre, líquido cefalorraquídeo, los diferentes tejidos y de igual manera equipos e instrumentos como agujas y jeringas entre otros. Todos ellos deben ser descartados o sometidos a reesterilización con inmersión en solución 1 normal de hidróxido de sodio. El personal médico y paramédico debe cuidarse de la exposición a saliva, respiración, secreciones y excretas, debe lavarse con agua, jabón o detergente y evitar cepillado pues cualquier pequeña solución de continuidad en piel podría tener riesgos. Debe enfatizarse que no sólo el sistema nervioso, sino por el contrario todos los órganos y tejidos se consideran potencialmente infectantes y por lo tanto no aptos para trasplante ni para la docencia en las escuelas de medicina. Muy significativo es el hecho de haber sido estas mismas normas las bases para el manejo de los riesgos que ofrece el SIDA.

Cabe enfatizar que la mayor preocupación actual es aclarar y cuantificar la posible relación aparentemente existente entre EEB y la forma atípica de Enfermedad de Creutzfeldt, observada hasta ahora en doce pacientes, once de ellos del Reino Unido.

Síndrome de Gerstmann-Straussler-Scheinker (GSS)

Se acepta actualmente como una variedad de la ECJ y se conoce desde 1936 cuando fue por primera vez descrito en una familia austriaca. Sus semejanzas con la ECJ no se discuten pero tampoco se desconocen las siguientes diferencias: a) La mayoría de casos tienen carácter familiar, b) Casi todos son pacientes entre 35 y 55 años de edad, c) Hasta ahora se ha visto evolucionar en un lapso de 2 a 10 años, d) Signos de lesión cerebelosa anteceden a las manifestaciones de demencia, e) Su patología asocia varios tipos de placas en corteza cerebral, aún más numerosas en corteza cerebelosa a degeneración del tracto espinocerebeloso.

Experimentalmente la patología de este síndrome es idéntica a la descrita antes en ECJ, su PrP es codificada en

un gen del cromosoma 20 y sus mutaciones Prolina a Leucina, Alanina a Valina y Fenil Alanina a Serina son codificadas respectivamente por los codones 102, 117 y 198.

Ultimamente suele incluirse como priónica la denominada **DEMENCIA TALAMICA** que se acompaña de insomnio progresivo, disautonomía y alteraciones motoras. Particularmente ha llamado la atención en varias familias italianas sin lazo familiar comprobado, la presencia del cuadro conocido desde 1985 como **INSOMNIO FAMILIAR FATAL**; individuos con una mutación en el codón 178 del cromosoma 20 y su patología es una extensa lesión en los núcleos anteroventral y dorsomedial del tálamo.

Muy preocupante es la comunicación hecha por **L.Domich** en 1996 cuando textualmente dice: "Los expertos señalan que la verdadera incidencia de las enfermedades priónicas podría ser 250 veces mayor que la aceptada oficialmente hasta ahora".

Bibliografía

- Chandler RL.** 1961. Encephalopathy in mice produced by inoculation with scrapie brain material. *Lancet*. 1: 1378-1379
- Cuillé J. & PL. Chelle.** La maladie dite tremblante du mouton est-elle inoculable? *C R Acad Sci (Paris)* 936; 203: 1552-1554.
- Domich L.** 1996. Patologías tipo prión. *Rev Neurol (Barc)* 24 (131): 785-802
- Duffy Ph. et al.** 1974. Possible person to person transmission of Creutzfeldt-Jakob disease. *New England J Med.* 291: 692
- Gajdusek DC. & CJ.Gibbs, Jr.** 1971. Transmission of two severe (subacute) spongiform encephalopathy of man, kuru and CJD to new world monkey. *Nature*. 230: 180-191
- Gajdusek DC., et al.** 1977. Precautions in medical care of and in handling materials from patients with transmissible virus dementia, Creutzfeldt-Jakob disease. *New England J. Med.* 297: 1253-1258
- Gajdusek DC., Gibbs & M. Alpers.** 1966. Experimental transmission of a Kuru-like syndrome to chimpanzees. *Nature*. 209: 794-796
- Gibbs CJ., et al.** 1968. Creutzfeldt-Jakob disease (spongiform encephalopathy): transmission to the chimpanzee. *Science*. 161: 388-389
- Gibbs CJ. & D.C. Gajdusek.** 1973. Experimental subacute spongiform encephalopathies in primates and other animals. *Science*. 82: 67-68
- Gibbs CJ., Masters, CI. & Gajdusek.** 1979. Bibliography of Creutzfeldt-Jakob disease. *NIH Publ. No.*, 79 Washington. 1979
- Hadlow W.** 1959. Scrapie and Kuru. *Lancet* 1. 1097: 289-290
- Hadlow W., SB. Prusiner, RC. Kennedy & RE.Race.** 1980. Brain tissue from persons dying of Creutzfeldt-Jakob causes scrapie-like encephalopathy in goats. *Ann Neurol*. 8: 628-671
- Klatzo I., DC. Gajdusek & V. Zigas.** 1959. Pathology of Kuru. *Lab Invest*. 8:799-847

Liberski PP, R. Yanagihara, GAH Wells, CJ Gibbs & D.C. Gajdusek. 1992. Comparative ultrastructural neuropathology of Naturally occurring bovine spongiform encephalopathy and experimentally induced scrapie and Creutzfeldt-Jakob disease *J Comp Path.* 106: 361-381

Liberski PP, R. Yanagihara, GAH Wells, CJ Gibbs & DC. Gajdusek. 1992. Ultrastructural Pathology of axons and myelin in experimental scrapie in hamsters and Bovine Spongiform Encephalopathy in cattle and a comparison with the Panencephalopathic type of Creutzfeldt-Jakob disease. *J Comp Path.* 106: 383-398

Prusiner SB. 1982. Novel proteinaceous infectious particles cause scrapie. *Science.* 216: 136-144

Prusiner SB. & KK. Hsiao. 1994. Human prion diseases. *Ann Neurol.* 35: 385-395

Prusiner SB., 1996. Molecular Biology and Pathogenesis of prion diseases. *TIBS* 21. December. p. 482-487

Sigurdsson, B. 1954. Rida., a chronic encephalitis of sheep with general remarks on infections which develop slowly and some of their special characteristics. *Br Vet J.* 110: 341-354

Weissman, C. 1991, The prion's progress. *Nature.* 349:569-571

Zigas, V. & DC. Gajdusek. 1957. Kuru-clinical study of a new syndrome resembling paralysis agitans in natives of the eastern highlands of Australian New Guinea. *Med J Aust.* 2: 745.

BIOGEOGRAPHIC PATTERNS OF COLOMBIAN FROGS AND TOADS

por

John D. Lynch¹, Pedro M. Ruiz-Carranza², & María Cristina Ardila-Robayo²

Resumen

Lynch, J. D., Ruiz-C., P. M., & M.C. Ardila-R.: Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **21** (80): 237-248, 1997. ISSN 0370-3908.

Con base en los datos de **Ruiz-Carranza et al. (1996)**, la distribución de 540 especies de ranas y sapos registradas en Colombia se ubican en diez entidades basadas en la elevación y la precipitación pluvial. Unas de las áreas de tierras bajas (del Pacífico y la Amazonia) muestran alta diversidad (85-94 spp.) pero en general las zonas de tierras bajas parecen pobres (30-52 especies), en contrastando con las áreas de tierras altas. En la Cordillera Central se han registrado 121 especies de ranas y sapos, en la Occidental 118, y la Oriental 87, con lo que se muestra que la mayor biodiversidad de Colombia se encuentra en las áreas montañosas y no en las selvas de tierras bajas. Al separar el endemismo biológico del endemismo político, aparecen cinco áreas con alto endemismo (las tres cordilleras andinas, la Sierra Nevada de Santa Marta, y las tierras bajas del Pacífico). Mediante el análisis cladístico en varios grupos de leptodactílidos se trata de mostrar este patrón; la diversificación obedece a un patrón horizontal (especiación alopátrica) con contribuciones menores de diversificación vertical.

Palabras claves: Anura, biodiversidad, biogeografía, especiación alopátrica.

Abstract

Using the data provided in **Ruiz-Carranza et al. (1996)** the distributions of the 540 species of frogs and toads are partitioned among ten ecogeographic units of Colombia defined on the basis of precipitation and elevation. Some lowlands areas (Pacific lowlands, Amazonia) exhibit high diversity (85-94 species) but lowlands areas in general are impoverished (30-52 species), especially when contrasted with upland areas. The three Andean cordilleras harbor between 87 and 121 species of frogs and toads, demonstrating that the biodiversity of Colombia resides primarily in its montane components, not in its lowland rainforests. When biological endemism is separated from political endemism, five areas of high endemism remain (the three Andean

¹ School of Biological Sciences, the University of Nebraska, Lincoln, Nebraska 68588, U.S.A.

² Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 7495, Santafé de Bogotá, Colombia.

cordilleras, the Sierra Nevada de Santa Marta, and the Pacific lowlands). We endeavor to explain this description by recourse to cladistic analyses of several groups of leptodactylid frogs where we find that the general pattern of diversification is by means of horizontal diversification (allopatric speciation) with a minor contribution from vertical diversification.

Key words: Anura, biodiversity, biogeography, allopatric speciation.

Introduction

Ruiz-Carranza et al. (1996) provided a listing of the species of amphibians known from Colombia, substantially altering the currency of Cochran & Goin (1970) or Duellman (1979). Our investigations over the past twenty years have established Colombia as the country richest in amphibian species on the planet, especially as concerns frogs and toads. It is believed widely, especially by non-specialists, that biotic richness is related to the proportion of the tropical lowlands included in some political unit. However, the data provided by Ruiz-Carranza et al. (1996) contradict that belief and establish that the Andean fauna is what makes the Colombian biota so distinctive and rich. The purposes of the present contribution are to set the data provided by Ruiz-Carranza et al. (1996) into a biogeographic context and to emphasize the major points of those data as concerns the geographic distribution of biodiversity. The more than 540 species³ of frogs and toads found within the geographic limits of the Republic of Colombia are partitioned among thirteen family-groups, as follows: Bufonidae (60), Centrolenidae (63), Dendrobatidae (54), Hylidae [128, subfamilies — Hemiphractinae (26), Hylinae (86), Phyllomedusinae (16)], Leptodactylidae [212, subfamilies — Ceratophryinae (2), Leptodactylinae (34), Telmatobiinae (176)], Microhylidae (14), Pipidae (4), Pseudidae (1), and Ranidae (3).

The frogs and toads found in Colombia exhibit a wide variety of reproductive modes representing adaptations, presumably, to the availability of moisture and as protection for the embryonic stages from predation. Some areas of Colombia are notably dry, and therefore unsuitable for most frog species (thorn forests, > 5 months per year without rains), whereas others are among the wettest places

on the planet. In general, the republic can be described as a moist region with abundant supplies of precipitation. The lowland units consist of rainforests (Amazonia and Chocó), grasslands (Llanos), and the relatively dry thorn forests of the Caribbean lowlands and the interior river drainages (ríos Cauca and Magdalena). In addition to these lowland areas, there is a large isolated massif (La Sierra Nevada de Santa Marta) located on the Caribbean coast and a series of andean chains separated by the Cauca and Magdalena river valleys. The three Andean cordilleras are united in the Macizo de Pasto, just north of the Republic of Ecuador. Each of the montane regions has individual

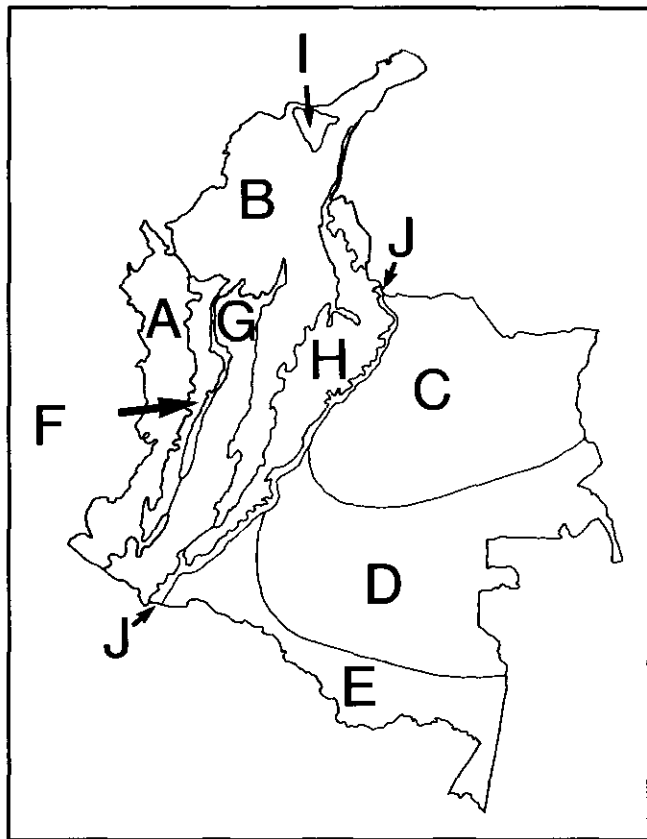


Figure 1. Map of Colombia showing the ten ecogeographic units mentioned in the text and referenced in Tables 1-3.

³ Ruiz-Carranza et al. (1996) reported 540 species and we use those figures. However, additional species are described from Colombia at an astonishing rate; in this journal, nine additional species of *Eleutherodactylus* were described in two articles appearing in the March 1997 issue, Lynch & Duellman (1997) described two additional species found in Nariño, Colombia (and Ecuador), and Lynch & Ruiz (1996) described a new *Cochranella*.

peaks reaching 4000 or more meters and is described generally as having substantial areas above 2000 meters.

Results

For convenience, Colombia can be divided into ten ecogeographic units (Fig. 1), based on the amount and distribution of precipitation. These include four elevated regions (the three Andean cordilleras and the Sierra Nevada de Santa Marta) and six lowlands regions. Using the data provided in Ruiz-Carranza et al. (1996), one may tabulate the numbers of species from each family-group found in each of the ten regions, ranging from a low value of 17 species to a high value of 121 species (Table 1). Some family-groups are found in all ten regions whereas others are restricted to some lowlands regions. When a species occurs in more than one ecogeographic region, it is counted for each region (hence, the totals across regions exceed 540 species). The number of species found in a region is one measure of a group's importance. A

second measure of a group's importance is concerned with how exclusive are the species making up the group (endemicity). Areas B-J (Table 1) have low endemicities, whether or not there are many or few species present in the area.

Discussion

Descriptive biogeography of Colombian frogs and toads. Historically, most biologists have believed that tropical diversity was a simple function of the presence (and extent) of the biota of lowland rainforests. The lowlands of western Colombia harbor 94 species of frogs and toads and the southeastern fringe of Colombia, residing in Amazonia, harbors 85 species. A few widespread species (e.g., *Bufo marinus*, *B. "typhonius"*, *Hyla boans*, and *Scinax rubra*) are held in common by these two regions, but these two areas contain "only" approximately 175 species (only 32% of the frog fauna of the Republic). This is one of our major points – that although these lowland rainforest areas exhibit prominent diversity, the presence of such forests in Colombia explains only part of the diversity of its frogs and toads.

Other lowlands regions are less richly endowed with species of frogs and toads and also have fewer endemics (Table 1). The Caribbean lowlands (including the interandean valleys), with their mediterranean climate and dry, scrub forests, harbor 45 species and the llanos of the Orinoquia harbor only 30 species. Another eastern lowlands region (triángulo guayanés), between the llanos and the Amazonian selva, is peculiar because, although forested, it has a pronounced dry season, and harbors 52 species of frogs and toads. This unit is perhaps best viewed as an ecotone between the llanos of the Orinoco and the selvas of Amazonia. Along the eastern base of the Andes is another ecotonal region (piedemonte) extending from Venezuela to Ecuador and harboring 55 species. This unit is forested and very narrow.

The Caribbean lowlands and the Orinoco grasslands are vast regions but are relatively species-poor. This is accentuated by noting that endemicity is low for each region. The only lowlands region to have substantial numbers of species and appreciable endemicity is the Pacific lowlands of western Colombia (Table 1). The comparably rich Amazonia does not exhibit a comparable level of endemicity. Twenty-five years ago (Cochran & Goin, 1970), the Andes seemed unimportant biogeographically but discoveries in the past twenty years have revealed that the previous (and currently popular) view is a myth. When we began our investigations, there were only eight

Tabla 1. Números de especies de ranas colombianas en diez zonas ecogeográficas. Letras identifican áreas (vease Fig. 1).

	A	B	C	D	E	J	F	G	H	I
Bufonidae	11	3	4	4	5	3	12	14	7	7
Centrolenidae	9	2			1	3	25	17	15	1
Dendrobatidae	16	1		3	7	2	9	13	7	(2) ^a
Phyllomedusinae	6	2	1	1	4	4	1		2	
Hemiphractinae	3				2	2	7	10	8	1
Hylinae	17	17	15	18	29	17	5	8	15	
Ceratophryinae		1		1	1					
Leptodactylinae	5	8	7	12	16	8	1	1	1	
Eleutherodactylini	23	6		4	13	14	57	47	31	8
Pipidae	1		1	1	2					
Pseudidae		1	1	1						
Microhylidae	2	3	1	6	5	1	1	1	1	
Ranidae	1	1		1	1	1				
TOTAL	94	45	30	52	85	55	118	121	87	17
% endémicas	71	36	33	25	37	29	74	62	84	94

^a The two dendrobatid species from the Sierra Nevada de Santa Marta are undescribed species of *Colostethus*. Because they are undescribed, and not listed in Ruiz-Carranza et al (1996), they are included in this table in parentheses (as well as in Table 2).

centrolenid species and only 35 eleutherodactyline species known for Colombia (see Table 1) – and, each group has its diversity centered in the northern Andes.

Our second major point is that more than half of the species of frogs and toads of Colombia occur in the relatively small geographic area occupied by the Andean cordilleras. In fact, the two richest regions of Colombia are the two western Cordilleras, the narrow Cordillera Occidental with 118 species, and the Cordillera Central with 121. The Cordillera Oriental is somewhat less rich ("only" 87 species), roughly comparable to the diversity of the Chocó or of Amazonia.

To summarize this introduction to the pattern of biodiversity of the frogs and toads of Colombia, species richness does not correlate with endemism (Table 1, Fig. 2). Rather, five areas exhibit high levels of endemism (62-94%) and five areas exhibit low endemism (25-37%). All areas of low endemism are lowland faunas and all highlands areas exhibit high endemism as does one lowland region (Chocó).

Four groups of frogs and toads (Ceratophryinae, Pipidae, Pseudidae, and Ranidae) are depauperate in Co-

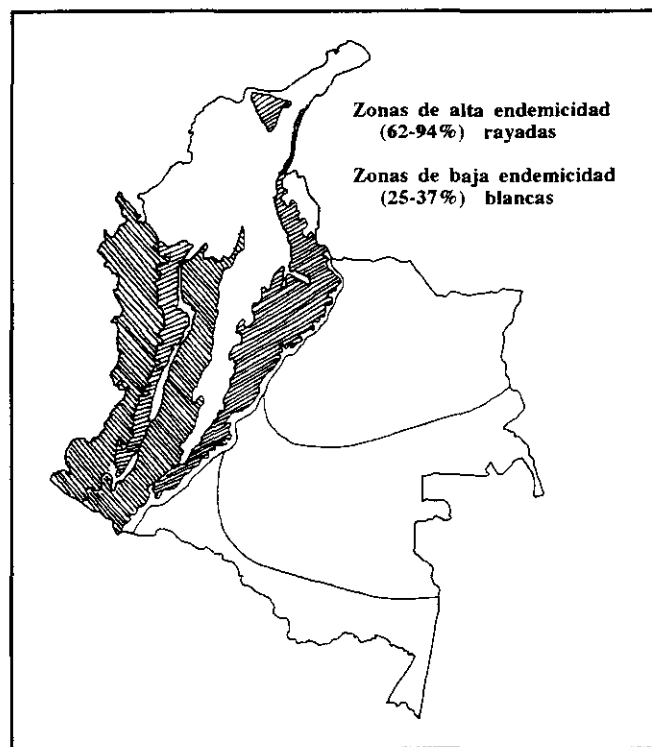


Figure 2. Levels of endemism among the ten ecogeographic units; hatched areas exhibit high endemism.

lombia (1-4 species) and are confined to lowlands regions. The first three of these are groups of small to modest diversity on a global scale whereas the last is diverse in Africa, Asia, and North America, and reaches a distributional limit in northwestern South America (presumably as a Pliocene entrant to the continent). Three other groups (Phyllomedusinae, Leptodactylinae, and Microhylidae) are more speciose (14-34 species) but are scarcely represented in the Andean fauna (three endemic phyllomedusines, one endemic *Leptodactylus*, and one nonendemic microhylid). The remaining six groups (Bufonidae, Centrolenidae, Dendrobatidae, Hemiphractinae, Hylinae, and Telmatobiinae [tribe Eleutherodactylini]) have significant numbers of species in the Andes and in the fauna of Colombia. Two of these groups are represented across all regions and the other four are poorly, or not, represented in drier regions (Table 2).

The general pattern of diversity described previously is reflected in these data as well but is less obvious in some groups than for others because percentages do not reveal differences in numbers of species. However, all of the data presented thus far incorporate artificial endemism. A frog species might be endemic to area E (Colombian Amazonia) but is found as well in Brasil, Ecuador, and Peru. It is not biologically endemic to the Amazonia of Colombia, only politically endemic. If one makes an effort to distinguish biological and political endemism, the apparent high endemism of Colombian frogs and toads (to ecogeographic regions) is reduced dramatically. The chocoan lowlands of western Colombia share much of their distinctive fauna with Ecuador and Panamá. Nearly all species found in the Caribbean lowlands of Colombia are shared by Venezuela and/or Panamá. The Orinocoan fauna is shared with Venezuela. The triángulo guayenés shares its fauna with Brasil and Venezuela. The

Tabla 2. Porcentaje de especies endémicas de seis familias de ranas colombianas en las zonas geográficas. Las áreas son identificadas por letras (vease Fig. 1). El símbolo * indica que 100% de las especies son endémicas.

	A	B	C	D	E	J	F	G	H	I
Bufonidae	82	33	25	25	40	33	92	93	86	86
Hylinae	53	41	40	17	31	6	60	62	93	
Centrolenidae	50	0			*	*	63	62	87	*
Dendrobatidae	*	*		33	57	50	89	62	86	(*)
Hemiphractinae	67				*	0	43	70	50	*
Eleutherodactylini	70	20		50	31	50	77	56	93	*

piedemonte shares most of its species with Ecuador or Venezuela. The Cordillera Central represents the northern extension of the Cordillera Real of Ecuador and many Andean species are shared by Colombia and Ecuador and/or Venezuela. Only the Sierra Nevada de Santa Marta preserves its high endemism when political endemism is eliminated from the equation.

Over the past twenty years, two groups of frogs and toads have formed central foci for us, in part because each is well represented in Colombia. However, part of these foci reflect systematic and taxonomic interests of the authors. The family Centrolenidae (63 species) has been a major focus of JDL and PMR while the tribe Eleutherodactylini (176 species) is an obsession of JDL. Because we have devoted so much time to the study of these groups documenting their taxonomies and distributions, we are most confident of the data sets for these two groups, and will use these two groups to examine biological endemism and its pattern among the ecogeographic units making up the Colombian biota. We suspect that we are approaching a complete knowledge of the centrolenids of Colombia. By that, we mean that we think we have found most of the species to be found in Colombia (although several of these have not yet been named formally). Our estimate is that we have placed names on 90% of the centrolenid species found in the Republic. For most areas of Colombia, we are confident of the 90% figure but there exist a few areas where novelties surely remain. Our knowledge of eleutherodactyline frogs is less complete (in our estimate). For eleutherodactyline frogs, we think that 90% (or better) knowledge exists for many regions, even large and complex ones (western lowlands, Cordillera Occidental), but for other regions the discovery phase is far from complete. For example, in the cloud forests of the northern Cordillera Central, names can be placed on less than 40% of species that we recognized (Ruiz-C. et al., 1996). In that biota, we found eight species of centrolenids and 28 species of eleutherodactylines. Aside from these caveats, these two groups of organisms are taken as representative groups for a general description of the biogeographic pattern of Colombian frogs.

Tabla 3. Especies endémicas biológicamente en zonas ecogeográficas de Colombia. Areas son identificadas en Fig. 1.

	A	E	J	AF	F	FG	G	H	I
Centrolenidos	1	1		2	9	3	9	10	1
Eleutherodactylinos	4		1		27	9	22	24	8

Of the 63 species of centrolenids (Table 3) known from Colombia (Ruiz-C. et al., 1996), 36 are endemic (biologically) to Colombia (although we doubt the endemism of *Cochranella ametarsia*). Nine species are endemic to the Cordillera Occidental, nine others to the Cordillera Central, three endemics are shared by those two cordilleras (otherwise endemic), ten are endemic to the Cordillera Oriental, and one is endemic to the Sierra Nevada de Santa Marta. The other four endemic species include one in the Pacific lowlands, two shared by the Pacific lowlands and the Cordillera Occidental, and one questionable endemic in Amazonia.

Of the 176 eleutherodactylines known from Colombia (listed in Ruiz-C. et al, 1996), 96 are endemic to Colombia (Table 3). Twenty-seven are endemic to the Cordillera Occidental, 22 to the Cordillera Central, nine are shared exclusively by those two cordilleras, 24 are endemic to the Cordillera Oriental, and eight are endemic to the Sierra Nevada de Santa Marta. The Pacific lowlands harbor four endemics.

These data tell us that four marked areas of endemism exist for the frogs of Colombia – each of the three Andean cordilleras and the Sierra Nevada de Santa Marta. They also suggest that a fifth area (Pacific lowlands) should be so identified as well. One curious pattern (FG) involves an array of species whose distributions are separated (fragmented) by the valley of the Río Cauca. This distributional pattern suggests that the geological history of those two cordilleras will be found to be complex. These more precise data agree with the general trend (Table 1 and its description) identified using all species and ignoring the artifacts of political endemism – that the richness of the frog fauna of Colombia is not an effect of lowland rainforests but of the highland areas. This conclusion suggests, but does not demonstrate, that the biological diversity of Colombia is due to Beta diversity rather than to Alpha diversity, that is, that the biodiversity is explained as a function of geographic replacements of species rather than ecological complexity.

Analytical biogeography of Colombian frogs and toads. Beta diversity corresponds to what is thought of as “normal” speciation (allopatric speciation). Using the data sets available to us, that pattern is nearly universal among them. The first author began to appreciate this pattern when he initiated his study of the frogs of the *Eleutherodactylus orcesi* group (Fig. 3). Six species are known at present, one of which is endemic to Ecuador, one is shared by Colombia and Ecuador, and four are endemic to the Cordillera Central of Colombia (Lynch, 1980, 1981, Lynch et

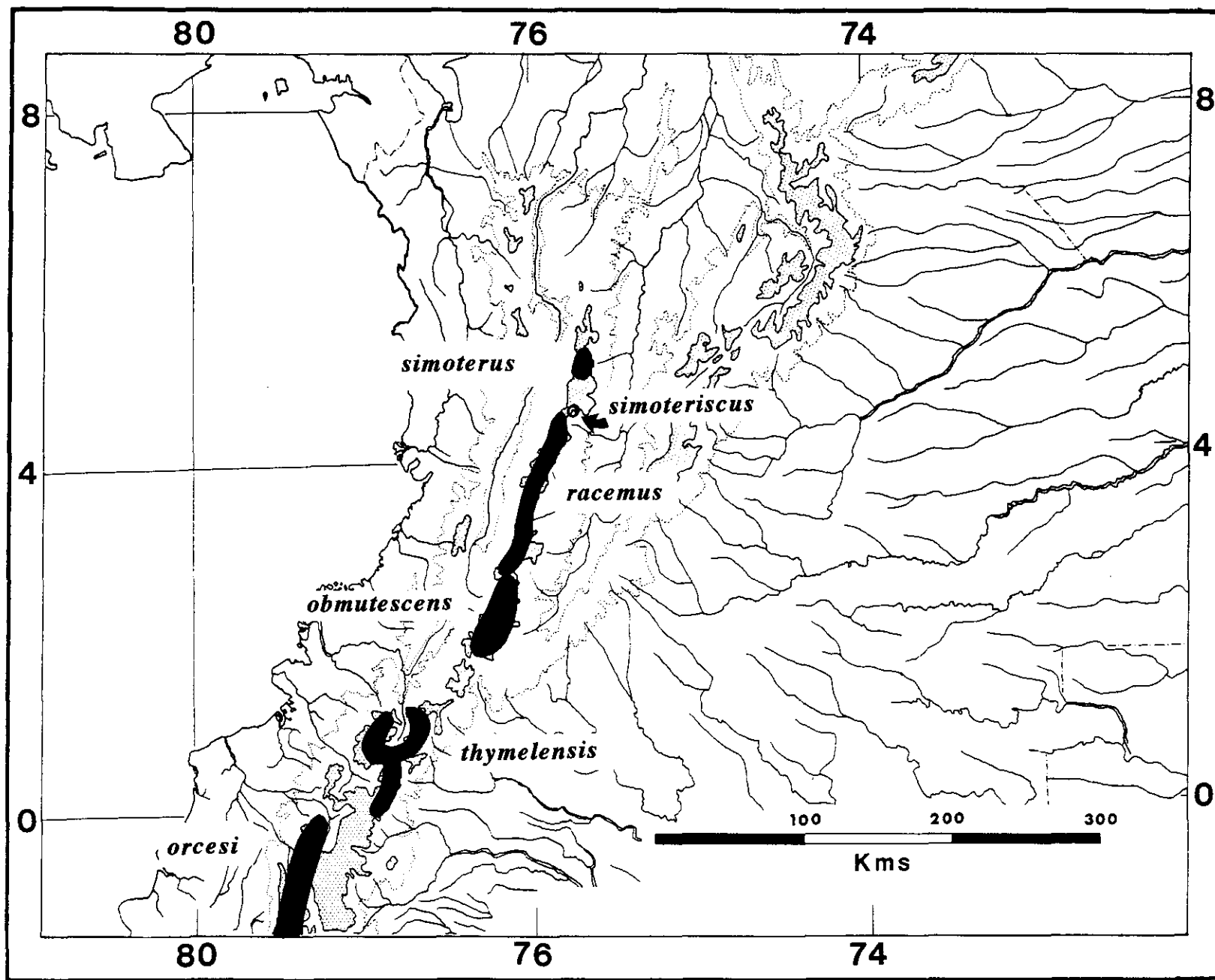


Figure 3. Distributions of the species of the *Eleutherodactylus orcesi* species group in Colombia and Ecuador.

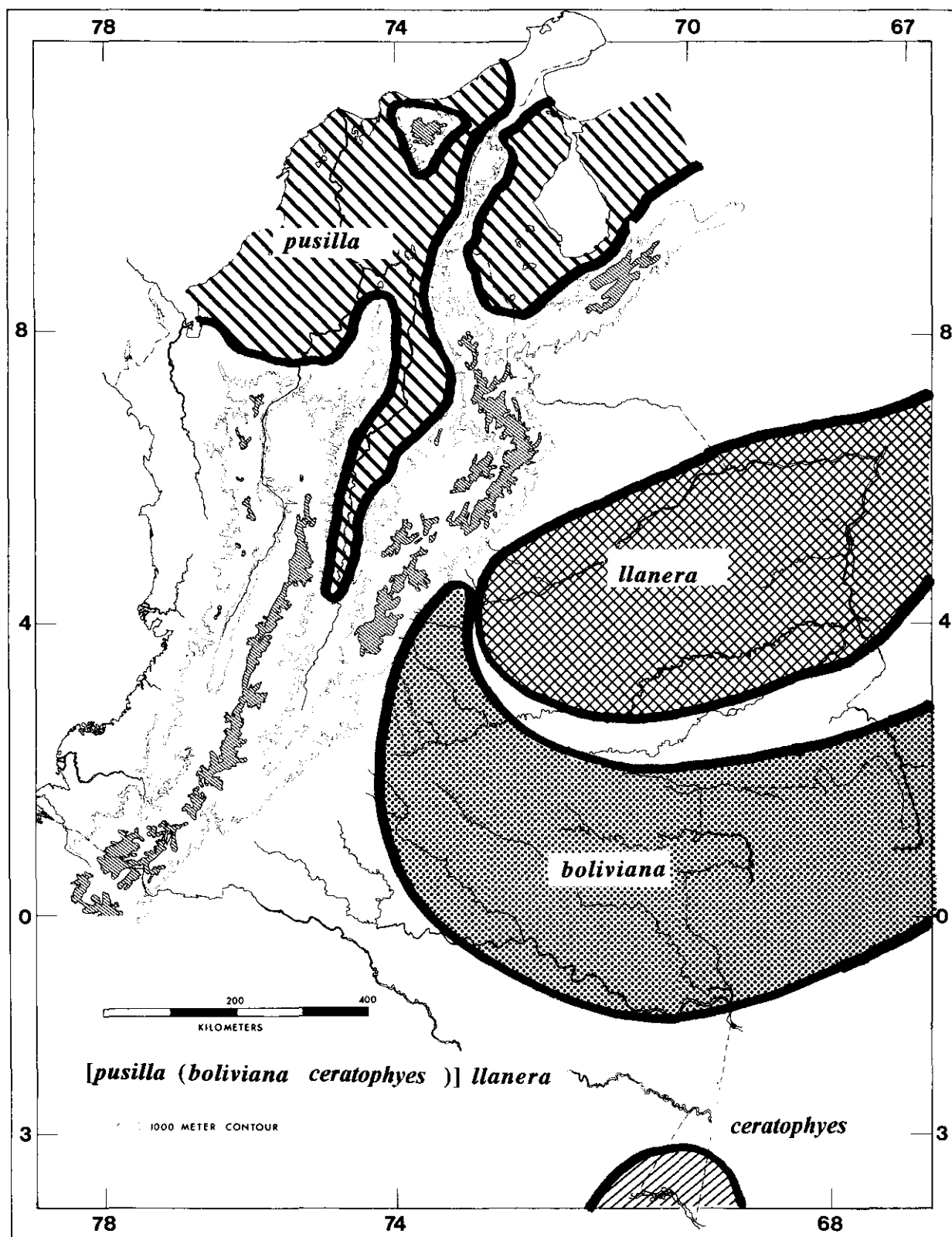


Figure 4. Distributions of the species of *Pseudopaludicola* in Colombia and adjacent countries. Relationships are expressed mathematically.

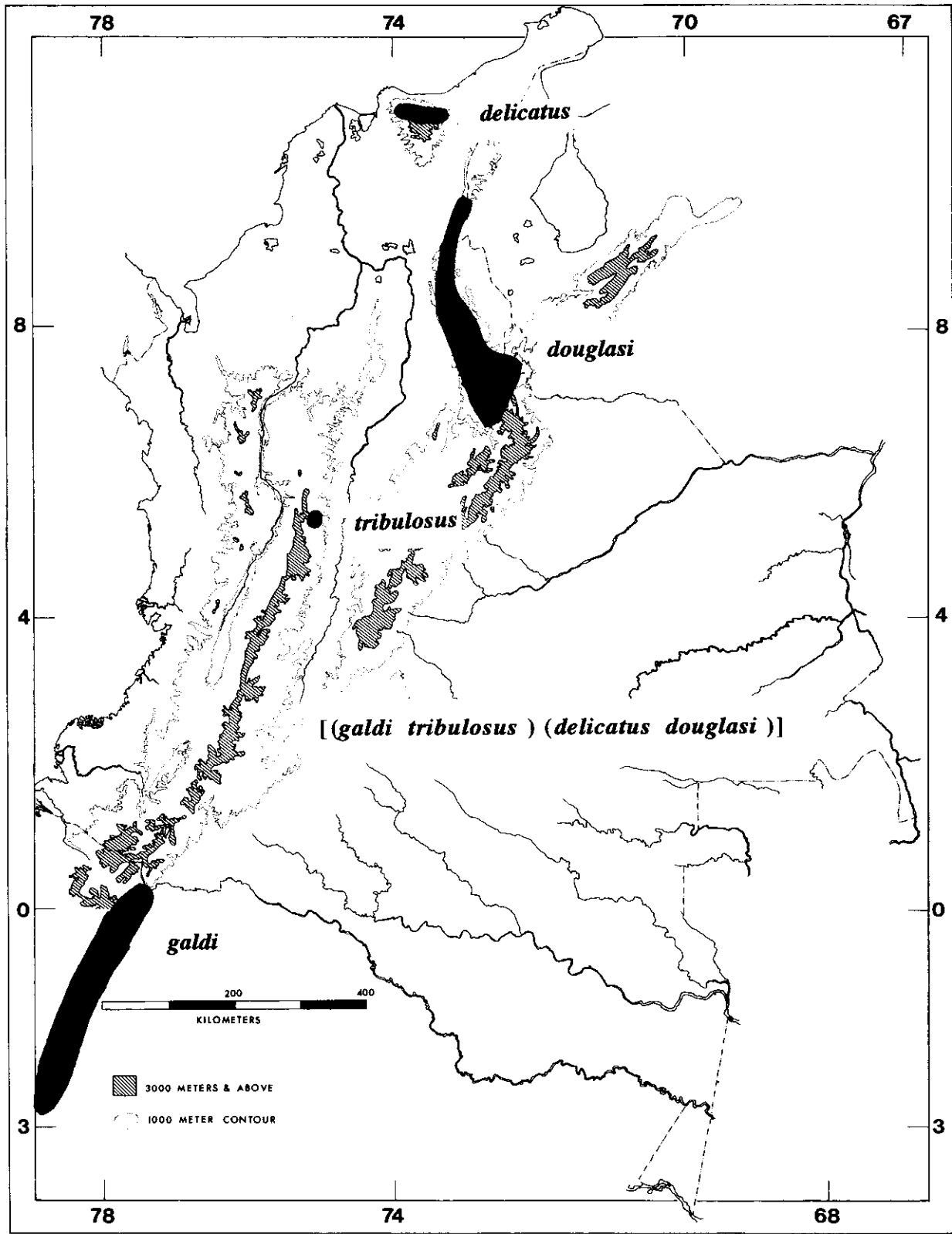


Figure 5. Distributions of the species of the *Eleutherodactylus galdi* clade in Colombia and Ecuador. Relationships are expressed mathematically.

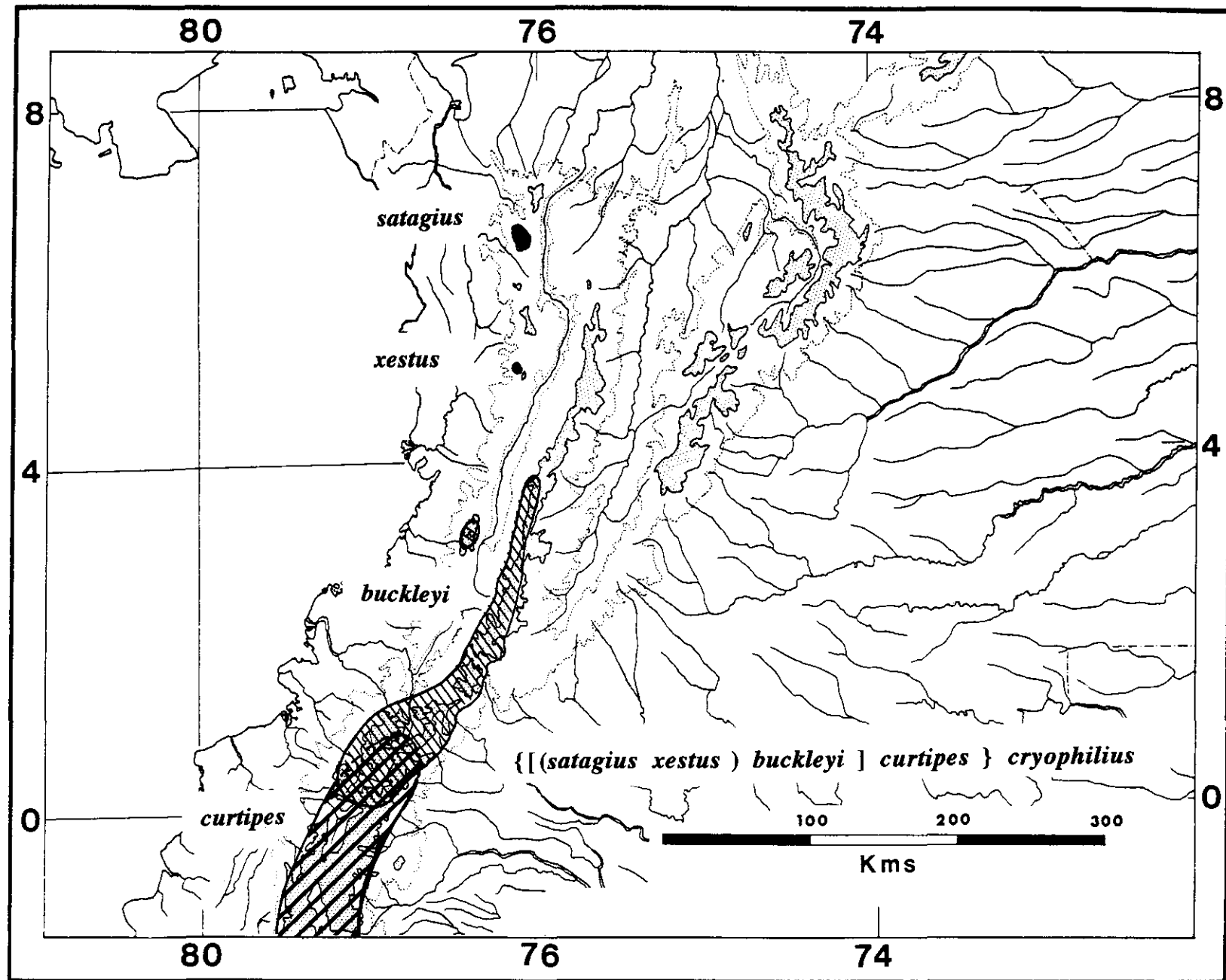


Figure 6. Distributions of four species of the *Eleutherodactylus curtipes* species group in Colombia and northern Ecuador. Relationships are expressed mathematically.

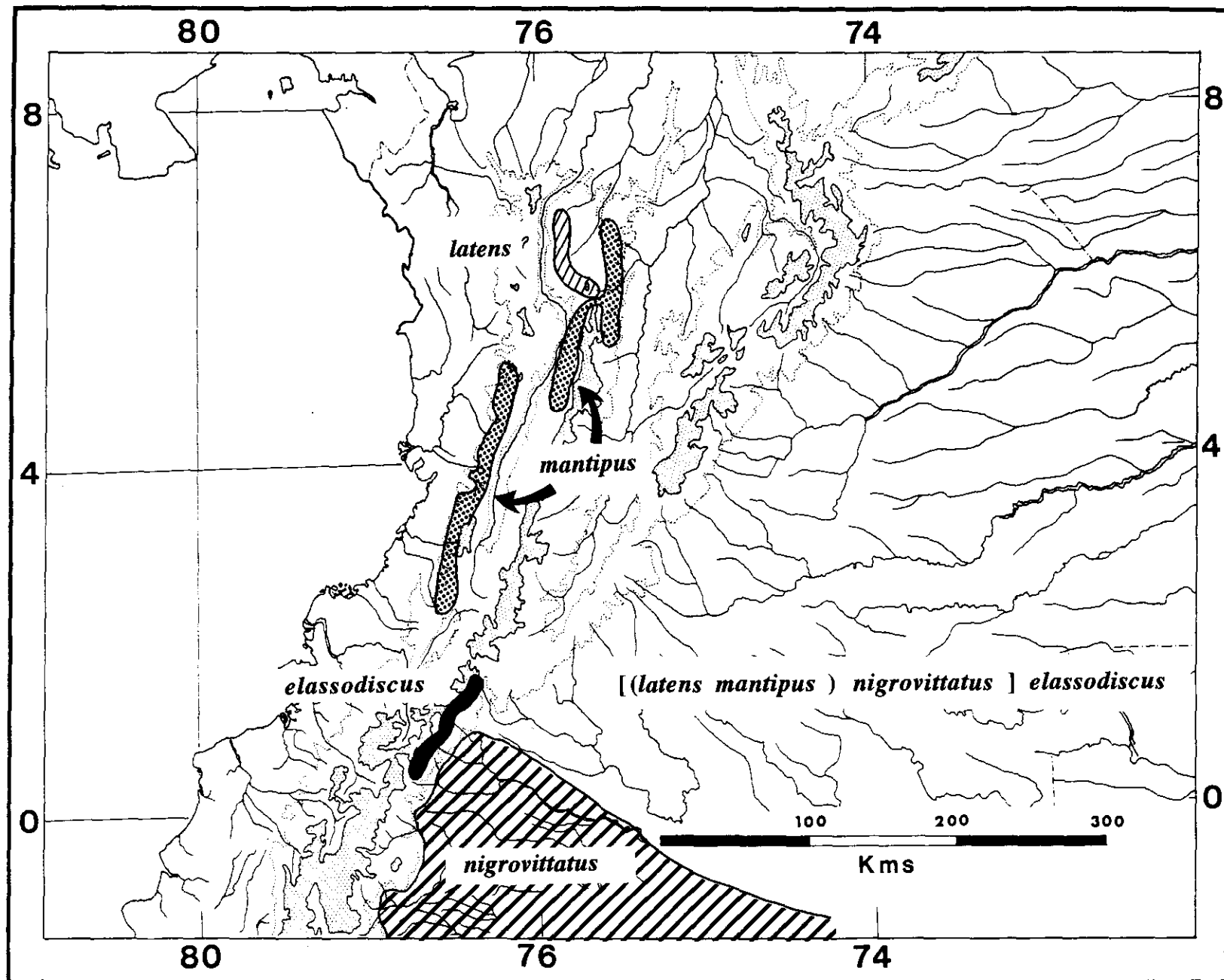


Figure 7. Distributions of the species of the *Eleutherodactylus nigrovittatus* species group in Colombia and Ecuador. Relationships are expressed mathematically.

al., 1996). The six species neatly replace one another along the geographic axis of the Cordillera Central and Cordillera Real with a single locality of apparent sympatry. All six species occupy paramo habitats (3000–4100 m) and it is unlikely that there are additional species in the complex or that the known distributions will be substantially altered by future collecting. Unfortunately, the relationships among the six species remain unknown. Frogs of the genus *Pseudopaludicola* (Fig. 4), a lowlands group found below 500 meters, demonstrate the same pattern but, in this case, the relationships are known (Lynch, 1989a). In the *galdi* group of *Eleutherodactylus*, the four species are allopatric (Fig. 5) and occur at comparable elevations (Lynch & Rueda-A., 1997). In the *curtipes* group of *Eleutherodactylus* (Lynch, 1995), the five species are allopatric, except for the extremities of the distributions of *E. buckleyi* and *E. curtipes* (Fig. 6), and occur at comparable elevations (3200–4400 m).

Three other species groups depart from this pattern (geographic replacement within the same elevational belt). In the *nigrovittatus* group (Fig. 7), three of the four spe-

cies occupy upland habitats but the fourth is a lowlands species (Lynch, 1989b). Each is allopatric but the lowlands species belongs to a clade found in the Andes, suggesting that some dispersal has occurred after speciation. In the *loustes* group of *Eleutherodactylus* (Lynch, 1992), two species occur in cloud forests but the third (*E. hybotragus*) is a lowlands species, most closely related to one of the upland species. In the *sulcatus* group of *Eleutherodactylus* (Lynch, 1997), the seven Andean species (cloud forests 500–2500 m) form a clade. All sister species pairs are allopatric to one another but less closely related pairs of species may be partially (or wholly) sympatric.

Thus, the general pattern is that nearest relatives occur in the same elevational station but allopatrically. In addition to these cases, we can cite about a dozen additional cases, all distributed within the Cordillera Occidental, but involving only pairs of sister species. A variation on that general pattern is that one species of a clade (or an entire subclade) exhibits altitudinal displacement relative to the rest of the clade (Fig. 8).

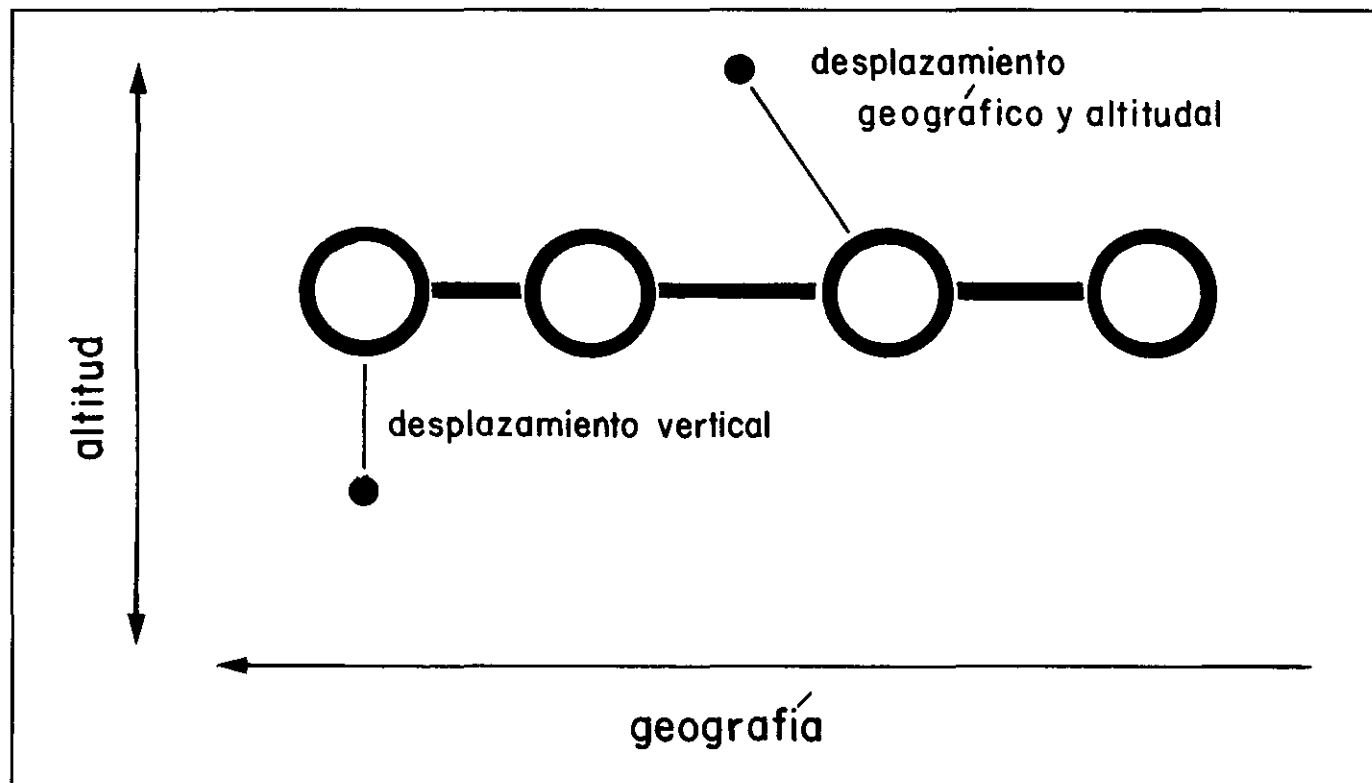


Figure 8. Distributional patterns for frog species in Colombia (heavy lines and circles reflect the major pattern; thin lines and solid circles reflect minor patterns).

We think that the emerging data set for Colombia is going to tell us that the Andean chains have played a critical role in the diversification of the Colombian frog fauna by fragmenting lowland populations (as in *Pseudopaludicola*) or by fragmenting populations by means of nonsynchronous uplifting of Andean blocks and providing topographic complexity that eliminates gene flow and promotes the development of allopatrically distributed species. At least two cases of upland groups are available where a lowland representative is positioned within the cladogram such that it is necessary to identify (postulate) dispersal as a means of explaining the geographic/cladistic relationships (*loustes* and *nigrovittatus* groups of *Eleutherodactylus*). Although very popular, Mayr's peripatric model of speciation (see Mayr, 1997) does not efficiently explain the pattern that we think characteristic of Colombian frogs. Our claim that horizontal diversification is the central pattern in these data (seven data sets) is contrary to Funk's (1982) study of *Montanoa* (Asteraceae: Heliantheae) where vertical diversification appears to be the main pattern even though we have a few cases where vertical displacement appears to have been the case. Obviously, many more cladograms combined with detailed distributional data will be required to resolve the competing explanations.

Literature Cited

- Cochran, D. M. & C. J. Goin. 1970. Frogs of Colombia. U. S. Natl. Mus. Bull. (288): 1-655.
- Duellman, W. E. (ed.) 1979. The South American Herpetofauna: Its Origin, Evolution, and Dispersal. U. S. Nat. Hist., Monogr. 7: 1-485.
- Funk, V. A. 1982. Systematics of *Montanoa* (Asteraceae: Heliantheae). Mem. New York Bot. Gard. 36: 1-135.
- Lynch, J. D. 1980. New species of *Eleutherodactylus* of Colombia (Amphibia: Leptodactylidae). I: five new species from the paramos of the Cordillera Central. Caldasia 13(61): 165-188.
- . 1981. Leptodactylid frogs of the genus *Eleutherodactylus* in the Andes of northern Ecuador and adjacent Colombia. Misc. Publ. Univ. Kansas Mus. Nat. Hist. (72): 1-46.
- . 1989a. A review of the leptodactylid frogs of the genus *Pseudopaludicola* in northern South America. Copeia 1989: 577-588.
- . 1989b. Intrageneric relationships of mainland *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae). I. A review of the frogs assigned to the *Eleutherodactylus discoidalis* species group. Contrib. Biol. Geol. Milwaukee Pub. Mus. (79): 1-25.
- . 1992. Two new species of *Eleutherodactylus* from southwestern Colombia and the proposal of a new species group (Amphibia: Leptodactylidae). J. Herpetol. 26: 53-59.
- . 1995. Three new species of *Eleutherodactylus* (Amphibia: Leptodactylidae) from paramos of the Cordillera Occidental of Colombia. J. Herpetol. 29: 513-521.
- . 1997. Intrageneric relationships of mainland *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae). II. A review of the *Eleutherodactylus sulcatus* group. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 21(80): in press.
- & W. E. Duellman. 1997. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* in western Ecuador/ Systematics, ecology, and biogeography. Univ. Kansas, Nat. Hist. Mus., Spec. Publ. (23): iv + 236 pp.
- & J. V. Rueda-Almonacid. 1997. Three new species of frogs (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from cloud forests in eastern Departamento Caldas, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 21(79): 131-142.
- & P. M. Ruiz-C. 1996. A remarkable new centrolenid frog from Colombia with a review of nuptial excrescences in the family. Herpetologica 52:525-535.
- , P. M. Ruiz-Carranza, & M. C. Ardila-Robayo. 1996. Three new species of *Eleutherodactylus* (Amphibia: Leptodactylidae) from high elevations of the Cordillera Central of Colombia. Caldasia 18: 329-342.
- Mayr, E. 1997. This Is Biology/ The Science of the Living World. Belknap Press of Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts. Xv + 327 p.
- 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.

ESTUDIO FLORISTICO EN UN ROBLEDAL DEL SANTUARIO DE FLORA Y FAUNA DE IGUAQUE (BOYACA, COLOMBIA)

por

César A. Marín-Corba¹ & Julio Betancur²

Resumen

Marín-Corba, C. A. & J. Betancur : Estudio florístico en un robledal del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque (Boyacá, Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 249-259, 1997. ISSN 0370-3908.

Se analizó la diversidad florística de un robledal de la región andina de Colombia, ubicado en el Santuario de Flora y Fauna de Iguaque (Boyacá, Colombia). Se censaron todos los individuos con DAP ≥ 2.5 cm presentes en 0.1 ha. Se registraron 384 individuos, distribuidos en 53 especies, 27 familias y 34 géneros; las familias con mayor riqueza de especies fueron Ericaceae (7), Lauraceae (5) y Myrsinaceae (5). Los resultados muestran que es un bosque con baja diversidad y con predominio de pocas especies; las especies con el mayor valor de importancia fueron *Quercus humboldtii* (34 %), *Weinmannia tomentosa* (21.2 %), *Clusia inesiana* (4.8 %), *Viburnum tinoides* (4.7 %) y *Ternstroemia meridionalis* (4.6 %).

Palabras claves: Andes, Colombia, diversidad, florística, robles.

Abstract

The floristic diversity of an oak Andean forest was studied at the National Reserve "Santuario de Flora y Fauna de Iguaque" (Boyacá, Colombia). All individuals with DAP ≥ 2.5 were measured and registered in ten 50 X 2 m transects for a total of 0.1 ha. There were found 384 individuals, 53 species, 27 families and 34 genera; the most species-rich were Ericaceae (7), Lauraceae (5) and Myrsinaceae (5). The results show a forest with low diversity in which a few species predominate; the species with higher important value index (IVI) were *Quercus humboldtii* (34 %), *Weinmannia tomentosa* (21.2 %), *Clusia inesiana* (4.8 %), *Viburnum tinoides* (4.7 %) and *Ternstroemia meridionalis* (4.6 %).

Key words: Andes, Colombia, diversity, floristics, oak forest.

¹ Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI. Apartado 36638, Santafé de Bogotá, Colombia.

² Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Santafé de Bogotá, Colombia.

Introducción

El conocimiento sobre la flora y la vegetación de las montañas neotropicales se ha incrementado durante los últimos años, reconociéndose a los Andes como uno de los principales centros de diversidad y de especiación en el mundo (Churchill et al., 1995). A pesar de que el norte de los Andes es una región relativamente pequeña y altamente deforestada puede poseer una flora tan rica o aún mas que la planicie Amazónica (Henderson et al., 1991).

Los cambios climáticos ocurridos durante el cuaternario afectaron profundamente la composición y estructura de la vegetación de la selva andina de Colombia, produciéndose inmigraciones repetidas de algunos elementos florísticos provenientes de las regiones templadas del continente (van der Hammen, 1992). Aunque aún es tema de discusión, parece que la única especie de *Quercus* (roble) presente en Colombia es *Q. humboldtii* Bonpl. (Cavelier et al., 1994), especie de origen holártico cuyas poblaciones se establecieron en el noroeste de Suramérica, durante el plioceno superior o el pleistoceno. La distribución altitudinal de esta especie ha variado de acuerdo con los cambios climáticos ocurridos durante el holoceno y en consecuencia su límite altitudinal habría fluctuado en algunos cientos de metros (van der Hammen & González, 1960).

Los registros altitudinales de *Q. humboldtii* para Colombia están entre 1100 y 3450 m (Cavelier et al., 1994), pero los bosques típicos de roble se encuentran en algunas localidades por encima de 2500 m de altitud, en donde la especie domina ecológicamente grandes extensiones de bosque y forma consociaciones de gran riqueza florística, pero pueden descender bastante cuando el régimen de lluvia es cuantioso y en laderas donde se origina el bosque de niebla (Lozano & Torres, 1974).

Para países como Costa Rica, por ejemplo, existen importantes contribuciones científicas sobre los robledales, tanto sobre su conocimiento básico como sobre su potencialidad de uso y manejo (en Kappelle, 1996, puede verse una extensa compilación y actualización sobre el tema). La información disponible sobre los robledales de Colombia es más escasa, pero se cuenta con estudios puntuales como algunos inventarios florísticos (Lozano & Torres, 1965; Lozano et al., 1979; Lozano & Rangel, 1989; Zernig & Betancur, 1994), de vegetación y estructura (Cuatrecasas, 1934; Rangel & Lozano, 1989; Becking, 1994; Ramirez & Cuayal, 1996), de morfometría y distribución (Lozano & Torres, 1974; Cavelier et al., 1994) o de manejo (Rodríguez et al., 1996).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la riqueza florística por unidad de área y analizar la estructura de la vegetación de un bosque andino de roble, ubicado en el sector noroccidental del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, Colombia.

Area de estudio

El estudio se desarrolló en el sector occidental (Carrizal) del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque (S.F.F.I.), ubicado en la Cordillera Oriental colombiana, departamento de Boyacá, en jurisdicción de los municipios de Tunja, Arcabuco y Villa de Leyva, entre los 5° 36' 02" - 5° 44' 38" de latitud norte y los 73° 22' 05" - 73° 31' 26" de longitud occidental (Figura 1). La temperatura media oscila entre los 10 y 17°C; la humedad relativa es de 68.5% y la precipitación media anual de 1150-1650 mm, con máximos durante abril, octubre y noviembre y épocas de lluvias moderadas durante febrero, marzo, septiembre y diciembre (INDERENA, 1990). El bosque de roble estudiado estaba situado entre 2740 y 2900 m de altitud.

Métodos

El muestreo se realizó durante el mes de marzo de 1993. Se utilizó la metodología de subtransectos propuesta por Gentry (1982), en la cual se realizan 10 subtransectos de 50 x 2 m cada uno, para completar 0.1 ha; la dirección de los subtransectos fue definida al azar, teniendo en cuenta que no se intersectaran. Se censaron y colectaron todos los individuos con diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 2.5 cm, incluyendo información sobre su altura, circunferencia a la altura del pecho (CAP) y forma de vida (árbol, arbusto, bejuco, palmeto, etc.). El CAP se convirtió a DAP mediante la ecuación: $DAP = CAP / \pi$.

Los especímenes de herbario testigo fueron procesados y depositados en el Herbario Nacional Colombiano (COL), bajo las series de numeración de Julio Betancur (JB), Pilar Franco (PF) y Orlando Rivera (ORD) (Anexo 1).

Se calculó el Índice de Valor de Importancia (IVI) para cada especie, como la sumatoria de los valores de densidad relativa (No. de individuos por especie / No. total de individuos X 100), frecuencia relativa (No. de veces que aparece la especie en los 10 subtransectos / sumatoria de las frecuencias X 100) y dominancia relativa (sumatoria del área basal de todos los individuos de la especie / sumatoria del área basal total X 100).

Para evaluar la importancia ecológica de las familias calculamos el índice de importancia de familia (FIV) de

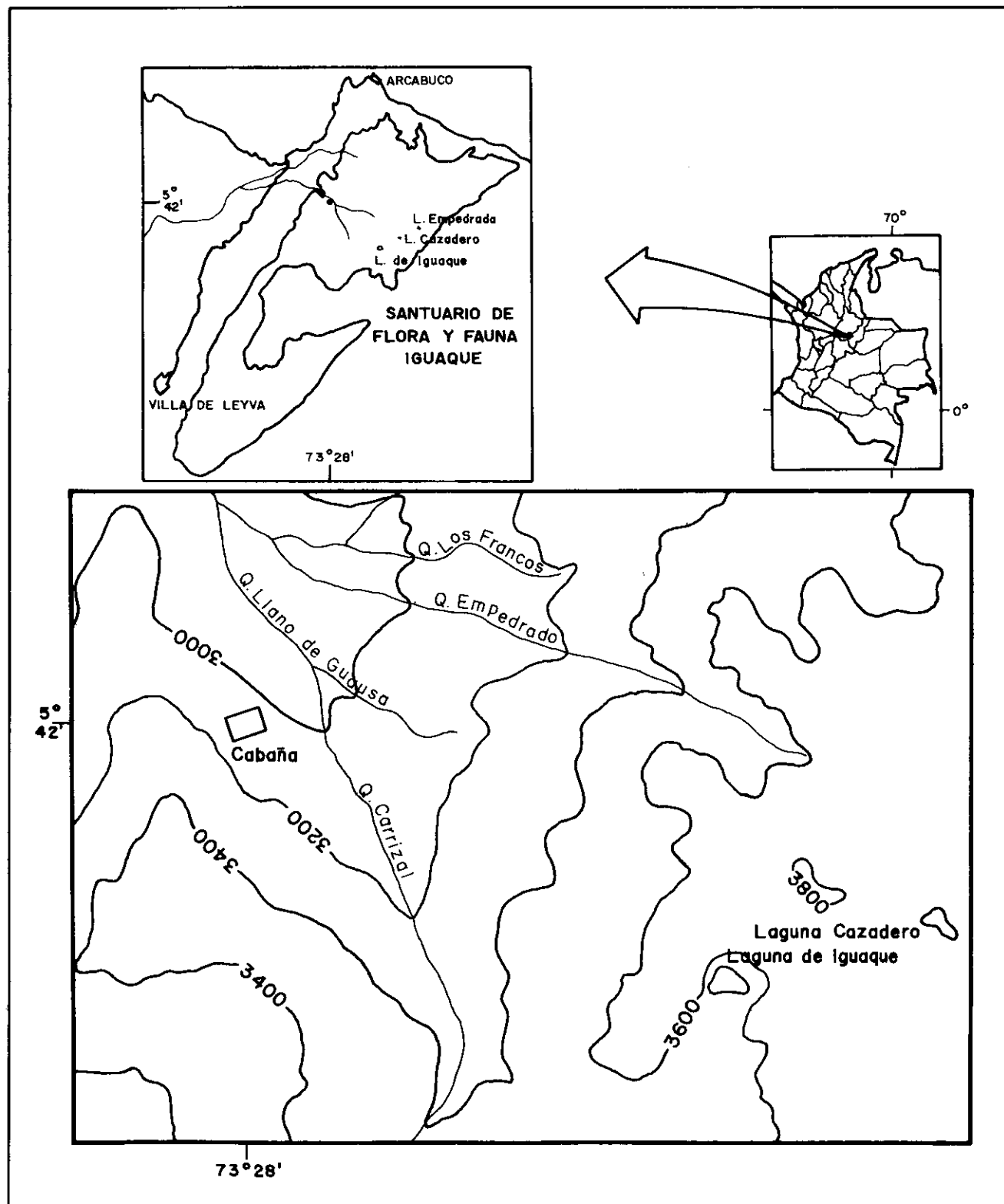


Figura 1. Ubicación geográfica del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, Boyacá, Colombia. El sitio de muestreo fue cerca de la Cabaña en el Sector de Carrizal.

acuerdo con Mori & Boom (1983), como la sumatoria de la diversidad relativa (No. especies de la familia / No. total de especies), la densidad y la dominancia relativas.

La información para cada variable estudiada (altura, IVI, densidad, frecuencia y dominancia relativas) se procesó con base en el establecimiento de clases o categorías, según las ecuaciones $m = 1 + 3.3 \log N$ y $C = X \text{ máx} - X \text{ mín} / m$, donde: m = número de intervalos, N = número de individuos de la muestra, C = amplitud de los intervalos y x = característica a analizar.

Para evaluar la diversidad florística se utilizaron los índices de diversidad de Shannon (H), de uniformidad de Pielou (e) y de predominio (c) de Simpson (Odum, 1983), según las ecuaciones: $H = -\sum (N_i/N) \log (N_i/N)$, $e = H / \log S$ y $c = \sum (N_i/N)^2$, donde: N_i = IVI de cada especie, N = IVI total, S = número total de especies. Para determinar si las poblaciones de las especies con mayores IVI se distribuían aleatoriamente o en forma agregada se utilizó el índice de Perry & Hewit (para mas detalles al respecto ver Hurtado, 1996 y Marín-C., 1996).

Resultados

Riqueza florística. En 0.1 ha encontramos 53 especies, distribuidas en 27 familias y 34 géneros. El promedio de especies por familia fue de 1.96, con un gran porcentaje de familias representadas por solo una especie (63 %). La familia Ericaceae presentó el mayor número de especies (7), seguida por Lauraceae y Myrsinaceae, con 5 especies cada una, y Clethraceae con 4 especies (Anexo 1).

Los promedios de géneros por familia y de especies por género fueron de 1.26 y 1.56, respectivamente. El 85.2 % de las familias estuvieron representadas por un sólo género. Las familias con más géneros fueron Ericaceae y

Myrsinaceae, con 4 y 3 géneros, respectivamente. Los géneros con mas especies fueron *Clethra* y *Ocotea*, con cuatro cada uno (Anexo 1).

Formas de vida. La distribución de las especies según las diferentes formas de vida fue: 39 especies de árboles (73.6 %), 6 de arbustos escandentes (11.3 %), 4 de hierbas terrestres (7.5 %) y 4 de arbustos (7.5 %).

Estratificación vertical. Encontramos 384 individuos, la mayor parte de los cuales estaban en el intervalo de 5.6 a 8.2 m de altura. El 72.4% de los individuos tuvieron una altura menor o igual a 10.8 m (Figura 2).

Parámetros ecológicos. En la Tabla 1 se puede apreciar que las mismas cinco especies comparten los mayores valores de IVI, densidad, frecuencia y dominancia relativas, con pequeñas variaciones en su ordenamiento. Estas cinco especies alcanzan cerca del 70 % del valor de importancia total. Para todos los parámetros estudiados las especies *Q. humboldtii* y *W. tomentosa* son las más importantes ecológicamente dentro de la comunidad, alcanzando cerca de una tercera y una quinta parte del IVI total, respectivamente. Las otras tres especies fueron *Clusia inesiana*, *Viburnum tinoides* y *Ternstroemia meridionalis*, cada una de las cuales alcanzó cerca del 5 % de la importancia ecológica dentro de la comunidad.

Respecto a la distribución de los valores de IVI, densidad, frecuencia y dominancia relativas en intervalos de clase, la mayor parte de las especies ocuparon los rangos inferiores, los intermedios estuvieron vacíos y los superiores ocupados por una o dos especies (*Q. humboldtii* y/o *W. tomentosa*).

Valor de importancia de familias. Las familias con mayor Índice de Valor de Importancia (FIV) fueron

Tabla 1. Especies más importantes ecológicamente en el Santuario de Flora y Fauna de Iguaque con sus respectivos valores de IVI, densidad, frecuencia, y dominancia relativas.

Especie	Densidad relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	Dominancia relativa (%)	IVI (%)
<i>Quercus humboldtii</i>	22.7	8.1	71.1	34.0
<i>Weinmannia tomentosa</i>	29.4	8.1	26.0	21.2
<i>Clusia inesiana</i>	6.8	6.5	1.2	4.8
<i>Viburnum tinoides</i>	6.5	7.3	0.4	4.7
<i>Ternstroemia meridionalis</i>	5.2	8.1	0.35	4.6

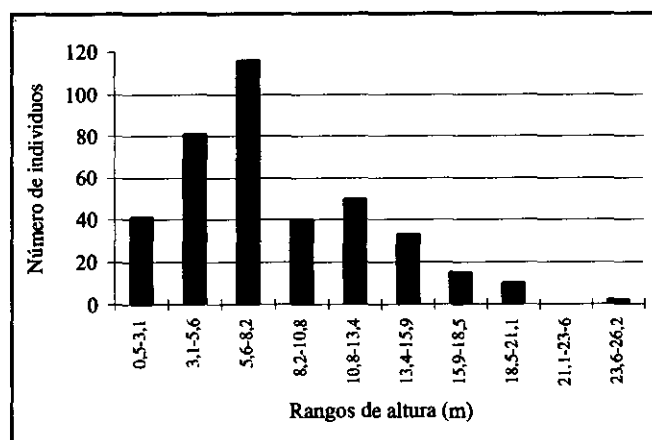


Figura 2. Distribución vertical de los individuos en el bosque de roble del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.

Fagaceae (31.9 %) y Cunoniaceae (19.1 %), seguidas por Ericaceae (5.3 %), Clusiaceae (5 %), Lauraceae (3.9 %) y Myrsinaceae (3.9 %) (Anexo 1). Obsérvese que las familias con más especies no son las que tienen mayor valor de importancia en la comunidad (Figura 3).

Índices ecológicos. El valor del índice de diversidad de Shanon (H) fué de 1.14, el de uniformidad o equidad de Pielou (e) de 0.66 y el de predominio de Simpson (c) de 0.17. Al aplicar el Índice de Perry & Hewit para las seis especies con mayor IVI se encontró que tres de ellas (*Q. humboldtii*, *W. tomentosa* y *C. multiflora*) tienen un patrón de distribución agregado, mientras que las poblaciones de *C. inesiana*, *V. tinoides* y *T. meridionalis* se distribuyen de forma aleatoria.

Discusión

En la Tabla 2 puede observarse que el número de familias y especies encontradas en el robledal de Iguaque coincide con los registrados para otros bosques andinos neotropicales situados a altitudes similares, en Colombia (Carpanta en Cundinamarca, Sabana Rubia en Cesar y Alto de Sapa en Antioquia) y otros países (Cerro Aypate en Perú y Parque Nacional Braulio Carrillo en Costa Rica) (Gentry, 1993, 1995). Ucumari (Risaralda) presenta gran riqueza de especies, significativamente superior si se compara con la de las demás localidades, lo que representa un caso especial de diversidad biótica en un ecosistema andino. Gentry (1995) propuso una ecuación de regresión para calcular el número de especies según la altitud en 0.1 ha ($No. especies = 260.1 - (0.073) altitud$); para la altitud promedio del bosque estudiado (2820 m) se esperaban encontrar 54 especies, valor que se acerca bastante al real (53 especies).

El valor encontrado para el índice de diversidad de Shanon (H) muestra que la diversidad en el bosque estudiado es baja, lo cual está correlacionado con la ya discutida dominancia y abundancia de unas pocas especies dentro de la comunidad. Un factor importante para tenerse en cuenta es la alelopatía observada en las comunidades donde predomina el roble (Lozano & Torres, 1965, 1974), factor que representa una ventaja competitiva de esta especie sobre las otras.

Los índices de uniformidad (e) y de predominio de Simpson (c) dieron valores no esperados, pues el valor calculado para e indicaría una gran uniformidad en la distribución de los parámetros ecológicos y el de c poca dominancia de una o varias especies en la comunidad. Esta incongruencia puede explicarse por el hecho de que estos

Tabla 2. Comparación de la diversidad florística entre el bosque estudiado y los de otras localidades andinas neotropicales (basada en Gentry, 1995).

Localidad	Altitud (m)	No. familias	No. especies	No. indiv.
Carpanta (Cundinamarca)	2850	23	46	280
Sabana Rubia (Cesar)	2900	32	51	343
Iguaque (Boyacá), este estudio	2800	27	53	384
Alto de Sapa (Antioquia)	2670	28	63	386
Ucumari (Risaralda)	2620	44	98	562
P. N. Braulio Carrillo (Costa Rica)	2750	26	39	239
Cerro Aypate, Piura (Perú)	2740	28	51	390

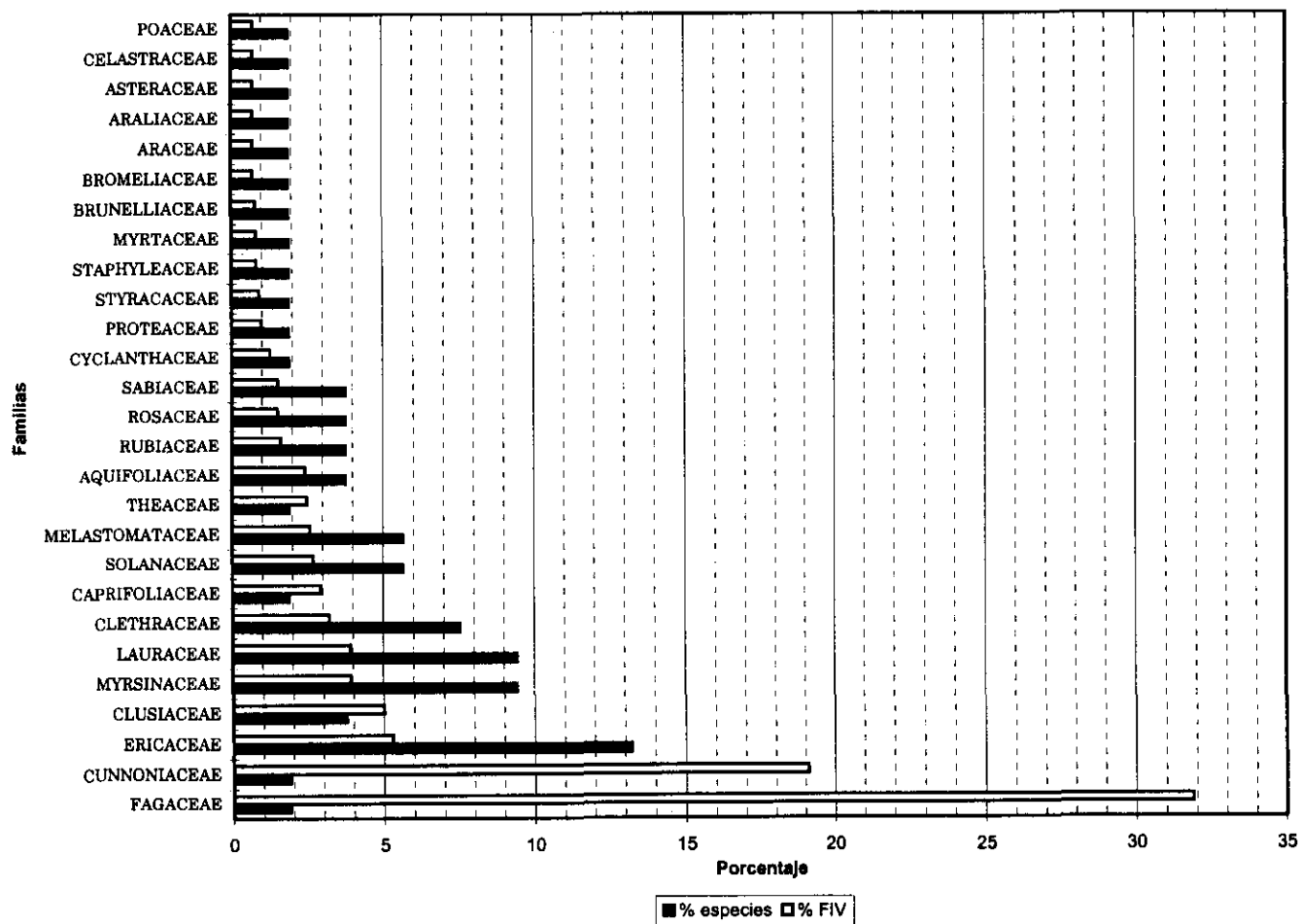


Figura 3. Diversidad relativa y valores de importancia de las familias (FIV) presentes en el bosque de roble del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.

índices parten del supuesto de una distribución al azar de las especies (Alberico, 1982), lo que no se cumple para las especies con mayor importancia ecológica dentro de esta comunidad (*Q. humboldtii* y *W. tomentosa*), según lo demostró la aplicación del índice de Perry & Hewit. Al respecto Lozano & Torres (1965) habían manifestado que la distribución de las especies más importantes dentro del bosque de robles por ellos estudiado poseían un patrón de distribución "contagioso" o agregado, en contraposición con un patrón de distribución al azar. La discordancia entre los valores expresados por los índices y lo encontrado ya había sido señalada en otros trabajos (López et al., 1995 ; Franco et al., (1997) y parece entonces necesario buscar otro índice que pueda ser utilizado en este tipo de comunidades vegetales o el ajuste de los ya existentes.

Las familias con mas especies son las mismas encontradas en otras localidades con altitud similar, sin muchas variaciones (Tabla 3). Sin embargo se presentan algunas particularidades, como por ejemplo, el número de especies encontradas para la familia Ericaceae es notoriamente superior y la familia Clethraceae no se registró en los demás sitios como una de las diez familias más diversas. Por otra parte, como era de esperarse, la diversidad relativa de cada familia no guarda correspondencia con sus respectivos FIV dentro de la comunidad, puesto que familias representadas por solo una o dos especies poseen los mayores FIV, como es el caso de Fagaceae, Cunoniaceae y Clusiaceae.

Los diferentes parámetros ecológicos analizados indican que en la comunidad existe un marcado predominio del roble (*Q. humboldtii*) y del encenillo (*W. tomentosa*), especies que siempre tuvieron los valores mayores en los parámetros y que se distanciaron bastante de las siguientes

especies acompañantes (*C. inesiana*, *V. tinoides* y *T. meridionalis*). Cuatrecasas (1934) ya había denominado el *Quercion* como un tipo de vegetación en donde dominan especies de *Weinmannia* y *Q. humboldtii*.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia, especialmente a los directivos y personal administrativo del Herbario Nacional Colombiano, por las facilidades logísticas prestadas. A P. Franco y O. Rangel por sus sugerencias. Por su colaboración en el trabajo de campo a la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales (antiguoINDERENA), a los estudiantes de los cursos de Profundización en Florística y a P. Franco y O. Rangel. A los botánicos que colaboraron en la determinación y confirmación de ejemplares: L. Clark, S. Díaz, K. Edwards, P. Franco, J. L. Luteyn, M. Nee, C. I. Orozco, J. Pipoly, O. Rangel, C. Taylor y K. Zernig.

Bibliografía

- Alberico, M. 1982. La medición de la diversidad biológica. *Cespedesia* (41-42, supl. 3): 21-30.
- Becking, M. L. 1994. Zonación altitudinal de la vegetación en el sur de la cordillera occidental, departamento del Cauca. Pág. 24. En: Cavellier, J. & A. Uribe (eds.), Resúmenes del Simposio Nacional "Diversidad Biológica, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montaña en Colombia", Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá.
- Cavellier, J., M. T. Pulido, M. Porras & G. Lozano. 1994. Variaciones morfológicas en las poblaciones de *Quercus* en Colombia: implicaciones taxonómicas y ecológicas. Pág. 28. En: Cavellier, J. & A. Uribe (eds.), Resúmenes del Simposio Nacional "Diversidad Biológica, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montaña en Colombia", Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá.

Tabla 3. Familias con más especies en cinco localidades altoandinas de Colombia (basado en Gentry, 1995).

Familia	Iguaque*	Alto de Sapa	Carpanta	Sabana Rubia	Ucumarí
Ericaceae	7	3	3	2	1
Myrsinaceae	5	1	5	1	3
Lauraceae	5	5	2	4	10
Melastomataceae	3	10	3	3	9
Asteraceae	1	3	2	7	5
Clethraceae	4	0	0	1	2

* Este estudio.

- Churchill, S. P., H. Balslev, E. Forero & J. L. Luteyn (eds.). 1995. Biodiversity and conservation of neotropical montane forests. Proceedings of Neotropical Montane Forest Biodiversity and Conservation Symposium. The New York Botanical Garden, Bronx, New York. 702 p.
- Cuatrecasas, J. 1934. Observaciones geobotánicas en Colombia. Trab. Mus. Nac. Cs. Nat. Serie Botánica 27: 1-144.
- Franco-R., P., J. Betancur & J. L. Fernández-A. 1997. Diversidad florística en dos bosques subandinos del sur de Colombia. *Caldasia* 19 (1-2): 205-234.
- Gentry, A. 1982. Patterns of neotropical plant species diversity. *Evol. Biol.* 15: 1-84.
- . 1993. Vistazo general a los bosques nublados andinos y a la flora de Carpana. Págs. 67-79. En: Andrade, G. I. (ed.). Carpana: Selva nublada y páramo. Fundación Natura Colombia, Santafé de Bogotá.
- . 1995. Patterns of diversity and floristic composition in Neotropical Montane Forest. Pages 103-126. In: Churchill, S., H. Balslev, E. Forero & J. Luteyn (eds.), Biodiversity and conservation of Neotropical Montane Forests. The New York Botanical Garden, Bronx, New York.
- Henderson, A., S. P. Churchill & J. L. Luteyn. 1991. Neotropical plant diversity. *Nature* 351: 21-22.
- Hurtado, G. 1996. Muestreo en Poblaciones Biológicas. Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá (mimeografiado).
- INDERENA. 1990. A guide to the National Natural Parks System of Colombia. Ed. Gente Nueva, Santafé de Bogotá.
- Kappelle, M. 1996. Los bosques de roble (*Quercus*) de la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Biodiversidad, ecología, conservación y desarrollo. Universidad de Amsterdam/Instituto Nacional de Biodiversidad. 319 p.
- López, R., D. Giraldo-C. & D. Cárdenas. 1995. Diagnóstico, potencialidades y manejo de las formaciones vegetales del eje Guaviare-Guayabero, Informe Preliminar. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-SINCHI, Santafé de Bogotá.
- Lozano-C., G., S. Díaz-P., J. H. Torres. 1979. Inventario florístico de algunos bosques de roble (*Quercus*) en Colombia. Informe Final de Proyecto de COLCIENCIAS. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, manuscrito inédito.
- Lozano-C., G. & J. H. Torres. 1965. Estudio Fitosociológico de un bosque de robles (*Quercus humboldtii* H. & B.) de La Merced, Cundinamarca. Tesis de Grado, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Manuscrito inédito.
- . 1974. Aspectos generales sobre la distribución, sistemática fitosociológica y clasificación ecológica de los bosques de robles (*Quercus*) en Colombia. *Ecología Tropical* 1(2):45-79.
- Lozano-C., G. & J. O. Rangel-Ch. 1989. Inventario florístico del valle de La Plata. Pages 40-69. In: Herrera, L. F., R. D. Drennan & C. A. Uribe (eds.), Prehispanic Chiefdoms in the Valle de La Plata, Volume 1. University of Pittsburgh Memoirs in Latin American Archaeology. No. 2.
- Marín-C., C. A. 1996. Flora y Vegetación del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque. Tesis de Grado, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Manuscrito inédito.
- Mori, S. & B. Boom. 1983. Ecological importance of Myrtaceae in an eastern Brazilian wet forest. *Biotropica* 15 (1): 68-70.
- Odum, E. P. 1983. *Ecología*. Editorial Interamericana. 3ª edición. México.
- Ramírez P., B. R. & J. A. Cuayal M. 1996. Estructura y composición de algunas formaciones boscosas andinas del sur de la cordillera centro-oriental colombiana. Pág. 64. En: Uribe, A., J. Cavelier & A. M. Gómez (eds.), Memorias del Segundo Simposio Nacional "Biodiversidad, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montañas en Colombia", Universidad de Antioquia, Medellín.
- Rangel-Ch., J. O. & G. Lozano-C. 1989. La vegetación selvática y boscosa del valle de La Plata. Pages 96-119. In: Herrera, L. F., R. D. Drennan & C. A. Uribe (eds.), Prehispanic Chiefdoms in the Valle de La Plata, Volume 1. University of Pittsburgh Memoirs in Latin American Archaeology. No. 2.
- Rodríguez A., A., D. Zapata L. & G. J. Jiménez G. 1996. Evaluación de los patrones de fragmentación en los robledales del norte de Antioquia. Pág. 67. En: Uribe, A., J. Cavelier & A. M. Gómez (eds.), Memorias del Segundo Simposio Nacional "Biodiversidad, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montañas en Colombia", Universidad de Antioquia, Medellín.
- van der Hammen, T. 1992. Historia, ecología y vegetación. Corporación Aracua. Santafé de Bogotá.
- van der Hammen, T. & E. González. 1960. Upper Pleistocene and Holocene climatic and vegetation of the "Sabana de Bogotá" (Colombia, South America). *Leidse Geol. Meded.* 25: 261-315.
- Zernig, K. & J. Betancur. 1994. Flora de Iguaque. Pág. 93. En: Cavelier, J. & A. Uribe (eds.), Resúmenes del Simposio Nacional "Diversidad Biológica, Conservación y Manejo de los Ecosistemas de Montaña en Colombia", Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá.

Anexo 1. Lista de especies encontradas en 0.1 ha con DAP $\geq$ 2.5 cm, Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.

No. Col.	Familia / especie	Hab.	Ind.	D.R.(%)	F	F.R. (%)	A.B.	Dom (%)	I V I	FIV
	AQUIFOLIACEAE		12	3,1	#	4,1	12185	37,5E-2		7,3
JB 4047	<i>Ilex cf. psammofila</i> Mart. ex Reiss.	A	7	1,8	0	2,4	9921	30,5E-2	4,6	
PF 4389	<i>Ilex cf. trachyphylla</i> Loes.	A	5	1,3	0	1,6	2264	7,0E-2	3,0	
	ARACEAE		1	0,3	0	0,8	16	4,8E-4		2,1
JB 4081	<i>Anthurium nymphaeifolium</i> C.Koch & Bouché	Ht	1	0,3	0	0,8	16	4,8E-4	1,1	
	ARALIACEAE		1	0,3	0	0,8	11	3,5E-4		2,1
JB 4049	<i>Oreopanax floribundum</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Decne. & Planch.	A	1	0,3	0	0,8	11	3,5E-4	1,1	
	ASTERACEAE		1	0,3	0	0,8	11	3,2E-4		2,1
PF 4352	<i>Pentacalia pulchella</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Cuatrec.	Ar	1	0,3	0	0,8	11	3,2E-4	1,1	
	BROMELIACEAE		1	0,3	0	0,8	150	46,3E-4		2,2
JB 4089	<i>Guzmania squarrosa</i> (Mez & Sodiro) L.B.Sm. & Pittendr.	Ht	1	0,3	0	0,8	150	46,3E-4	1,1	
	BRUNELLIACEAE		2	0,5	0	1,6	50	15,3E-4		2,4
JB 4054	<i>Brunellia integrifolia</i> Szyl.	A	2	0,5	0	1,6	50	15,3E-4	2,1	
	CAPRIFOLIACEAE		25	6,5	1	7,3	12619	38,8E-2		8,8
JB 4016	<i>Viburnum tinoides</i> L.f.	A	25	6,5	1	7,3	12619	38,8E-2	14,2	
	CELASTRACEAE		1	0,3	0	0,8	10	3,0E-4		2,1
JB 4009	<i>Zinowiewia costaricensis</i> Lundell	Ar	1	0,3	0	0,8	10	3,0E-4	1,1	
	CLETHRACEAE		8	2,1	#	4,9	274	84,2E-4		9,6
JB 4058	<i>Clethra cf. lanata</i> Mart. & Gal.	A	4	1,0	0	1,6	165	50,8E-4	2,7	
PF 4366	<i>Clethra fagifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Kunth	A	1	0,3	0	0,8	52	15,9E-4	1,1	
PF 4378	<i>Clethra revoluta</i> (Ruíz & Pav.) Spreng.	A	1	0,3	0	0,8	20	6,3E-4	1,1	
JB 4018	<i>Clethra rugosa</i> Steyerem.	A	2	0,5	0	1,6	37	11,3E-4	2,1	
	CUNONIACEAE		113	29,4	1	8,1	845603	26		57,3
JB 4020	<i>Weinmannia tomentosa</i> L.f.	A	113	29,4	1	8,1	845603	26	63,6	
	CYCLANTHACEAE		7	1,8	0	3,3	3501	10,8E-2		3,8
JB 4003	<i>Sphaeradenia</i> sp.	Ht	7	1,8	0	3,3	3501	10,8E-2	5,2	

No. Col.	Familia / especie	Hab.	Ind.	D.R.(%)	F	F.R. (%)	A.B.	Dom (%)	IVI	FIV
	ERICACEAE		10	2,6	1,0	8,1	2801	8,6E-2		15,9
JB 4007	<i>Cavendishia bracteata</i> (Ruíz & Pav.) Hoerner	ArE	1	0,3	0	0,8	143	44,1E-4	1,1	
PF 4351	<i>Cavendishia cordiflora</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Hoerner	ArE	2	0,5	0	0,8	71	21,9E-4	1,3	
JB 4086	<i>Cavendishia pubescens</i> (Humb., Bonpl. & Kunth) Hemsl.	ArE	1	0,3	0	0,8	2138	6,6E-2	1,1	
PF 4348	<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	Ar	1	0,3	0	0,8	8	2,4E-4	1,1	
JB 4011	<i>Macleania pubiflora</i> Benth.	ArE	3	0,8	0	1,6	301	92,6E-4	2,4	
JB 4071	<i>Macleania</i> sp.	ArE	1	0,3	0	1,6	97	30,0E-4	1,9	
JB 4087	<i>Psammisia graebneriana</i> Hoerner	ArE	1	0,3	0	1,6	42	12,9E-4	1,9	
	FAGACEAE		87	22,7	1	8,1	2312377	71,1		95,7
JB 4024	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl.	A	87	22,7	1	8,1	2312377	71,1	101,9	
	LAURACEAE		9	2,3	#	5,7	486	1,5E-2		11,8
PF 4386	<i>Aiouea dubia</i> (Humb. & Bonpl. ex Kunth) Mez	A	3	0,8	0	2,4	241	74,0E-4	3,2	
ORD 25	<i>Ocotea</i> aff. <i>heterochroma</i> Mez	A	2	0,5	0	0,8	76	23,5E-4	1,3	
JB 4017	<i>Ocotea</i> sp. 1	A	2	0,5	0	0,8	127	39,1E-4	1,3	
JB 4014	<i>Ocotea</i> sp. 2	A	1	0,3	0	0,8	6	2,0E-4	1,1	
ORD 27	<i>Ocotea</i> sp. 3	A	1	0,3	0	0,8	35	10,8E-4	1,1	
	MELASTOMATACEAE		8	2,1	#	4,9	344	1,1E-2		7,8
ORD 26	<i>Miconia alborosea</i> L. Uribe	A	1	0,3	0	0,8	6	2,0E-4	1,1	
JB 4057	<i>Miconia cataractae</i> Triana	A	4	1,0	0	1,6	97	29,9E-4	2,7	
JB 4051	<i>Miconia</i> sp.	A	3	0,8	0	2,4	241	74,0E-4	3,2	
	MYRSINACEAE		9	2,3	#	5,7	1502	4,6E-2		11,8
JB 4076	<i>Ardisia foetida</i> Willd. ex Roem. & Schult.	A	1	0,3	0	0,8	23	7,1E-4	1,1	
PF 4373	<i>Cybianthus iteoides</i> (Benth.) A.Agostini	A	1	0,3	0	0,8	6	2,0E-4	1,1	
JB 4021	<i>Cybianthus magnus</i> (Mez) Pipoly	A	1	0,3	0	0,8	5	1,6E-4	1,1	
JB 4077	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	A	5	1,3	0	2,4	1439	4,4E-2	3,8	
JB 4006	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	A	1	0,3	0	0,8	29	8,8E-4	1,1	
	MYRTACEAE		2	0,5	0	0,8	56	17,2E-4		2,4
PF 4393	<i>Myrcianthes rhopaloides</i> (Humb. & Bonpl. ex Kunth) McVaugh	Ar	2	0,5	0	0,8	56	17,2E-4	1,3	
	POACEAE		1	0,3	0	0,8	5	1,6E-4		2,1
JB 4042	<i>Chusquea purdieana</i> Munro	Ht	1	0,3	0	0,8	5	1,6E-4	1,1	

Continuación Anexo 1.

No. Col.	Familia / especie	Hab.	Ind.	D.R.(%)	F	F.R. (%)	A.B.	Dom (%)	IVI	FIV
JB 4053	PROTEACEAE <i>Roupala pachypoda</i> Cuatrec.	A	4 4	1,0 1,0	0 0	0,8 0,8	651 651	2,0E-2 2,0E-2	1,9	2,9
JB 4015	ROSACEAE <i>Hesperomeles heterophylla</i> (Ruíz & Pav.) Hook.	A	3 1	0,8 0,3	# 0	1,6 0,8	53 27	16,2E-4 8,2E-4	1,1	4,6
JB 4010	<i>Hesperomeles pernettyoides</i> Wedd.	A	2	0,5	0	0,8	26	7,9E-4	1,3	
JB 4055	RUBIACEAE <i>Cinchona officinalis</i> L.	A	4 3	1,0 0,8	# 0	3,3 2,4	658 646	2,0E-2 2,0E-2	3,2	4,8
JB 4050	<i>Palicourea angustifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Kunth	A	1	0,3	0	0,8	11	3,5E-4	1,1	
JB 4048	SABIACEAE <i>Meliosma meridensis</i> Lasser	A	3 2	0,8 0,5	# 0	2,4 1,6	29 23	9,0E-4 7,1E-4	2,1	4,6
JB 4032	<i>Meliosma quercifolia</i> Idrobo	A	1	0,3	0	0,8	6	2,0E-4	1,1	
PF 4380	SOLANACEAE <i>Cestrum ochraceum</i> Francis	A	9 2	2,3 0,5	# 0	4,1 0,8	571 37	1,8E-2 11,3E-4	1,3	8,0
JB 4056	<i>Cestrum</i> sp. 1	A	6	1,6	0	2,4	503	1,5E-2	4,0	
ORD 28	<i>Cestrum</i> sp. 2	A	1	0,3	0	0,8	32	9,8E-4	1,1	
JB 4068	STAPHYLLEACEAE <i>Turpinia occidentalis</i> (Sw.) G. Don	A	2 2	0,5 0,5	0 0	0,8 0,8	378 378	1,2E-2 1,2E-2	1,3	2,4
JB 4067	STYRACACEAE <i>Styrax davillifolius</i> Perk.	A	3 3	0,8 0,8	0 0	0,8 0,8	1389 1389	4,3E-2 4,3E-2	1,6	2,7
JB 4022	THEACEAE <i>Ternstroemia meridionalis</i> Mutis	A	20 20	5,2 5,2	1 1	8,1 8,1	11244 11244	34,6E-2 34,6E-2	13,7	7,4
TOTALES			384	100,0	12	100,0	3251570	100	300	300,0

Hab.= Hábito o forma de vida; Ind.= Número de individuos; D.R.= Densidad relativa; F= Frecuencia;

F.R.= Frecuencia relativa; A.B.=Área basal (cm²); Dom= Dominancia relativa;

IVI= Índice de valor de importancia. FIV= Valor de importancia de familias

Colectores: JB: Julio Betancur ; PF: Pilar Franco; ORD: Orlando Rivera D.

Hábito o forma de vida: A= Arbol; Ar= Arbusto; ArE= Arbusto escandente; Ht= Hierba terrestre.

LOS ESPEJISMOS DEL ASFALTO ¹

por

Joaquín Pelkowski*

Resumen

Pelkowski, J. Los espejismos del asfalto . Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 261-269, 1997. ISSN 0370-3908.

La intención de este ensayo es ilustrar el alcance de un principio variacional en meteorología. Se resuelve, a manera de ejercicio, un problema clásico de la óptica meteorológica, cuya solución cualitativa es fácil de encontrar en muchos libros de texto, tanto físicos como meteorológicos, pero cuya solución cuantitativa no parece merecer un tratamiento matemático explícito en dichos textos. Sin embargo, el problema es susceptible de una solución completa. Presentarla, es el objetivo del ensayo.

Palabras claves: Principio de Fermat, espejismos, meteorología óptica

Abstract

A meteorological illustration of what a variational principle achieves is offered in this essay by solving afresh an old problem in atmospheric optics. Its qualitative solution may be found in many modern accounts, whereas its quantitative solution, seemingly not so widespread, is likely to be found only in older treatises. A derivation of Snell's law of refraction for a medium with continuously varying density is believed to be original. At least it is hoped that the whole treatment shall have some didactic value.

Key words: Fermat's principle, mirages, meteorological optics

Introducción y apuntes históricos

Los espejismos son fenómenos ópticos que se producen cuando la densidad del aire cerca de la superficie terrestre es notablemente alterada por efecto de un fuerte calentamiento o enfriamiento. Los llamados espejismos inferiores son comunes en tierras calientes. Todos hemos visto

“charco” en las carreteras de asfalto caldeadas por un sol inclemente, charcos que no dejan de alejarse a medida que avanzamos hacia ellos. Ofrecer una explicación didáctica de este fenómeno es lo que me propongo en esta breve exposición. Es fácil encontrar la explicación cualitativa en

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

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.

los manuales de meteorología y física (véase p. ej. Feynman et al., 1963). Mucho más difícil resulta encontrar alguna exposición rigurosa, que presente la solución matemática del problema. Las habrá, especialmente en la literatura especializada del siglo pasado y del presente. En lugar de localizar los documentos pertinentes, me parece ser un ejercicio instructivo el buscar una solución propia, basada en el principio de Fermat e inspirada en la lectura de una introducción a los fenómenos ópticos de dos autores franceses (Léna & Blanchard, 1990).

El valor didáctico de esta exposición reside en la ilustración de cómo conseguir la solución completa de un problema meteorológico, a partir de lo que en física se conoce como un principio variacional. Conseguir una solución analítica es muy raro en una ciencia, por más milenaria que sea, ciencia que trata de explicar todo lo que ocurre en nuestra atmósfera, y que los presocráticos dieron en llamar meteorología, como nos informa Aristóteles, autor del primer tratado coherente que se conozca sobre fenómenos atmosféricos (Aristóteles, 1996), particularmente aquellos en los que intervienen los fenómenos de la reflexión y refracción, siendo ésta la causa de ese curioso fenómeno que, en determinadas circunstancias, nos convierte la arena o el asfalto en un espejo.

La óptica geométrica es una de las ramas más antiguas de la física. Como teoría de la propagación e inflexión de un rayo de luz tiene su origen en el mundo helénico. La ley de la reflexión (ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión) se encuentra expuesta por Euclides (hacia 300 a.C.), en su tratado de óptica. Herón de Alejandría (h. 100 a. C.) expresó la ley como un principio variacional, al descubrir que el trayecto cubierto por un rayo de luz reflejado por una superficie especular es de longitud mínima, comparado con trayectos vecinos que van de un punto A (vela) a un punto B (ojo), tocando en cada caso dicha superficie.

La refracción también era bien conocida en el mundo antiguo, mas no lo era su ley (matemática). Claudio Ptolomeo (h. 100-170) se limitó a elaborar una tabla de valores, en la que relacionaba el ángulo de incidencia con el de refracción. Luego transcurrieron siglos, sin que el interés por estas leyes amainara. En el mundo árabe, los sabios musulmanes se encargaron de desarrollar y perfeccionar la óptica. El más ilustre de los ópticos musulmanes fue Ibn al-Haytam (965-1039), conocido en Occidente por Alhazén, quien contribuyó a sistematizar la óptica geométrica, y quien estudió la forma de los espejos no planos, la visión, la refracción de los rayos luminosos, y distintos fenómenos atmosféricos (Guerrero, 1985). Sus

esfuerzos por entender la ley matemática de la refracción no dejan de ser citados. Pero fue preciso esperar el crepúsculo de la ciencia moderna para ver cómo algunos lectores del estudioso islámico extraían la ley de la refracción, que, sin embargo, no fue descubierta sin más por cualquiera de los genios científicos que comenzaban a descollar. Kepler (1571-1630) hizo uso de los valores de Ptolomeo, sin llegar a indicar la ley subyacente, hazaña que quedó reservada a sus coetáneos Snell (1591-1626) y Descartes (1596-1650). Este la dio a conocer en 1637. Aquél, matemático holandés, no la descubrió antes de 1621. Aunque Snell parece haber sido anticipado por Harriot (h. 1560-1621) en 1601 (cf. Sabra, 1981), la ley de la refracción, o ley de los senos, lleva comúnmente su nombre, salvo en los países francoparlantes, donde se suele designar a Descartes como el epónimo de la misma.

La ley de Snell fue objeto de admiración, mientras que su demostración dio lugar a múltiples controversias. En manos de Fermat (1601-1665), las leyes de reflexión y refracción fueron reducidas a un solo principio (variacional), principio que satisfizo las necesidades teleológicas de algunos de los grandes pensadores del siglo, entre los cuales solo nombro a Leibniz (1646-1716). El principio de Fermat ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de principios variacionales (cf. también Sepúlveda, 1995).

El principio de Fermat (1662) se puede enunciar de la siguiente manera: El tiempo que emplea un rayo luminoso en viajar de un punto A a un punto B es mínimo. Hoy sabemos que a veces es máximo, por lo que se habla de principio "extremal" o "variacional" o "estacionario".

En los manuales de física y cálculo diferencial suelen presentarse las consecuencias del principio para el caso ejemplar de dos medios homogéneos distintos, separados por una superficie reflectora y/o refractora. Estos ejemplos son demasiado conocidos como para justificar su repetición aquí. Básteme recordar que el principio de Fermat nos permite explicar el aspecto quebrado de una cuchara en una taza llena de agua, o el que, en "una noche llena de murmullos, de perfumes y de músicas de alas", el reflejo de la luna llena en la superficie de un río llegue a nuestros ojos sin retraso alguno.

La pregunta que deseamos contestar en este ensayo es: ¿Se deben los espejismos del asfalto recalentado a ese afán de los rayos de luz, tras haber sido reflejados (hacia el suelo) por algún objeto (que puede ser el mismo cielo, una palmera, o un ciclista), en llegar lo más rápido posible a nuestros ojos? Habremos respondido a la pregunta si

logramos describir la trayectoria de los rayos a partir del principio de Fermat, de cuya forma matemática nos ocuparemos en el siguiente apartado.

Trayecto de un rayo luminoso

La experiencia cotidiana nos impulsa a pensar que los rayos luminosos se propagan en forma rectilínea. Esa misma experiencia nos enseña que al pasar de un medio menos denso a uno netamente más denso, los rayos cambian de rumbo repentinamente. Esto es lo que se observa en el caso del aire y el agua. Pero si nos limitamos a la descripción de la propagación de la luz en un solo medio como el aire, los cambios de densidad son mucho más paulatinos, de modo que la desviación es menos brusca de una capa a otra. Pero el mismo hecho de que la densidad atmosférica es variable (disminuye con la altura, por lo general), es indicio de que los rayos sufren un encorvamiento, por más leve que sea. Afortunadamente, tal encorvamiento es normalmente suficientemente débil para ser despreciado en la teoría de la transferencia radiativa de energía a través de la atmósfera (Yanovitskij, 1997). Sin embargo, hay situaciones, como la que se quiere explicar aquí, en las que es imprescindible calcular la trayectoria que siguen los rayos luminosos.

¿Cómo calcular tal trayectoria? Pues bien, sencillamente aprovechando el principio de Fermat, que podemos traducir al simbolismo matemático de la siguiente manera:

$$(1) \quad t = \int_{\rho} \frac{dr}{c_{\lambda}} = \frac{1}{c_0} \int_{\rho} n_{\lambda} dr$$

donde t designa el tiempo de viaje, c_0 la velocidad de la luz en el vacío (constante universal), $n_{\lambda} = c_0 / c_{\lambda}$ el índice de refracción del medio en cuestión, y r representa la distancia recorrida a lo largo de la trayectoria —por determinar aún— del rayo, cuya velocidad c_{λ} es menor en un medio material que en el vacío; λ indica la longitud de onda, de la cual dependen muchas propiedades ópticas, entre ellas el mismo índice de refracción. El símbolo ρ representa la trayectoria en el espacio geométrico donde se propaga la luz. En el caso general, tanto la geometría del espacio como la dependencia del índice de la posición espacial y de ciertos parámetros físicos, como la temperatura, la presión del medio, la frecuencia de la luz, no se prestan para un tratamiento analítico. De ahí la necesidad de simplificar, en lo posible sin tocar la esencia del problema.

Nos limitaremos a la geometría de una sección vertical de la atmósfera, considerada plana y paralela, sección que definirá nuestro plano $x - z$, en el cual se encuentra la fuente de nuestro rayo ejemplar y el observador (una palmera y un beduino en su mercedes, por ejemplo, proyectados sobre dicho plano). Supondremos un calentamiento homogéneo y fuerte de la carretera, de manera que las capas inmediatamente adyacentes a la misma se dilaten hasta que su densidad sea menor que la de las capas más alejadas de la superficie caliente. Supondremos además que el gradiente de temperatura sea superadiabático y constante en la capa refractora.

El índice de refracción es proporcional a la densidad del medio. Para la atmósfera podemos escribir (Léna & Blanchard, 1990):

$$n_{\lambda} = 1 + \alpha_{\lambda} \rho$$

siendo ρ la densidad del aire. Para un gas ideal, al cual se puede asimilar el aire húmedo, se tiene que $\rho = p / RT$, donde R es la constante específica del aire húmedo, T la temperatura absoluta del mismo, y p su presión. Así obtenemos la expresión

$$n_{\lambda} = 1 + \beta_{\lambda} \frac{p_0}{T_0}$$

con una nueva constante β_{λ} . Suponiendo una disminución lineal de la temperatura con la altura z a partir de la temperatura de superficie, T_0 , esto es, $T(z) = T_0 - \gamma_0 z$, con $\gamma_0 \equiv -\partial T / \partial z = \text{const.}$, y una presión atmosférica constante en la capa más fuertemente calentada desde el suelo, o igual a la presión en superficie p_0 , podemos reescribir el índice de la siguiente forma:

$$(2) \quad n_{\lambda}(z) = 1 + \beta_{\lambda} \frac{p_0}{T_0 - \gamma_0 z} \approx 1 + \beta_{\lambda} \frac{p_0}{T_0} \left(1 + \frac{\gamma_0 z}{T_0} \right) = n_0 + a_{\lambda} z$$

donde la aproximación está plenamente justificada en virtud de la pequeñez, frente a la unidad, del cociente entre paréntesis. Con esta aproximación se logra definir un índice de refracción como una función lineal de la altura sobre el suelo, lo cual acarrea una gran simplificación del tratamiento matemático. En esta última ecuación hemos definido:

$$n_0(\lambda) = 1 + \beta_{\lambda} \frac{p_0}{T_0} \quad y$$

$$a_\lambda \equiv \beta_\lambda \frac{p_0}{T_0} \gamma_0$$

El elemento de arco dr se expresa, gracias al teorema de Pitágoras, como:

$$(3) \quad dr = \sqrt{dx^2 + dz^2} = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2}$$

dz/dx admite la interpretación natural como derivada de una función altura, que depende de la distancia horizontal a algún punto fijo:

$$z = f(x)$$

Insertando el elemento de arco en (1), se obtiene una expresión más explícita del principio de Fermat:

$$(4) \quad t = \int_{x_0}^{x_1} n_\lambda(z) [1 + f'^2(x)]^{1/2} dx$$

donde $f'(x)$ designa la derivada de $f(x)$ respecto a x . La función $z = f(x)$ representa una fingida trayectoria del rayo luminoso entre dos puntos en el plano $x-z$. La tarea es determinar la trayectoria que minimice esta integral. Pero antes de emprenderla, veamos qué se obtiene en dos casos tan simples como clásicos.

Si n_λ es constante ($a_\lambda \equiv 0$), la solución del problema es inmediata: las trayectorias son líneas rectas (las geodésicas del espacio euclídeo) que unen sendos pares de puntos. Si complicamos la situación un poco, exigiendo que el rayo choque con un espejo antes de llegar al observador, obtenemos la ley de la reflexión (principio de Herón). En ambos casos, el decir que el tiempo de viaje es mínimo equivale a decir que la longitud de la trayectoria es la más corta posible.

Una generalización inmediata es suponer que n_λ es constante en cada uno de dos medios físicamente distinguibles (aire y agua, p. ej.). En ese caso, es fácil demostrar por medio del cálculo diferencial, que en el punto del plano de separación, donde las trayectorias —rectilíneas en cada uno de los dos medios— se unen bajo un ángulo no nulo, la refracción tiene lugar según la ley

$$(5) \quad n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

donde el subíndice “i” se refiere al rayo incidente, y “r” al rayo refractado, los ángulos siendo referidos a la perpendicular a la superficie (ver la figura 1).

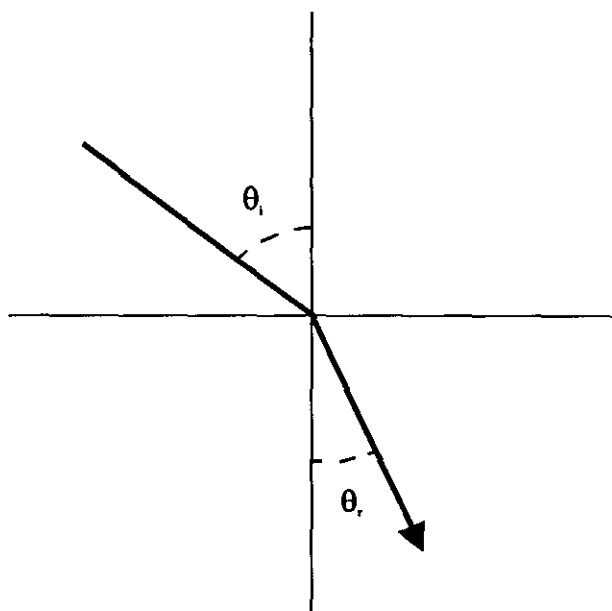


Figura 1. Refracción de un rayo luminoso al pasar de un medio (p. ej. aire) con determinado valor del índice de refracción a uno con un valor más alto (agua). La figura define los ángulos de incidencia (θ_i) y de refracción (θ_r).

Volviendo al caso más general, el de un índice de refracción función de la altura, ¿cómo encontrar la función $f(x)$ que minimice la integral (1)? Ya no se trata de minimizar una función de una variable independiente, como en el caso anterior de la ley de Snell clásica, sino que la “variable” independiente es a su vez una función. A cada función —trayectoria— le corresponde un tiempo t de viaje entre dos puntos fijos cualesquiera, y se trata de seleccionar aquella, que, al ser llevada a la integral (4), resulte en un valor menor que otras funciones (cercanas), “admitidas a la competición”. Designemos a la función distinguida por $f_{ex}(x)$, y definamos las demás como desviaciones, o “variaciones” de la misma:

$$f(x) = f_{ex}(x) + \varepsilon \eta_{ex}(x)$$

$\eta(x)$ ha de coincidir en sus extremos con la función extremal $f_{ex}(x)$: $\eta(0) = \eta(d) = 0$, siendo $d = x_1 - x_0$; ε es un parámetro que nos permite acercarnos o alejarnos

de f_{ex} . El método a seguir (método de Lagrange) compara las trayectorias ópticas y selecciona aquella que resulte en un valor mínimo de la integral. Esto se logra mediante la diferenciación de la funcional (4) con respecto al parámetro ε , e igualando la variación resultante a cero, procedimiento conocido como la variación δt de la funcional t , equivalente a la derivación ordinaria en la minimización de una función con respecto a una variable. Al igual que en este último caso, se obtiene así una condición necesaria, que desemboca ya no en una ecuación algebraica, sino en una ecuación diferencial ordinaria (previa invocación del lema de Du Bois-Reymond, véase cualquier texto sobre cálculo variacional). La condición matemática $\delta t = 0$ es, pues, equivalente a la siguiente ecuación:

$$(6) \quad \frac{d}{dx} \left[\frac{n_{\lambda} f''_{ex}}{(1 + f'^2_{ex})^{1/2}} \right] - (1 + f'^2_{ex})^{1/2} \frac{dn_{\lambda}}{dz} = 0.$$

Esta ecuación diferencial se conoce como la ecuación de Euler-Lagrange para la función extremal $f_{ex}(x)$. Para comprobar si se trata realmente de un mínimo, es preciso formar la segunda variación:

$$\delta^2 t = \int_0^x \frac{1}{(1 + f'^2_{ex})^{1/2}} \left(n''_{\lambda} \eta^2 + \frac{n_{\lambda} \eta'^2 - n'_{\lambda} f''_{ex}(x) \eta^2}{(1 + f'^2_{ex})^{1/2}} \right) dx \quad (7)$$

El signo de esta variación ha de ser positivo, si se trata de un mínimo, y negativo, si la función distinguida maximiza el valor de la integral.

La condición necesaria (6) se puede reescribir en términos del ángulo $|\psi| = \pi - \phi$, donde ϕ denota el ángulo de la tangente a la función $f_{ex}(x)$ en el punto x :

$$(8) \quad \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \sin \psi) = \frac{dn_{\lambda}}{dz}$$

Esta forma no concuerda con la ley de Snell, entendida como generalización de la ecuación (5) al caso de una multitud de capas cada vez más delgadas, hasta convertirse en un medio con índice de refracción de variación continua. Se plantea el problema de si existe una forma de establecer la equivalencia entre la consecuencia inmediata del principio de Fermat y la ley de Snell generalizada.

Para ello, nos serviremos de un artificio, a saber, derivamos primero la unidad, que expresamos aprovechando la conocida relación trigonométrica:

$$\frac{d1}{dr} = \frac{d}{dr} (\sin^2 \psi + \cos^2 \psi) = 0$$

Derivando externamente, obtenemos:

$$0 = \sin \psi \frac{d \sin \psi}{dr} + \cos \psi \frac{d \cos \psi}{dr}$$

Siguiendo la prestidigitación, podemos escribir las derivadas en esta expresión como:

$$\frac{d}{dr} \sin \psi = \frac{d}{dr} \left(\frac{n_{\lambda} \sin \psi}{n_{\lambda}} \right) = \frac{1}{n_{\lambda}} \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \sin \psi) - \frac{\sin \psi}{n_{\lambda}} \frac{dn_{\lambda}}{dr}$$

$$\frac{d}{dr} \cos \psi = \frac{d}{dr} \left(\frac{n_{\lambda} \cos \psi}{n_{\lambda}} \right) = \frac{1}{n_{\lambda}} \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \cos \psi) - \frac{\cos \psi}{n_{\lambda}} \frac{dn_{\lambda}}{dr}$$

obteniendo de esta manera

$$\sin \psi \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \sin \psi) + \cos \psi \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \cos \psi) = \frac{dn_{\lambda}}{dr}$$

En virtud de (8), y reconociendo además que $\sin \psi = dz/dr$, la última ecuación se reduce a la expresión:

$$\cos \psi \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \cos \psi) = 0$$

la cual es equivalente, siempre y cuando $\psi \neq \pm \pi/2$ (rayos verticales, que de todas formas no se refractan), a la ley de Snell:

$$(9) \quad \frac{d}{dr} (n_{\lambda} \cos \psi) = 0$$

(Para ver la equivalencia exacta, no hace falta sino reemplazar a ψ por el ángulo cenital $\theta = \pi/2 + |\psi|$, como se definirá más adelante.)

Concluimos que del principio de Fermat podemos extraer lo que ya habíamos adivinado: la generalización de la ley de Snell al caso de un medio de índice de refracción continuamente variable. Con esta consecuencia derivada de un principio variacional, como el de Fermat, podemos pasar a resolver el problema de encontrar la trayectoria real del rayo luminoso. No obstante, empezaremos por demostrar un método de aproximación a la solución, método que se basa en el conocimiento de un principio variacional subyacente.

El método de Rayleigh-Ritz

El problema que estamos investigando se presta a la ilustración de un método de resolución aproximada de una ecuación a la cual va asociada un principio variacional (ver p. ej. **Porter & Stirling**, 1990). Quizá el paso más difícil del método atañe la selección de las funciones aproximativas. Aquí vamos a escoger la parábola como la curva que ha de aproximar la trayectoria verdadera de los rayos luminosos. El método nos permite escoger la mejor parábola entre la infinita variedad de parábolas que unen dos puntos a la misma altura. A cada parábola corresponde un tiempo de viaje de un punto al otro. Como el rayo ha de cubrir su trayectoria en el tiempo más corto posible, y como estamos forzándolo (mentalmente) a seguir una parábola, lo más conveniente es seleccionar aquella parábola que le permita alcanzar el destino en un tiempo mínimo.

Veamos cómo realizar los pasos del método. Primero definimos la clase de parábolas como las funciones (**Léna & Blanchard**, 1990)

$$f_{ap}(x) = z_0 + \alpha x(x-d)$$

donde d representa la distancia horizontal entre los dos puntos fijos del problema. α regula la apertura de la parábola, y z_0 es la altura de ambos puntos. El único parámetro que no está predeterminado es α , y queda por determinar, que es precisamente lo que el método nos permite hacer.

Si se introduce este tipo de función en la expresión (4) del principio de Fermat, y se integra, el resultado es una función del parámetro α . Luego se busca el valor del

parámetro $\alpha_{\min}$ que minimice el tiempo de viaje a lo largo de la parábola.

La integración que se acaba de mencionar nos lleva a la expresión:

$$t_{ap}(\alpha) = \frac{\alpha d}{2} \sqrt{1 + \alpha^2 d^2} \left(\frac{n_\lambda(z_0)}{\alpha} - \frac{a_\lambda d^2}{8} + \frac{a_\lambda}{16\alpha^2} \right) + \frac{1}{2} \ln(\alpha d + \sqrt{1 + \alpha^2 d^2}) \left(\frac{n_\lambda(z_0)}{\alpha} - \frac{a_\lambda d^2}{4} - \frac{a_\lambda}{16\alpha^2} \right) \quad (10)$$

Se deriva ahora esta expresión con respecto a α , y al igualarse a cero, la(s) solución(es) define(n) los puntos críticos, aquellos que corresponden a valores extremos de la función. Está claro que no se puede esperar que anulando la derivada se pueda despejar a α , de modo que habría que buscar, ya sea una solución numérica o, suponiendo que términos de orden superior al segundo sean completamente despreciables, simplificar la expresión de tal forma que el resultado sea una función cuadrática en α . Ambas cosas haremos, en un esfuerzo por resolver lo mejor posible nuestro ejemplo de ilustración.

Para despreciar términos del orden de α^3 , se desarrollan en serie de potencias las funciones $\sqrt{1 + \alpha^2 d^2}$ y $\ln(\alpha d + \sqrt{1 + \alpha^2 d^2})$, lo cual nos permite escribir, para la primera $1 + \alpha^2 d^2 / 2$, y αd para la segunda. Encontramos así la aproximación:

$$t_{ap}(\alpha) \approx \tilde{t}_{ap}(\alpha) = \frac{d}{2} \left(2n_\lambda(z_0) + \frac{1}{2} n_\lambda(z_0) d^2 \alpha^2 - \frac{11}{32} a_\lambda d^2 \alpha \right)$$

Derivando esta expresión y anulando el resultado nos brinda el valor:

$$\alpha_{ap} = \frac{11}{32} \frac{a_\lambda}{n_\lambda(z_0)}$$

Otra posibilidad es derivar la expresión (10) con respecto a α y despreciar términos de orden mayor que el cúbico, puesto que los cúbicos resultan dominantes. Al igualar a cero el resultado, y despejar a α , se obtiene:

$$\alpha'_{ap} = \frac{3}{8} \frac{a_\lambda}{n_\lambda(z_0)}$$

Una posibilidad más (ver Léna & Blanchard, 1990) sería despreciar términos del orden de α^3 antes de integrar la ecuación (4). En tal caso, al derivar la integral aproximada con respecto a α , e integrar enseguida, el resultado es una función lineal de α , cuya intersección con el eje de los α es fácil de calcular:

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \frac{a_\lambda}{n_\lambda(z_0)}$$

Vemos pues, que las tres posibilidades nos conducen a una parábola cuya apertura α es proporcional a

$$\alpha = \frac{a_\lambda / n_\lambda(z_0)}{k n_\lambda(z_0)}$$

con distintos valores de k . La solución numérica es

$$\alpha_{\min} = 4.13492 \cdot 10^{-7} m^{-1}$$

y corresponde a $k \approx 2$. De modo que utilizar el parámetro α_0 con $k = 2$ debería representar una buena aproximación parabólica a la solución del problema matemático. Más adelante veremos que, efectivamente, la parábola correspondiente es una excelente aproximación a la solución exacta.

Este método es obviamente superfluo cuando se conoce la solución exacta, siendo este el caso en nuestro ejemplo. Pero en la mayoría de los problemas reales no se dispone de la solución analítica, y el método de Rayleigh-Ritz nos permite a menudo encontrar soluciones aproximadas de buena calidad. Claro está que se necesita un criterio para decidir cuándo esa calidad es buena. En nuestro caso, el criterio es dictado por la solución analítica.

Solución analítica

La solución analítica de la ecuación (6), o de su equivalente (9) se puede obtener de la siguiente manera.

Primero, integramos la ecuación (9):

$$n_\lambda(z) \cos \psi = C$$

y le damos a esta ley de la refracción generalizada una forma analítica, teniendo en cuenta que $\tan \psi = f'_\alpha(x)$, de donde se sigue que $\cos \psi = 1 / \sqrt{1 + f'^2_\alpha}$, y, por consiguiente:

$$(11) \quad \frac{n_\lambda(z)}{\sqrt{1 + f'^2_\alpha(x)}} = C.$$

Despejando $f'_\alpha(x) = dz/dx$:

$$\frac{dz}{dx} = \sqrt{\frac{n_\lambda^2(z)}{C^2} - 1}$$

En el caso particular que deseamos resolver cabalmente, es decir, para $n_\lambda(z) = n_0 + a_\lambda z$, se integra esta ecuación de (x_0, z_0) a (x, z) . Con el fin de reconocer más fácilmente la función primitiva que resulta de la integración, introducimos la nueva variable $\xi = n_\lambda(z)/C$, obteniendo así

$$x - x_0 = \frac{C}{a_\lambda} \int_{\xi_0}^{\xi} \frac{d\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}$$

El integrando es igual, en el dominio de valores pertinente, a la derivada de la inversa del coseno hiperbólico. La integración puede efectuarse ahora fácilmente, y un reordenamiento resulta finalmente en la expresión

$$z = \frac{1}{\alpha_\lambda} \left\{ C \cosh \left[\frac{a_\lambda}{C} (x - x_0) - \cosh^{-1} \xi_0 \right] - n_0 \right\}.$$

Para incorporar las condiciones iniciales, expresaremos de ahora en adelante el ángulo del rayo luminoso refiriéndolo a la normal o vertical, con ésta apuntando hacia el cenit (ángulo cenital θ en lugar de ψ). La ley de Snell toma la forma:

$$(12) \quad n_\lambda(z) \sin \theta = C$$

donde C viene a ser una constante determinada por la altura y el ángulo cenital iniciales:

$$C(z_0, \theta_0) = n_\lambda(z_0) \sin \theta_0.$$

Vemos además que $\xi_0 = n_\lambda(z_0)/C = \csc\theta_0$. Introduciendo a δ como el valor (positivo o negativo), cuyo coseno hiperbólico es igual a ξ_0 , nos permite escribir finalmente la solución analítica de nuestro problema:

(13)

$$f_{ex}(x) = \frac{1}{a_\lambda} \left[C(z_0, \theta_0) \cosh\left(\frac{a_\lambda}{C} x - \delta\right) - n_0 \right] \text{ donde}$$

$$\delta = \cosh^{-1}(\csc\theta_0),$$

siendo θ_0 el ángulo cenital bajo el cual se emite o refleja el rayo que parte del punto inicial. a_λ depende del declive vertical de temperatura (gradiente vertical negativo de la misma).

La función (13) es, pues, la solución exacta de nuestro problema: representa el camino tomado por un rayo que arranca del punto $(x_0 = 0, z_0)$ bajo un ángulo cenital θ_0 , para llegar de la manera más rápida al punto (d, z_0) (u otro), después de sufrir un encombamiento por efecto de la refracción continua al pasar de una capa más fría por una recalentada. Aunque tengamos la solución en nuestras manos, ¿se tratará de la trayectoria recorrida en un tiempo mínimo? ¿O más bien máximo? Para decidir la cuestión, el criterio analítico sería investigar el signo de la segunda variación de t_{ex} . Esta variación se obtiene a partir de la primera, según vimos anteriormente, de modo que (7) se convierte, en nuestro caso particular de un índice de refracción función lineal de z , en la integral:

$$\delta^2 t = \int_0^d \frac{C\eta'^2 - \frac{a_\lambda^2}{C}\eta^2}{\cosh^2\left(\frac{a_\lambda}{C}x - \delta\right)} dx$$

Desafortunadamente, no es fácil decidir cuál es el signo de esta variación, sin prescribir a η . Otra posibilidad relativamente sencilla es comparar el tiempo que toma el rayo luminoso usando la trayectoria real, con el que gastaría al propagarse a lo largo de la mejor aproximación parabólica, la cual, por buena que sea, corresponde a un mayor tiempo de viaje, según la interpretación común del principio de Fermat.

Podemos calcular los tiempos de viaje en ambos casos, pues conocemos las funciones involucradas. Los

resultados son los siguientes: para la solución parabólica óptima se obtiene:

$$t_p = \frac{1}{c_0} \left\{ \frac{n_\lambda(z_0)d}{16} \left(9 - \frac{m}{2}\right) \left(1 + \frac{m}{4}\right)^{1/2} + \frac{n_\lambda^2(z_0)}{8a_\lambda} (7-m) \ln\left(\frac{\sqrt{m}}{2} + \sqrt{1 + \frac{m}{4}}\right) \right\},$$

donde $m \equiv (a_\lambda d / n_\lambda(z_0))^2$, mientras que la solución exacta (real) implica un tiempo de viaje igual a

$$t_{ex} = \frac{1}{c_0} \left\{ \frac{Cd}{2} + \frac{C^2}{4} a_\lambda \left[\sinh\left(\frac{2a_\lambda d}{C} - 2\delta\right) + \sinh(2\delta) \right] \right\}$$

Estas ecuaciones pueden ser evaluadas para valores iniciales dados, permitiendo así la comparación directa de los tiempos en cuestión.

Ejemplo numérico

En esta sección nos proponemos presentar un ejemplo numérico de todo lo expuesto anteriormente.

Para los valores de los distintos parámetros y variables iniciales seleccionamos los siguientes: $\beta_\lambda = 8 \cdot 10^{-5}$ K Pa⁻¹ (valor apropiado para el verde, ver **Léna & Blanchard**, 1990); $p_0 = 1013$ hPa; $T_0 = 313$ K; $\gamma_0 = 1$ K/m (valor bastante modesto que puede llegar a ser 30 veces más grande, ver **Blackadar** (1997)); $z_0 = 3$ m; $\theta_0 = 90.1^\circ$. La distancia entre los dos puntos de la trayectoria luminosa de igual altura z_0 se calcula mediante (13):

$$d = \frac{2\delta(\theta_0)C(z_0, \theta_0)}{a_\lambda}$$

Para $z_0 = 3$ m (altura de una joven palmera) obtenemos $d = 4.22$ km. La figura 2 muestra la trayectoria del rayo que parte de un objeto a una altura de 3 m, bajo un ángulo de $\psi = -0.1^\circ$ con respecto a la horizontal. La figura de la parábola aproximativa no se puede distinguir de la de la solución exacta, a menos que se agrande lo suficiente la escala de la ordenada (ver figura 3). Los tiempos que emplea la luz en ir del punto (0,3) al punto (4220.1, 3) (en metros) son:

$$t_{ex} = 0.7 \quad 10^{-5} \text{ s}$$

y

$$t_{ap} = 1.4 \quad 10^{-5} \text{ s}$$

demostrando que la trayectoria real requiere la mitad del tiempo que una trayectoria parabólica vecina, por más cercana que se encuentre de la real. Lo cual nos permite concluir que estamos en presencia de un verdadero principio de mínimo.

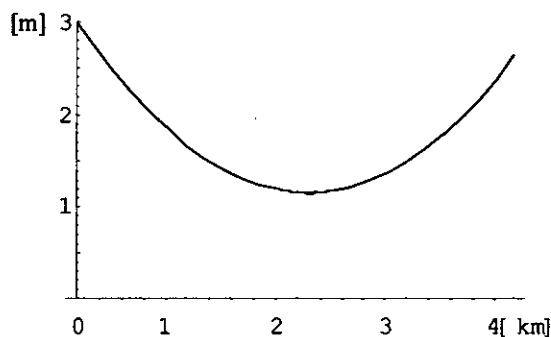


Figura 2. Solución analítica (ecuación (13) con los valores indicados en esta sección), que representa la trayectoria de un rayo luminoso reflejado a una altura de 3 m bajo un ángulo cenital de 90.1° . La parábola aproximativa no es discernible con la resolución de la ordenada elegida aquí (para ello, véase la figura 3).

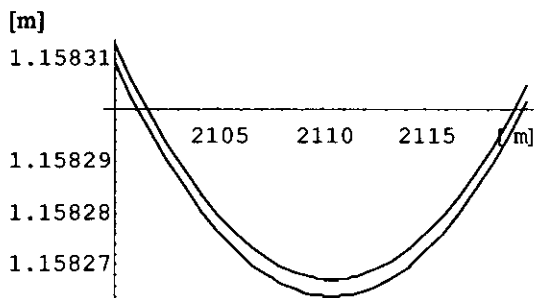


Figura 3. Solución analítica y parábola aproximativa, comparadas alrededor del mínimo, donde las diferencias son más grandes.

Para finalizar, agreguemos que el lector fácilmente puede experimentar con distintos valores iniciales, con distintos gradientes de temperatura etc., para calcular por ejemplo la distancia a la que él se debería apostar, según su propia altura, para poder ver la "palmera cabeza abajo". En resumen, podemos afirmar que hemos reducido los misteriosos espejismos del asfalto (y de otras superficies recalentadas) al simple principio centenario de Fermat, colmando así las aspiraciones que se puedan tener en una investigación matemática de un problema meteorológico.

Bibliografía

- Aristóteles**, 1996. Los meteorológicos. Alianza Universidad, Madrid. Ver también: Acerca del cielo. Meteorológicos. Biblioteca Clásica Gredos, Editorial Gredos, Madrid.
- Blackadar, A.K.**, 1997. Turbulence and Diffusion in the Atmosphere. Springer-Verlag, Berlín, etc.
- Feynman, R.P., Leighton, R.B. & M.L. Sands**, 1963. The Feynman Lectures on Physics. Vol. I, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Massachusetts.
- Guerrero, R.R.**, 1985. El pensamiento filosófico árabe. Editorial Cincel, Bogotá.
- Léna, P. & A. Blanchard**, 1990. Lumières. Une introduction aux phénomènes optiques. InterEditions, Paris.
- Porter, D. & D.S.G. Stirling**, 1990. Integral Equations. A Practical Treatment, from Spectral Theory to Applications. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sabra, A.I.**, 1981. Theories of Light. Cambridge University Press, Canadá.
- Sepúlveda, A.**, 1995. Historia de la Física. Desde los griegos hasta nuestros días. Fondo Editorial Cooperativo, Medellín.
- Yanovitskij, E.G.**, 1997. Light Scattering in Inhomogeneous Atmospheres. Springer-Verlag, Berlín, etc.

LOS PRIMEROS 10 AÑOS DE LA SUPERCONDUCTIVIDAD DE ALTA TEMPERATURA

por

Pedro Antonio Prieto Pulido¹

Resumen

Prieto Pulido, P. A.: Los primeros 10 años de la superconductividad de alta temperatura. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 271-280, 1997. ISSN 0370-3908.

Han pasado 10 años desde que el primer superconductor de alta temperatura crítica fue descubierto, este acontecimiento en la última parte del presente siglo dio lugar a una verdadera revolución en la física. En este artículo se describirán los acontecimientos que dieron lugar a su descubrimiento y los desarrollos logrados desde esa fecha hasta hoy. Se hará énfasis en la estructura laminar cuasi-bidimensional y anisotrópica de estos materiales así como en las propiedades básicas de los cupratos superconductores. Se presentará el estado actual de nuestro entendimiento teórico de la física asociada con la superconductividad a alta temperatura. Se mostrarán las aplicaciones actuales de estos nuevos materiales y los desarrollos más probables en el próximo futuro.

Palabras claves: Superconductores, Superconductividad de Alta Temperatura, Películas Delgadas.

Abstract

It is now 10 years since the first high-temperature superconductor was discovered. This event leads to a revolution in the physics of the last part of the present century. In this article the background leading to their discovery and the heady events during these years will be described. The two-dimensional layer-like and anisotropic structure of these materials, as well as the basic properties of the superconducting cuprates are emphasized. Our present theoretical understanding of the physical nature of their superconducting behavior will be described. A discussion is given of the application of these new materials and likely near future developments.

Key words: Superconductors, High- T_c Superconductivity, Thin Films.

1. Introducción

El flujo de corriente eléctrica sin resistencia a través de un material conductor, un sueño de cualquier ingeniero eléctrico, fue encontrado por primera vez por el científico holandés Heike Kamerlingh Onnes en 1911 (Onnes, 1911). La superconductividad, como Kamerlingh denominó a este fenómeno, posibilita una serie amplia de aplicaciones; sin embargo las bajas temperaturas a las cuales la superconductividad podía ocurrir, unos cuantos grados kelvin por encima del cero absoluto de temperatura, presentaba enormes dificultades técnicas. Además, el paso de una corriente eléctrica alta a través de un material superconductor genera un campo magnético lo suficientemente intenso que por encima de un cierto valor crítico, que depende del material, destruye la superconductividad. Los campos magnéticos críticos para elementos superconductores tales como plomo o estaño son tan bajos como unos cuantos gauss. El mismo Onnes, galardonado en 1913 con el premio Nobel de Física, se dio rápidamente cuenta de que si la superconductividad pudiese tener alguna aplicación práctica, la temperatura crítica T_c , temperatura que marca el inicio del estado superconductor, y el campo magnético crítico tendrían que incrementarse dramáticamente.

Por muchos años la superconductividad permaneció como un oscuro e intrincado efecto. En 1933 Meissner y Ochsenfeld en Berlín, (Meissner et al. 1933) hicieron otro descubrimiento de fundamental importancia: Ellos observaron que cuando un material superconductor es enfriado en presencia de un campo magnético, por debajo de su temperatura crítica el flujo magnético es expelido de su interior. Este efecto conocido como efecto Meissner indica que un superconductor se comporta como un diamagneto perfecto. Sin embargo, este efecto no puede ser explicado partiendo de considerar la resistividad cero del material conductor y de las ecuaciones de Maxwell que rigen el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos. Esto significa que el diamagnetismo perfecto (efecto meissner) junto con la resistividad cero son las propiedades fundamentales del estado superconductor. Superconductores en los cuales la expulsión de flujo es total se conocen como superconductores tipo I y son normalmente los elementos simples en la tabla periódica.

En la década de los 50 se hacen enormes progresos en la búsqueda de materiales superconductores con temperaturas críticas mayores y campos críticos más intensos, especialmente en los grandes laboratorios americanos tales como los de la General Electric, Bell Telephone, Westinghouse, etc., dando lugar a la aparición de super-

conductores tipo II caracterizados por una expulsión parcial del flujo magnético conservándose la resistividad cero. Este tipo de materiales normalmente son aleaciones intermetálicas que poseen temperaturas críticas más altas y campos magnéticos críticos más intensos que los correspondientes a superconductores tipo I. Los superconductores más usados en la generación de campos magnéticos de varias Teslas son compuestos de Nb-Ti y Nb-Sn.

Desde el punto de vista de encontrar una teoría que explique la superconductividad, solo hasta el final de los años 30 Gorter y Cassimir (Cassimir 1940) plantean el modelo de los dos fluidos; en el cual el gas de electrones tiene dos componentes, una componente, sin entropía que transporta la supercorriente mientras que la otra se comporta como un gas normal de electrones. Por debajo de T_c los electrones superconductores cortocircuitan los normales y la resistencia se hace cero. En la misma década los hermanos Fritz y Heinz London (London-London, 1935) asumiendo que un superconductor es un diamagneto perfecto y aplicando las ecuaciones de Maxwell fueron capaces de predecir el efecto Meissner y de mostrar que el campo magnético decae en el interior del superconductor con una longitud característica conocida como longitud de penetración λ .

Una explicación a nivel microscópico del fenómeno superconductor solo aparece en 1956 cuando Leon Cooper (Cooper 1956) plantea la existencia de los "Pares de Cooper", como una pareja de electrones con momento y spin opuestos unidos por una fuerza de tipo atractivo producida por la interacción con la red de iones positivos en la cual ellos se mueven. El desarrollo de esta idea condujo a Bardeen, Cooper y Schrieffer (Bardeen et al, 1957) a la famosa teoría conocida como BCS, por sus autores en la cual la superconductividad aparece como consecuencia de la existencia de los pares de Cooper mediados por la interacción electrón-fonón. La teoría BCS predice la existencia de una brecha de energía $\Delta(T)$ sobre el nivel de Fermi que desaparece a la temperatura crítica T_c con una relación $2\Delta(0)/k_B T_c \approx 3.5$, donde k_B es la constante de Boltzmann. Una serie de experimentos confirmaron este valor en los ahora llamados superconductores clásicos. Así mismo la teoría BCS permite determinar la distancia promedio a la cual se encuentran los dos electrones que forman el par de Cooper, conocida como longitud de coherencia ξ , concepto que había sido introducido por los teóricos rusos Ginzburg y Landau en 1950 (Ginzburg-Landau, 1950) en una descripción fenomenológica de la superconductividad. Los parámetros longitud de penetración λ y longitud de coherencia ξ son

fundamentales en la superconductividad y aparecen en forma natural en el marco de la teoría BCS.

En 1973 Gvaler (Gvaler et al, 1973) produce una película estequiométrica de Nb_3Ge con una T_c de 23.1 K, temperatura que se encuentra por encima de la temperatura de ebullición del hidrógeno líquido (20 K). Por un buen número de años los intentos de obtener materiales con temperaturas críticas más altas fueron infructuosos lo que llevó a pensar que el fenómeno superconductor estaba restringido a temperaturas muy bajas.

2. La búsqueda de superconductores de alta temperatura, SATC

Dos investigadores, Berdnoz y Müller (Müller et al. 1980) de la IBM en Zurich, Suiza, notaron que el enorme trabajo para aumentar la T_c había estado dirigido a compuestos intermetálicos especialmente del tipo A15 y cayeron en cuenta que era muy poco probable que este camino tuviese algún futuro; así que se centraron en el estudio de óxidos metálicos. El SrTiO_3 es un ferroeléctrico que se hace superconductor cuando es deficiente en oxígeno. Su T_c es muy baja, del orden de 0.3 K y puede llegar a 0.7 K si se dopa con Nb. Una T_c de 13 K fue encontrada en los óxidos de Li-Ti (Johnston et al. 1973) y en el compuesto de $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ por Sleight y colaboradores (Sleight et al. 1975). En el otoño de 1985 Berdnoz y Müller analizando el trabajo llevado a cabo en el grupo francés de Bernard Raveau en Caen en el sistema La-Ba-Cu-O (Michel et al. 1985) que posee una estructura tipo perovskita y que exhibía un comportamiento metálico en la conductividad en el rango entre 300 y 100 K, consideraron que este compuesto podría hacerse superconductor variando la composición y el tratamiento térmico. Fue así como a mediados de enero de 1986 ellos observaron una caída brusca en la resistencia alrededor de 11 K como se muestra en la figura 1, que podría indicar el inicio del estado superconductor. En abril de 1986 Bednorz y Müller enviaron a la revista *Zeitschrift für Physik* el artículo titulado "Possible high- T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system" (Bednorz - Müller 1986) donde discutían la síntesis del compuesto deficiente en oxígeno $\text{Ba}_{0.75}\text{La}_{0.25}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$. Este trabajo pionero apareció en la edición de Septiembre de 1986 y al final del mismo año las medidas de efecto Meissner (Bednorz et al. 1987b) comprobaron efectivamente la existencia inequívoca de la superconductividad en estos óxidos de cobre. Medidas cuidadosas llevadas a cabo en diferentes laboratorios alrededor del mundo, permitieron concluir un carácter bidimensional de la superconductividad en estos compuestos debida probablemente al

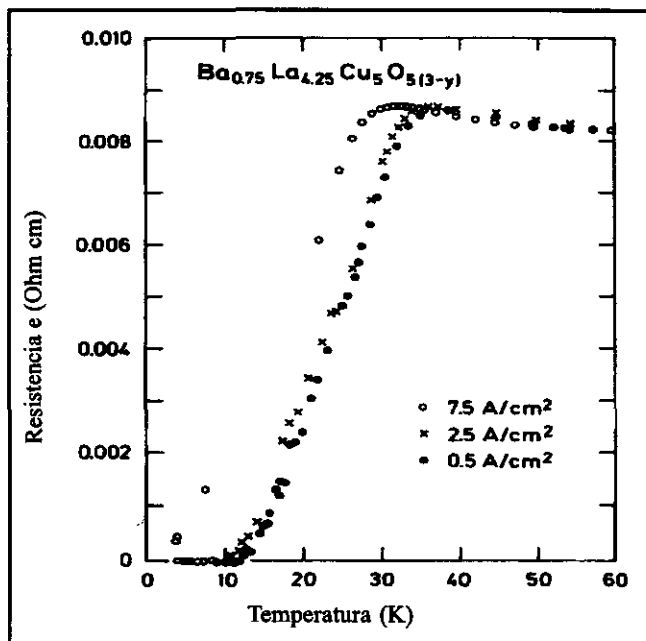


Figura 1. Dependencia con la temperatura de la resistividad eléctrica en el compuesto La-Ba-Cu-O, que representa la primera indicación de SATC en los cupratos (Bednorz & Müller 1987).

comportamiento de los electrones en los planos de óxido de cobre.

El reemplazo de Ba por Sr y otros metales alcalinos permitió elevar la temperatura crítica a 36 K (Cava et al. 1987). Simultáneamente el grupo de Chu en Texas (Chu et al. 1987) mostró que la T_c de estos compuestos aumentaba la presión, alcanzando T_c hasta de 52 K, indicando con esto que lo que se requería a fin de elevar la T_c era encontrar un elemento que ejerciera una presión interna en la estructura. Esto condujo al grupo de Chu a introducir Y en reemplazo de La, lo que permitió por primera vez producir el compuesto $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Wu et al. 1987) conocido como YBCO o compuesto tipo 123 por su estequiometría. Este compuesto mostró una T_c de 90 K, temperatura crítica muy por encima de la temperatura del nitrógeno líquido, 77 K. La figura 2 muestra el comportamiento de la resistividad y la susceptibilidad magnética con la temperatura para una película delgada epitaxial del sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ con una T_c de 91 K y con una clara señal del efecto Meissner.

El descubrimiento de Wu y Chu marcó el inicio de una revolución tecnológica basada en las aplicaciones de la superconductividad a temperaturas por encima de la del nitrógeno líquido. En la reunión de Marzo de 1987 del

American Institute of Physics, conocida como el "Woodstock of Physics", se dieron a conocer los nuevos hallazgos que mostraban el inicio de una nueva era tecnológica.

Una indicación del dramático incremento en el valor T_c después del descubrimiento de Bednorz y Müller se aprecia en la figura 3, que muestra el valor de T_c como función del año: En los 75 años que siguieron al descubrimiento de Kamerlingh Onnes en 1911 la T_c aumentó a una tasa de 3 K/década mientras que en los 10 años de la superconductividad a alta temperatura la tasa de crecimiento ha sido aproximadamente de 100 K/década.

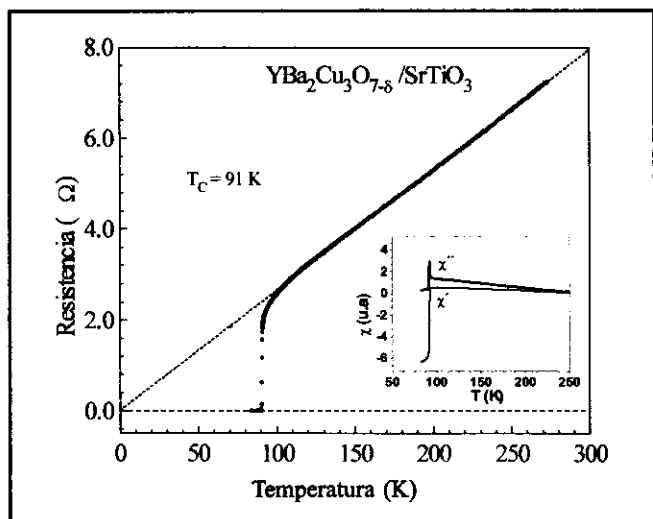


Figura 2. Dependencia con la temperatura de la resistencia en una película delgada epitaxial de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ que muestra un T_c de 91 K. El recuadro interior muestra la dependencia de la susceptibilidad magnética con la temperatura para la misma muestra mostrando el efecto Meissner a la misma T_c .

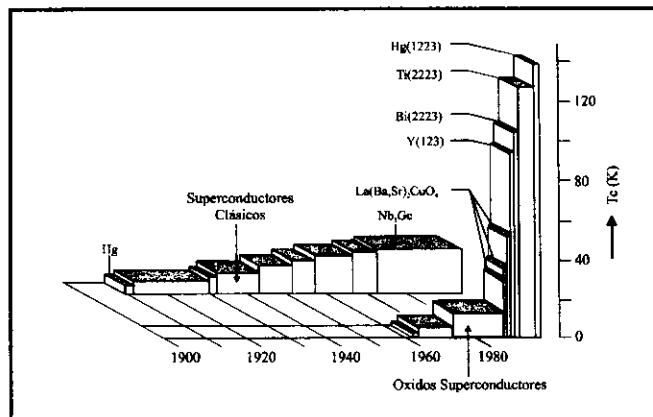


Figura 3. Variación temporal de la temperatura crítica en los cupratos superconductores comparada con los superconductores tradicionales.

Cerca de un año después del descubrimiento de Chu y su grupo el interés se centró en el descubrimiento de compuestos con temperaturas por encima de 100 K. El grupo japonés de Maeda (Maeda et al. 1988) reportó por primera vez una T_c de 105 K en un compuesto de Bi-Sr-Ca-Cu-O, conocido como BSCCO. Meses después Sheng y Hermann (Sheng- Hermann 1988) encontraron en el compuesto $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$ una T_c de 125 K que constituyó el récord por varios años a pesar de los enormes esfuerzos fallidos y de varios anuncios no confirmados de compuestos con T_c aún más altas; sin embargo en 1993 un grupo en Zurich liderado por Hans Ott, señaló superconductividad por encima de 130 K en compuestos basados en Hg-Ba-Ca-Cu-O. (Schilling et al. 1993) Trabajos posteriores llevados a cabo en el grupo de Chu en Texas (Chu et al. 1993) en compuestos de mercurio sometidos a presiones mayores que 150 Kbar. condujeron a una T_c de 150 K y hasta la fecha es el compuesto con más alta T_c elaborado en forma reproducible.

Una nueva línea de búsqueda de SATC había sido mostrada por Little (Little 1964) quien mostró que en materiales orgánicos se podía presentar un nuevo mecanismo de apareamiento de electrones, lo cual podría conducir a superconductores con alta T_c . De esta manera se inició una búsqueda de materiales orgánicos superconductores que condujo a los denominados BEDT bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene abreviado $(\text{ET})_2\text{X}$. Uno de estos compuestos con $\text{X} = \text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ muestra una T_c de 12 K, la cual hasta el presente representa el récord en este tipo de materiales orgánicos (Bechgaard and Jerone 1991).

A partir del descubrimiento de los fullerenos, una nueva forma cristalina del carbono, diversos grupos se interesaron en las propiedades de transporte del denominado C_{60} , llegando a encontrar que ciertas sales de C_{60} eran superconductoras; así el C_{60} dopado con potasio con una estequiometría K_3C_{60} tiene una T_c de 18 K y el dopaje con rubidio conduce a T_c del orden de 28 K (Hebard et al. 1993). A pesar de muchos esfuerzos en la búsqueda de otros tipos de materiales son los cupratos los materiales que, a la fecha, muestran T_c por encima de los 100 K.

3. Elaboración y estructura de los cupratos superconductores

Inicialmente uno de los puntos más importantes en la superconductividad de alta temperatura de los cupratos fue la de establecer su composición, estructura y propiedades físicas básicas por lo que estos nuevos materiales fueron sometidos a toda clase de análisis con las más

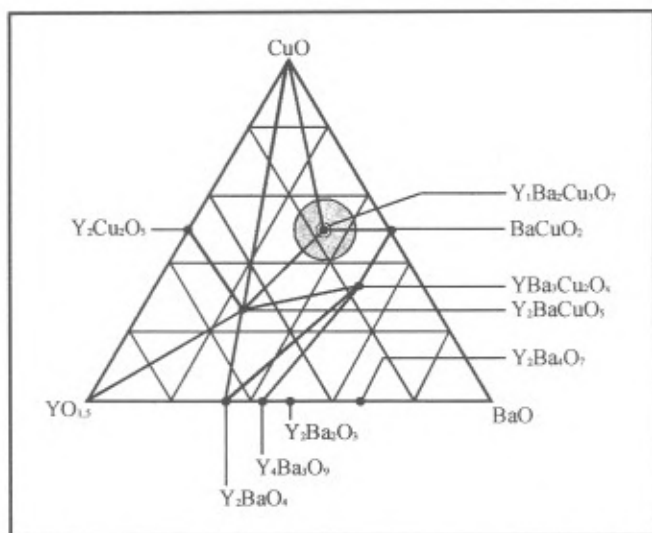


Figura 4. Fases presentes durante la fabricación del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ a partir del Y_2O_3 , BaO , y CuO a 950°C . La fase verde denominada 211 tiene una composición Y_2BaCuO_5 , mientras que la fase superconductora denominada 123 tiene la composición $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Beyers and Ahn 1991)

diversas técnicas (Batlogg et al. 1991). La atención se centró en los compuestos tipo 123 y en los cupratos a base de Bi, conocidos como bismutatos.

El YBCO, uno de los compuestos de la familia de SATC tipo 123, es generalmente fabricado a partir de una reacción en estado sólido de los óxidos básicos, Y_2O_3 , BaO , y CuO . La reacción a alta temperatura de estos óxidos da lugar a una serie de fases, de acuerdo con el diagrama de la figura 4. La fase superconductora tiene una estequiometría cercana a $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Desde el punto de vista estructural posee una estructura ortorrómbica tipo perovskita deficiente en oxígeno, como se esquematiza en figura 5. Sus propiedades físicas dependen marcadamente del contenido de oxígeno, el cual a su vez está determinado por el método de preparación empleado. A pesar de la alta complejidad estructural del YBCO, en los últimos años se han perfeccionado los métodos de preparación de monocristales y especialmente de películas delgadas epitaxiales que muestran T_c mayores a 90 K y corrientes críticas por encima de 10^6 A/cm^2 , como puede verse en el experimento de levitación mostrado en la figura 6. En esta fotografía una película de YBCO de solo 100 nanómetros de espesor, depositada sobre un sustrato de SrTiO_3 de medio milímetro de espesor, a temperatura por encima a la del nitrógeno líquido, se suspende de un imán de Cobalto-Samario como resultado de las corrientes superficiales inducidas y del

efecto Meissner. La película permanece suspendida siempre que la temperatura con la cual se encuentre por debajo de la T_c .

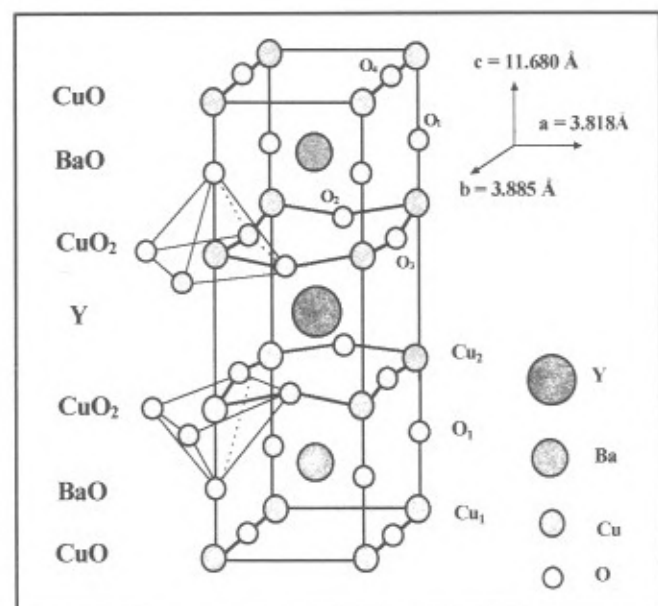


Figura 5. Estructura cristalina del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Note los planos de CuO_2 en el plano a-b y los cadenas de CuO a lo largo del eje cristalográfico b.

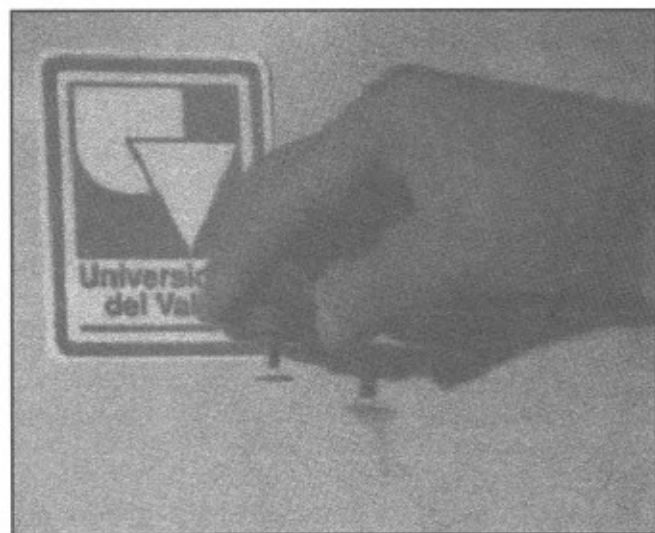


Figura 6. Experimento de suspensión inducida por las corrientes superficiales y el efecto Meissner en una película de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ depositada sobre SrTiO_3 , elaborada en la Universidad del Valle, Cali-Colombia.

La estructura cristalina del YBCO es laminar y altamente anisotrópica con la presencia de planos de CuO_2 y cadenas de CuO a lo largo de eje b. Las propiedades superconductoras en estos materiales están prácticamente confinadas a los planos bidimensionales de CuO_2 mientras que las cadenas de CuO transfieren la carga a los planos controlando de esta forma la T_c .

La estructura cristalina de los bismutatos, notados BSCCO, ha sido así mismo completamente determinada; en esta familia existen dos fases superconductoras de alta T_c que varían en su composición y estructura; la fase conocida como Bi2212 con una composición $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-x}$ con un T_c de 85 K, y la fase Bi2223 con una composición $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$ con un T_c de 110 K (Bordet et al. 1989). Como el YBCO estas fases poseen una estructura laminar sin la presencia de cadenas de CuO y con una mayor estabilidad respecto al contenido de oxígeno (Grant 1990). La figura 7 muestra la estructura cristalina del Bi2212 donde puede apreciarse los planos de CuO_2 situados entre las reservas de carga provista por las capas de BiO y SrO.

Las características físicas de los cupratos superconductores están fuertemente determinadas por su estructura laminar y anisotrópica. En particular, la resistividad en el estado normal, por encima de T_c , muestra a lo largo del eje-c una dependencia como T^{-1} , con un valor que es del orden de 2 órdenes de magnitud mayor que la resistividad a lo largo del plano a-b; la resistividad en el estado normal muestra una dependencia lineal con la temperatura, como se muestra en la figura 8. Cualquier teoría que intente dar una explicación a la superconductividad en estos materiales debe tener en cuenta el marcado carácter bidimensional y anisotrópico de la misma.

4. Origen de la superconductividad de alta temperatura

El entendimiento de la superconductividad de alta temperatura presenta un reto formidable a los físicos de la materia condensada. Una pregunta básica que debe ser respondida es ¿Por qué la T_c es más alta en los SATC que en los superconductores tradicionales?

Dado que la teoría BCS resultó exitosa en la explicación de los superconductores clásicos, un primer punto de partida fue adaptar varios de los resultados de esta teoría a los SATC. En los superconductores tradicionales dos electrones con spin y momento opuesto forman un par debido a una interacción atractiva producida por un intercambio de fonones. El par tiene una función de onda simétrica "tipo-s" como la mostrada en la figura 9-a (mo-

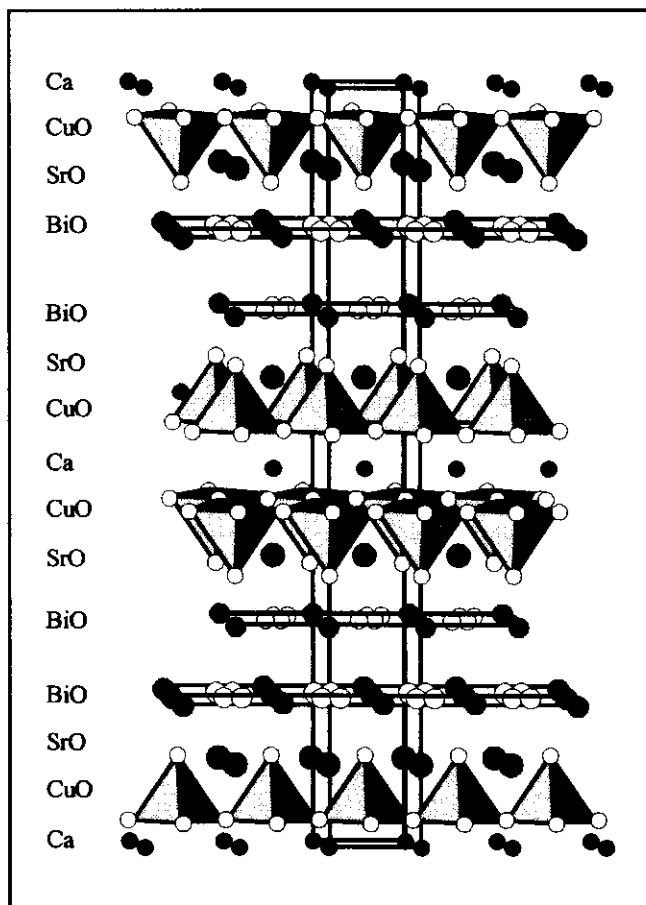


Figura 7. Estructura cristalina del Bi2212. Note la estructura laminar y anisotrópica de este compuesto. (Bordet et al. 1989)

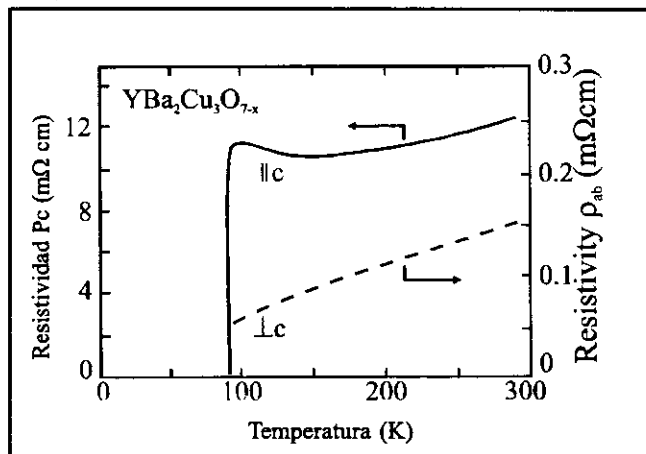


Figura 8. Dependencia de la resistividad con la temperatura para un monocristal de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ a lo largo del eje-c y en los planos a-b. Note los valores de resistividades a lo largo de las dos direcciones. (Hagen et al. 1988)

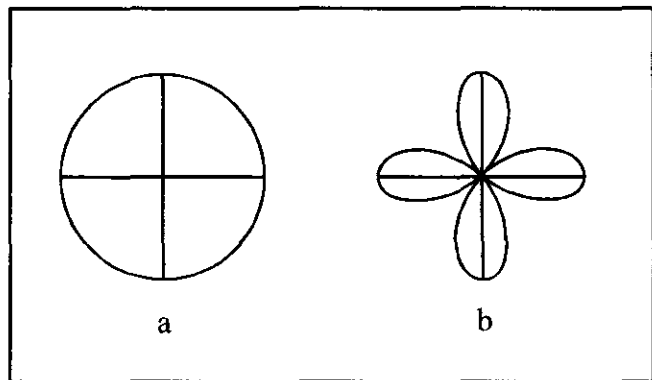


Figura 9. Forma de las funciones de onda para el par de electrones: (a) Tipo s isotrópica y (b) Tipo d anisotrópica, la cual puede describir el par de electrones en los SATC.

mento angular $l=0$) y los pares se condensan en un solo estado cuántico. Un hecho perfectamente comprobado desde los inicios mismos de la superconductividad de alta temperatura es el que, como en los superconductores clásicos, involucra la formación de pares (Gough et al. 1987), y la pregunta fundamental acá es: ¿Cuál es la naturaleza del estado del par? Diversos experimentos de tunelamiento (Wollman et al. 1996) favorecen la suposición de que la función de onda del par es asimétrica "tipo d" (momento angular $l=2$), como la mostrada en la figura 9-b, aunque probablemente un modelo que involucre tanto ondas tipo-s y tipo-d podría dar una explicación satisfactoria a diversos resultados aparentemente contradictorios.

La segunda pregunta, que históricamente fue la primera, es: ¿Cuál es el mecanismo que conduce al apareamiento en los SATC? Muchos investigadores consideran que la formación de pares en los SATC no es debido, como en los superconductores clásicos, a la interacción electrón fonón y han propuesto una serie de mecanismos alternativos como el bipolaron propuesto por Mott (Mott et al. 1990). Un polarón describe la deformación de la red que acompaña el movimiento de los electrones a través del sólido. Un bipolarón son pares de polarones que se atraen debido a la deformación de la red; varias de las propiedades de los SATC pueden ser aclaradas usando este modelo pero las características anisotrópicas de los SATC no son explicadas.

Una visión enteramente diferente fue adoptada por Phil Anderson (Anderson 1990) quien argumenta que los SATC representan una nueva clase de materiales para los cuales se requiere una física diferente a la usada en los materiales tradicionales, la cual está basada en el con-

cepto del líquido de Fermi. Para los SATC reviste interés el concepto de "Líquido de Luttinger" originalmente introducido para explicar el comportamiento de conductores unidimensionales y que de acuerdo con Anderson es también aplicable a conductores bidimensionales. En el modelo RVB (Resonance Valence Bond) se muestra que el espín y la carga son transportadas por cuasipartículas llamadas "Espinones" y "Holones" respectivamente con lo cual logra dar cuenta de varias de las propiedades del estado normal de los SATC sin dar una explicación de muchas de las propiedades superconductoras de los SATC. A pesar de la enorme cantidad de trabajos teóricos llevados a cabo en todo el mundo la situación actual es que se carece de una explicación satisfactoria de cómo funcionan los SATC que nos permita descubrir nuevos SATC con T_c aun más alta; pero, hasta ahora, no hay ninguna restricción que impida que las T_c sean aun mayores que las encontradas hasta la fecha.

5. Aplicaciones de los superconductores de alta temperatura

Con el advenimiento de los SATC capaces de operar a temperaturas por encima de la del nitrógeno líquido, 77 K, las aplicaciones previstas para los superconductores tradicionales no se ampliaron. La principal ventaja de los SATC respecto a los superconductores clásicos estriba en el hecho de que estos pueden operar a temperaturas por encima de 77 K lo que hace que los requerimientos de refrigeración sean mas simples y baratos que los usados con los superconductores tradicionales. El calor latente del nitrógeno líquido es 70 veces mayor que el del helio líquido lo cual significa que un dispositivo enfriado con NL permanece frío por más tiempo que el enfriado en el mismo volumen de helio.

La figura 10 muestra el diagrama JBT para un SATC. Los valores de campo crítico B_c son extremadamente altos por lo que las limitaciones están fundamentalmente en lograr SATC con corrientes críticas suficientemente altas que permitan su utilización a la temperatura del NL.

La tecnología superconductora puede dividirse en dos grandes categorías: Aplicaciones a gran escala y aplicaciones electrónicas a pequeña escala. La mayoría de las aplicaciones a gran escala involucra la producción de campos magnéticos intensos. La posibilidad de hacer circular corrientes altas a través de un material posibilita la elaboración de bobinas superconductoras que producen altos campos, para esta aplicación se requieren superconductores tipo II cuyos campos magnéticos críticos sean muy intensos. El carácter cerámico de los SATC ha hecho

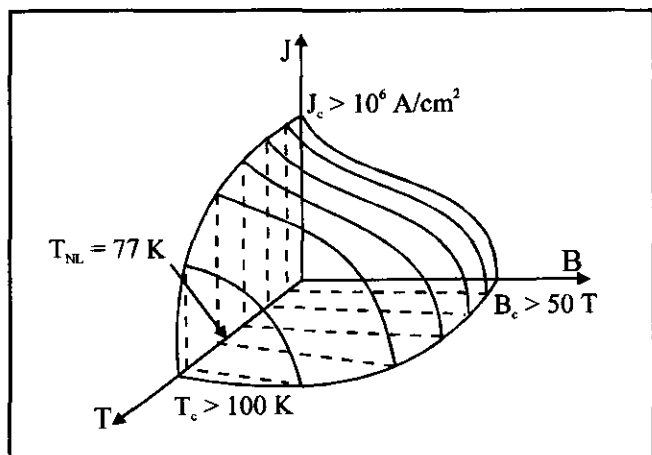


Figura 10. Diagrama de fases en un material superconductor indicando los parámetros críticos T_c , B_c y J_c la temperatura ideal de operación del superconductor es aproximadamente $3T_c/4$

difícil la elaboración de los cables necesarios para la fabricación de bobinas superconductoras. Las corrientes críticas alcanzadas en SATC policristalinos están por debajo de 10^3 A/cm² a 77 K y las aplicaciones en electroimanes, como los utilizados en escanógrafos de resonancia magnética, requieren valores de J_c por encima de 10^5 - 10^6 A/cm² a campos de varias Teslas; sin embargo se han realizado diversos progresos que permiten alcanzar corrientes críticas de 10^5 A/cm² en alambres elaborados usando una técnica que consiste en colocar BSSCO en tubos de plata que hace que el problema de resistencia mecánica se pueda superar sin debilitar sus propiedades superconductoras (Lubkin 1996).

Una de las aplicaciones a gran escala más excitantes de los SATC es el desarrollo de trenes levitados magnéticamente (MAGLEV): debido a los problemas de fricción la máxima velocidad que puede alcanzarse con sistemas de ruedas es de 300 Km/h una velocidad que es actualmente alcanzada por el TGV, tren de alta velocidad francés; en los MAGLEV el efecto de un imán moviéndose sobre un metal normal produce una interacción magnética que conduce a la levitación. Usando materiales superconductores es posible lograr campos suficientemente intensos para lograr la suspensión del tren. Una pista experimental de 43 Km que usa superconductores tradicionales ha sido construida en Japón para mostrar la viabilidad del uso de los MAGLEV (Tanaka et al. 1990). El empleo de alambres de SATC podría reducir drásticamente los problemas involucrados con la refrigeración.

Es muy probable que la primera aplicación comercial de los SATC sea en electrónica donde los problemas tec-

nológicos son menos formidables que los necesarios para elaborar alambres requeridos para la creación de campos magnéticos intensos. Las aplicaciones en electrónica dependen fundamentalmente de la capacidad de crecer estos materiales en forma de película delgada con las mismas o mejores propiedades superconductoras que las del mismo material en bloque. Esto se ha logrado por diferentes grupos alrededor del mundo usando diferentes técnicas de crecimiento como deposición por haz molecular MBE ablación láser, evaporación o pulverización catódica (Simon et al. 1991). Se ha logrado crecer capas delgadas con J_c mayores que 10^6 A/cm² a 77 K sobre sustratos cristalinos de SrTiO₃, LaAlO₃, MgO, zafiro cubierto con capas de protección, etc. En el área de microondas se emplean las películas delgadas de SATC en resonadores de microondas, filtros, osciladores de bajo ruido, que sacan ventaja de la resistencia superficial más baja de los superconductores comparadas con los metales normales. Un área de mucho futuro para los SATC lo constituye el uso en filtros de muy bajo ruido en sistemas de telefonía celular (Lubkin 1995).

Una segunda aplicación a pequeña escala de los SATC está en el desarrollo de dispositivos superconductores de interferencia cuántica o SQUIDS basados en películas delgadas de SATC usados como sensores de campo magnético. Los SQUIDS basan su funcionamiento en dos efectos superconductores: la cuantización del flujo y el tunelamiento de pares a través de una barrera o efecto Josephson. El SQUID es el sensor de campo magnético más sensible para la detección y medición de campos magnéticos débiles y por lo tanto es aplicable en varios campos de la ciencia y la tecnología, que van desde el biomagnetismo, geomagnetismo, instrumentación y análisis no destructivo de materiales. SQUIDS basados en SATC con sensibilidades cercanas a los elaborados con superconductores tradicionales comienzan a ser disponibles comercialmente con la ventaja de que pueden operar a temperaturas por encima del NL.

6. Tendencias actuales

La superconductividad de alta temperatura en sus 10 años ha conducido a un trabajo interdisciplinario en el cual han estado involucrados físicos, químicos, ingenieros eléctricos y de materiales, ceramistas, etc., lo que ha llevado a un enorme progreso pero aun falta mucho por hacer en el área especialmente en la teoría que sustenta el fenómeno. Es aún muy prematuro prever una industria basada en esta tecnología revolucionaria a pesar de lo cual los primeros productos emergen al mercado. El cuadro mostrado en la figura 11 resume los hitos más importan-

Superconductors				
1911	1962	1967	1980	1986
• <i>K. Onnes</i> <i>Discovers</i> <i>Superconductivity</i>	• Josephson Effect Demonstrated	• <i>First</i> <i>Multifilament</i> <i>NbTi Wires</i>	• First LTS MRI Demo	• <i>Bednorz & Müller</i> <i>Discover</i> <i>HTS</i>
1990	1991	1995	1996	1997
• <i>LTS Magnetic</i> <i>Separation</i>	• LTS Micro-SMES Field Trials	• <i>Comercial LTS</i> <i>Micro-SMES</i> • <i>Comercial</i> <i>SQUID'S</i> • <i>Comercial HTS</i> <i>Current Leads</i>	• HTS Cellular Filters Tested • HTS Motor & Cables Tested • \$1.7 Billion in LTS Systems Sales	• <i>Comercial HTS</i> <i>Filtersfor Cellular</i> <i>Base Stations</i>
1998	1999	2000		2020
• <i>1st 18.4 km</i> <i>Leg of LTS MAGLEV</i> <i>Train in Japan</i>	• Commercial HTS Thin Film Receivers for MRI	• <i>HTS</i> <i>Power Cables</i> <i>Commercialized</i>		• <i>\$244 Billion in</i> <i>Worldwide Sales</i> <i>Projected by ISIS-5</i>

Figura 11. Hitos más significativos en el desarrollo de las aplicaciones de los superconductores. LTS indica superconductores de baja T_c y HTS indica SATC (Superconductor industry 1996).

tes en el desarrollo de la superconductividad. Comparado con el desarrollo vertiginoso de la industria electrónica el desarrollo de cables de SATC capaces de transportar corrientes cada vez mas altas sigue una tendencia similar a la mostrada en el desarrollo de unidades de memoria dinámica de acceso aleatorio DRAM o en el desarrollo de los microprocesadores (Yurek 1996) como puede verse en las gráficas comparativas de la figura 12.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos los miembros de grupo de investigación de Películas Delgadas de la Universidad del Valle por su valiosa colaboración y a COLCIENCIAS por el apoyo brindado a través de los diferentes proyectos de investigación que ha posibilitado que Colombia mantenga un grupo investigativo de nivel internacional en esta área.

Bibliografía

- Anderson, P. W., 1995, Phys. Word, December 37.
- Bardeen, J., Cooper, L.N., and Schrieffer, J.R., 1957 Phys. Rev. 108, 1175.
- Battlog, B., 1991, Phys. Today, 44 June 44.
- Bechbaard, K., and Jerone. D., 1991 Phys. Scripta T, 39, 37.
- Bednorz, J. G., and Müller, K. A., 1986, Z Phys. B, 64, 189
- _____. Takashige, M., and Müller, K. A 1987b Europhys. Lett. 3, 379.

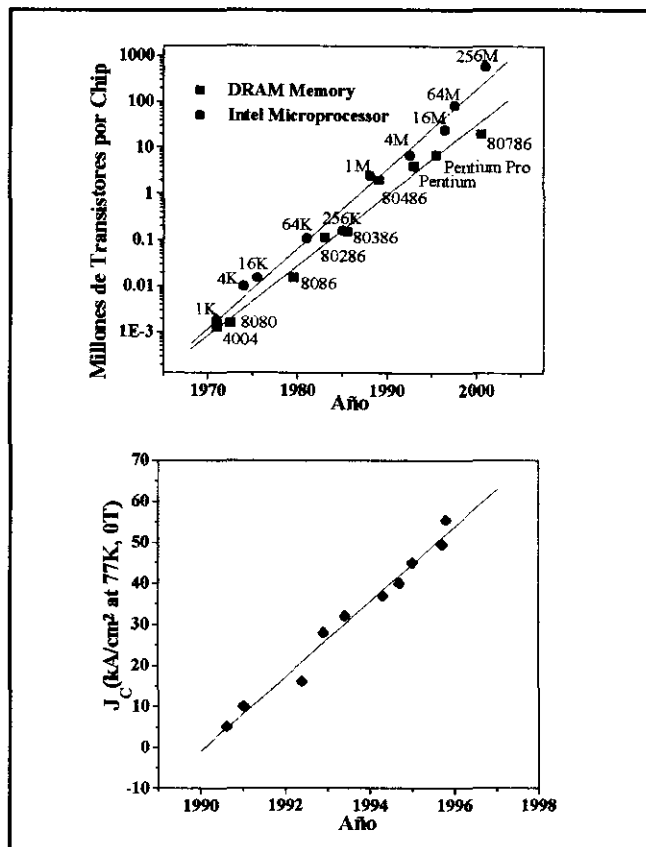


Figura 12 (a) Progresos en el desarrollo de Memorias dinámicas de acceso aleatorio (ley de Moore) (b) Progresos en la corriente crítica en alambres SATC (ley de Maizozemoff) (superconductor industry 1996)

- Beyers, R., and Ahn, B. T.**, 1991, *A Rev Matter. Sci.*, 21, 335.
- Bordet, P., Capponi, J.J., Chaillout, C., Chenavas, J., Hewat, A. W., Hewat, E. A.**
- Casimir H. B. G.**, 1940, *Physica* 7, 887
- Cava, R. J., van Dover, R. B., Battlog, B., and Rietmann, E. A.**, 1987 *Phys. Rev. Lett.*, 58, 408.
- Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., and Xue, Y. Y.**, 1993, *Nature* 365 323.
- , **Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, Huang, Z. J., and Wang, Y. Q.**, 1987b, *Phys. Rev. Lett.* 58, 405.
- Cooper L. N.**, 1956, *Phys. Rev.* 104, 1189
- Gavaler J. R.**, 1973, *Appl. Phys. Lett.* 23, 480
- Ginsburg V. L. and Landau L. D.**, 1950, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 20, 1064
- Gough, C. E., Colclough, M. S., Forgan, E. M., Jorda, R. G., Keene, M., Muirhead, C. M., Rae, A. I. M., Thomas, N., Abell, J. S., and Sutton, S.**, 1987, *Nature*, 326, 855.
- Grant, P. M.**, 1990, *Adv. Mater.*, 2, 232.
- Hagen, S.J., Jing, T.W., Wang, Z.Z, Horvath, J. Ong, N.P.**, 1988, *Phys. Rev.*, B37, 7928.
- Hebard, A. F.**, 1993, *A. Rev. Matter. Sci.* 23, 159.
- Hodeau, J. L., and Marezio, M.**, 1989, *Studies of high Temperature Superconductors*, Vol. 2 Edited by A. Narlikar (Nova Science) P. 171
- Johnston, D.C., Prakash, H. Zachariasen, W. H., and Viswanathan, R.**, 1973, *Matter. Res. Bull.*, 8, 77.
- Little, W. A.**, 1964 *Phys. Rev.* 134A 1416
- London H. and London F.**, 1935, *Proc. Roy. Soc. (London)* A149, 71
- Lubkin, G.**, 1995, *Phys. Today*, 48 March 20.
- , 1996, *Phys. Today*, 49 March 48.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, M., and Asano, T.**, 1988, *Jap. J. Appl. Phys.* 27, L209.
- Meissner W. and Ochsenfeld R.**, 1933, *Naturwiss.* 21, 787
- Michel, C., Er-Rakho, L., Raveau, B.**, 1985, *Matter Res. Bull.*, 20, 667.
- Mott, N. F.**, 1990, *Contemp. Phys.*, 30, 373
- Müller, J.**, 1980, *Rep. Prog. Phys.*, 43, 641.
- Onnes H. K.**, 1911, *Comm. Ohys. Lab. Univ. Leiden*, No. 119-122
- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D., and Ott, H. R.** < 1993, *Nature* 363, 56
- Sheng, Z. Z., and Hermann, A. M.**, 1988, *Nature* 332 55, 138
- Simon. R.**, 1991 *Physics Today*, 44 June, 64.
- Sleight, A. W., Gillson, J. L., and Bierstedt, F. E.**, 1975, *Solid St. Commun.*, 17, 27
- Tanaka, H.**, 1990, *Railway Gazette Int.*, 537
- Wang, Y. Q., and Chu, C. W.**, 1987, *Phys. Rev. Lett.* 58, 908
- Wollman, D.A., Van Harlingen, D.J., Giapintzakis, J., Ginsberg, D.M.**, 1995 *Phys Rev Lett* 74, 797
- Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q., and Chu, C. W.**, 1987, *Phys Rev. Lett.*, 58, 908
- Yurek, G. J.**, 1996 *Superconductor Industry*, 12.

VICISITUDES DEL POSTULADO EUCLIDEO EN COLOMBIA

por

Víctor Samuel Albis González*

Resumen

Albis González, V. S.: Vicisitudes del postulado euclídeo en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 21(80): 281-293, 1997. ISSN 0370-3908.

En este ensayo se estudian, en primer lugar, los intentos publicados de demostración del postulado euclídeo de las paralelas hechos en Colombia en el siglo XIX (Indalecio Liévano & Hermógenes Wilson) y las observaciones que contemporáneos les hicieron en su momento. En segundo lugar, se analizan los ensayos de Julio Garavito Armero sobre las geometrías no euclídeas, aparecidos en la segunda década del siglo XX, insistiendo en los aspectos matemáticos de sus razonamientos y su influencia negativa en la aceptación de aquellas en Colombia en la primera mitad de siglo.

Palabras claves: Historia de la matemática, geometría no euclídea, Colombia

Abstract

In the first place, the alleged proofs of Euclid's Fifth Postulate published in Colombia (Indalecio Liévano & Hermógenes Wilson), during the 19th century, and the contemporary observations to them are examined. In the second place, the mathematical arguments appearing in the essays by Julio Garavito Armero on non-Euclidean geometries, published in the second decade of the 20th century, are analyzed and some discussion on their influence in the non acceptance of these geometries in Colombia in the first half of this century is given.

Key words: History of mathematics, non-Euclidean geometry, Colombia.

1. Introducción

El “maravilloso problema” de las paralelas ha ejercido desde la antigüedad clásica una singular fascinación sobre los matemáticos. En efecto, recordemos que dos líneas que se

aproximan arbitrariamente la una a la otra, sin cortarse, se dicen asintóticas, y que nada apriori nos impide pensar que dos líneas rectas no puedan ser asintóticas, tal como lo expresaba Proclo [1970, 1176] ya en el siglo V:

* Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Apartado aéreo 91480,

Santafé de Bogotá, D.C., 8, Colombia.
Email: valbis@ciencias.ciencias.unal.edu.co; albisf@inter.net.co

El hecho de que una recta se incline sobre otra cuando disminuyen los ángulos es verdadero e ineluctable, mientras que el encuentro final de las rectas que se inclinan cada vez más cuando se prolongan es probable, pero no ineluctable, a no ser que un razonamiento demuestre que el hecho es verdadero para todas las rectas.

La anterior no es una afirmación gratuita de PROCLUS quien conocía, por ejemplo, la opinión de GÉMINO de que una rama de la hipérbola y una de sus asíntotas podrían considerarse como paralelas en el sentido de la definición euclídea [EUCLIDES, 1970, 704]:

Rectas [líneas] paralelas son las que, estando en el mismo plano y prolongadas al infinito, no se encuentran.

Por su parte, EUCLIDES había intentado mucho antes obviar este problema introduciendo su célebre postulado quinto [ibidem, 704]:

Si una recta, al incidir sobre otras dos, forma del mismo lado ángulos internos menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas al infinito se encontrarán en el lado en que estén los ángulos menores que dos rectos.

Pero aún bajo esta forma el postulado encontró objeciones como la de ser poco intuitivo y afirmar cosas acerca de rectas que se encuentran prolongadas al infinito. Por otra parte, su recíproco [ibidem, 715]:

En todo triángulo dos ángulos, tomados en junto, son menores que dos rectos [ibidem, 715],

podía demostrarse independientemente del quinto postulado. Finalmente, señalemos que existen evidencias de que mucho antes de que se escribieran los *Elementos* de EUCLIDES, se hicieron intentos por desarrollar una geometría sin el mencionado postulado –con la probable intención de encontrar en ese desarrollo una verdadera “autocontradicción”– como nos lo sugiere el siguiente pasaje de ARISTÓTELES [1964, 367-368, *Analítica posterior*, Lib.I, Cap.12, 77a/77b]:

Si una cuestión silogística [Es decir, una premisa presentada o formulada en forma de pregunta o interrogación.] equivale a una proposición que dé cuerpo a una de las dos posturas de una contradicción, y si cada ciencia tiene sus proposiciones peculiares de las que se deduce su conclusión particular, entonces existe algo así como una interrogación científica distinta o diferenciadamente tal, y de la forma interro-

gativa de la premisa se consigue el desarrollo de la conclusión apropiada de cada ciencia. De aquí que evidentemente no cualquier interrogación será conducente para la Geometría...; solamente serán geométricas o propias de la Geometría aquellas interrogaciones y cuestiones que formen premisas para la demostración de los teoremas de la Geometría o de cualquier otra ciencia, como la óptica, que emplee las mismas verdades fundamentales que la Geometría... El geómetra se ve obligado a dar su explicación de estas cuestiones, utilizando las verdades fundamentales de la Geometría junto con sus conclusiones previas; en cambio, el geómetra, como tal, no se ve esforzado a dar ninguna explicación acerca de las verdades fundamentales... Hay, pues, un límite en las cuestiones que podemos presentar a cada hombre de ciencia; ni cada hombre de ciencia está obligado a responder a todas las preguntas sobre cada sujeto particular, sino solamente de los que entran dentro del campo de su propia ciencia. Si, pues, en una controversia con geómetra en cuanto geómetra el que discute se limita a la Geometría y demuestra cualquier cosa a partir de premisas geométricas, debe ser evidentemente aplaudido; si se aparta de estas, cometerá falta, y evidentemente ni tan siquiera puede refutar al geómetra, de no ser accidentalmente. No se debe, pues, discutir la Geometría entre los que no son geómetras, pues ante tales personas un argumento irrazonable pasa inadvertido... Ahora bien, puesto que existen cuestiones geométricas, ¿se deduce de ello que hay también cuestiones diferenciadamente no geométricas? Más aún: en cada ciencia especial –la Geometría, por ejemplo–, ¿qué clase de error es el que puede viciar las cuestiones y, sin embargo, no excluirlas de esta ciencia? Por otra parte, ¿es una conclusión errónea la que se construye a partir de premisas opuestas a las verdaderas, o es una falacia formal, aunque derivada de premisas geométricas? ¿O quizá la conclusión errónea se deba a que se deduce de premisas de otra ciencia; por ejemplo, en una controversia geométrica, una cuestión musical es diferenciadamente no-geométrica, mientras que la noción que introduce el paralelo [paralelismo] es en algún sentido geométrica, siendo no-geométrica en un aspecto distinto, y estando la razón de ello en que “no-geométrico”, igual que “no-rítmico”, es un término equívoco, significando en un caso no Geometría en absoluto, y en el otro mala Geometría? Es este error, es decir, el error que se funda en premisas de esta clase –premisas de la ciencia, pero falsas–, el que es contrario [Contrario, pero no contradictorio.

La ignorancia contradictoria de la ciencia es la carencia absoluta de saber.] *de la ciencia*,

en la interpretación que le da TOTH [1967; 1969; 1977]: ¿es la contradicción que resulta de negar la existencia de paralelas estrictamente matemática o más ampliamente lógica en su naturaleza?

De acuerdo con lo anterior, se abrieron desde un principio tres caminos para tratar el problema de las paralelas:

- (1) derivar el postulado de las paralelas del resto de la geometría elemental;
- (2) reformular este postulado o la definición de rectas paralelas en algo menos objetable; y
- (3) describir en qué se convertiría la geometría si de alguna manera se negase el quinto postulado.

No es nuestro propósito aquí hacer ni siquiera una brevísimas descripción de la historia que generó el recorrer de estos tres caminos. Existen, para esto, los excelentes libros de BONOLA [1955] y GRAY [1979], por ejemplo. Sin embargo, haremos, cuando lo consideremos necesario, algunos comentarios sobre esta historia en beneficio de la comprensión de algunas situaciones. Naturalmente, no sobra decir que es imposible demostrar el quinto postulado a partir de la *geometría elemental*, es decir, de aquellas proposiciones que pueden demostrarse sin él.

Nuestro cuidado en este ensayo es estudiar, en primer lugar, los intentos de demostración del postulado euclideo hechos por INDALICIO LIÉVANO (Carmen de Apicalá, 1834-Bogotá, 1913) usando el primer camino. Es lo más probable que LIÉVANO ignorara la existencia de la geometría no-euclídea de LOBACHÉVSKI, BOLYAI y GAUSS, y su interés genuino estuviese en llenar el “vacío” que en las matemáticas producía el inquietante postulado de las paralelas, como lo intentó con mejor fortuna con el “vacío” de la fundamentación de los números reales [ALBIS & SORIANO, 1976]. En segundo lugar, analizar los ensayos de JULIO GARAVITO ARMERO (Bogotá, 1865- ibidem, 1920) sobre las geometrías no euclídeas. Contrariamente al caso de LIÉVANO, GARAVITO sí tenía, como lo expresa él mismo, conocimiento de los resultados de LOBACHÉVSKI, RIEMANN y LIE [GARAVITO 1916, 223 y sigs.; 353 y sigs.]. Su renuencia a aceptar las nuevas ideas sobre el espacio –fuese no-euclideo o relativista– tuvo, a nuestro parecer, una muy poca benéfica influencia en el desarrollo científico colombiano en la primera mitad del siglo XX, influencia que retrasó la llegada de nuestra ciencia a la modernidad contemporánea [ALBIS 1984; MARTÍNEZ-CHAVANZ 1988], da-

da la fuerte personalidad de GARAVITO y la posición recalcitrante de sus discípulos y epígonos en la defensa de sus opiniones [ÁLVAREZ LLERAS 1920]. Por último, mencionar otro intento de los publicados en Colombia en el siglo XIX para demostrar el quinto postulado, el de HERMÓGENES WILSON [1887-88]. Este intento y los de LIÉVANO fueron atinadamente revisados en su época por RUPERTO FERREIRA [1871; 1887-88, 173], personaje muy significativo en la historia de la matemática colombiana por su interés, basado en amplios conocimientos de la matemática elemental, en desanimar en el siglo XIX no sólo a los “postuladores” euclideos sino también a los “trisectores” de ángulos, “duplicadores” de cubos y “cuadradores” de círculos [SÁNCHEZ 1994].

2. Los *Elements* de Legendre, el postulado Euclideo y los ensayos de Liévano y Wilson

Es un hecho muy conocido el gran mérito que tuvo ADRIEN MARIE LEGENDRE (1752-1833) en presentar todos sus escritos de manera elegante y sencilla, lo que explica la popularidad de algunos de sus libros, en especial de sus *Éléments de Géométrie* [1794¹-1823¹²], con más ediciones después de su muerte, realizadas entre otros por M. A. BLANCHET]. Sus investigaciones –recogidas más tarde en [LEGENDRE 1833]– sobre el quinto postulado aparecieron como notas en estas numerosas ediciones, lo que contribuyó a que el círculo de personas interesadas en el problema de las paralelas se ampliase a finales del siglo XVIII y principios del XIX. En particular, es muy probable que ejemplares de algunas de estas ediciones circularan temprana y profusamente en las antiguas colonias hispano-americanas, extendiendo así el círculo a la periferia de los centros de investigación europeos. Por ejemplo, LIÉVANO [1871, 21] menciona la “teoría de las paralelas” de LEGENDRE que aparece en la edición francesa de 1809, así como también la de 1843 [ibidem, 22]. Además, es muy factible que los *Éléments* fuesen texto, o por lo menos obra de referencia, en el *Colegio Militar*¹, fundado en 1846, en el que LIÉVANO fue alumno de AIMÉ BERGERON, quien aparentemente había egresado de la *École Polytechnique* de París, y miembro de la misión francesa organizadora del *Colegio*. La popularidad y el uso continuado de los *Éléments* en la Iberoamérica del siglo XIX condujo a varias traducciones vernáculas, de las cuales conocemos una colombiana [LEGENDRE 1866], hecha por LUIS

¹La historia del Colegio Militar aún está por escribirse.

M. LLERAS, una venezolana [LEGENDRE 1879/90], revisada por JOSÉ MUÑOZ TEBAR, y dos brasileñas, una de MANOEL FERREIRA DE ARAUJO GUIMARÃES [LEGENDRE 1809] y la otra de B. ALVES CARNEIRO [LEGENDRE 1886²]. La primera está basada en la décima edición francesa, pero omite las notas adicionales del autor; la segunda, en la décimoquinta [1848¹⁵], incluyendo, ésta sí, las notas adicionales, y la cuarta en la vigésimoquinta. De la tercera no sabemos sobre cuál edición francesa está basada. Hace algún tiempo nos preguntábamos si existieron otras traducciones en el continente latinoamericano [ALBIS 1977; MARTINS 1980], sin que hasta ahora hayamos podido localizar otras distintas a las que acabamos de señalar. Existe también del siglo XIX una traducción castellana, hecha y publicada en España por ANTONIO GILLEMÁN [ca. 1847].

El interés de LIÉVANO en la teoría de las paralelas pudo surgir de su lectura de los *Éléments*, aunque también pudieron influirle sus conversaciones con BERGERON. En uno de sus ensayos sobre el tema [1871, 21] menciona que LEGENDRE no logra demostrar que dado un punto interior de un ángulo sea posible trazar por ese punto una recta que corte a ambos lados del ángulo. Esta proposición, equivalente al postulado euclídeo [BONOLA 1955, 120], se llama hoy el *lema o postulado de Legendre*.

En su ambicioso plan de "llenar los vacíos" de la matemática², LIÉVANO se propone el de las paralelas [ibidem, 5],

... el cual consiste en que todos los sistemas seguidos hasta hoy para establecerla [la teoría] tienen una proposición que no siendo evidente, se admite sin demostración, porque los esfuerzos de los eminentes geómetras, desde Euclides para acá, no han alcanzado á vencer esta dificultad. Llenar este vacío, es de grandísima importancia, pues casi toda la Geometría se funda en la teoría de las paralelas... He sido conducido á dos métodos diferentes. El que voy a exponer primero lo considero completamente riguroso,

²Los vacíos que se propone llenar LIÉVANO son la teoría de los números incommensurables, la teoría de la proporcionalidad, la identidad de las expresiones algebraicas enteras [polinomios] y la teoría de las paralelas, que encuentra insatisfactorias o con deficiencias en sus demostraciones. Esto constituye de suyo un ambicioso plan de fundamentación de las matemáticas elementales. Cabe también preguntarse aquí la influencia de BERGERON en este asunto, aunque estos temas eran debatidos profusamente en el mundo científico de la época en libros y artículos.

fué el último que inventé y en el desarrollaré toda la teoría.

Por otra parte, otros textos franceses en boga (o sus traducciones) pudo también examinarlos LIÉVANO, como lo sugiere el hecho de que en [1871, 11-12] mencione y analice la "mejor demostración que hasta ahora se había dado del Postulado de Euclides", la atribuida a LOUIS BERTRAND (1731- 1812) [1774], escritor de textos suizo [YSELY 1901, 87]. La anterior cita es contextualmente similar a la siguiente:

Hasta ahora no han podido los matemáticos dar una demostración rigurosa de este célebre postulado de Euclides; pero siendo la menos defectuosa la siguiente, voy á esponerla tal como se encuentra en, el escelente Tratado de Geometría [1825] escrito por nuestro compatriota el eminente literato y sabio matemático D. Alberto Lista [y Aragón]

que hace MANUEL MARÍA BARBERY, traductor de las *Lecciones de geometría* de P. L. CIRODDE [1858¹, 1888¹⁴, 1904²⁴]. La demostración del quinto postulado que allí aparece es esencialmente la de BERTRAND (vide infra). Como el libro de CIRODDE tuvo al parecer difusión en Colombia (aunque no podamos precisar a partir de qué época), no sería descabellado que también le fuese conocido a LIÉVANO en alguna de sus numerosas ediciones españolas. Otro texto, el *Curso de geometría elemental* de A. J. H. VINCENT [1862] (traducido del francés), estuvo también muy en boga en nuestro país, pues hemos localizado varias copias en diversos lugares. En él se explica de dos maneras el método de BERTRAND, aunque se añade que [VINCENT 1862, 25-26]

... la demostración espuesta se apoya en consideraciones delicadas sobre el infinito [y] no puede disimularse que admitida la definición de paralelas, dada en el no. 32 [Se llaman paralelas dos rectas que, hallándose en el mismo plano, no se pueden encontrar, por más que se prolonguen en los dos sentidos de su dirección.], es difícil, por no decir imposible, esponer su teoría sin rozar la noción de infinito.

LIÉVANO, en su comentario sobre el "método de Bertrand", observa, con razón, que en él se admiten para el infinito propiedades que sólo son "evidentes para la cantidad [finita]". Lo anterior nos hace sospechar que también este texto pudo conocerlo LIÉVANO.

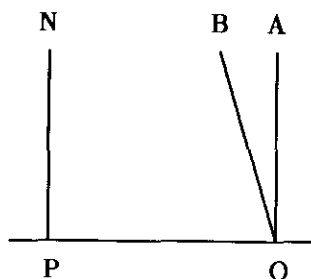


Figura 1

La demostración de BERTRAND se basa en un procedimiento de bandas o fajas infinitas propuesto por ANTOINE ARNAUD (1612-1694), el famoso coautor de la *Lógica de Port-Royal*. Para apuntalar nuestra sospecha de que LIÉVANO pudo tener en sus manos los textos de VINCENT y CIRODDE, transcribimos la versión que da LIÉVANO en [1871, 11-12] y sus comentarios:

La mejor demostración que hasta ahora se había dado del Postulado de Euclides, es la de Bertrand de Geneve. Vamos á examinarla. La demostración es la siguiente. Sean (Fig.5) [Figura 1] PO la recta, PN la perpendicular y OB la oblicua que forma el ángulo agudo BOP. Levantemos en O la perpendicular OA, esta dejará á la oblicua OB del mismo lado que á PN, formando con ella un ángulo BOA. Las dos paralelas PN y OA determinan una faja que superpuesta en el plano sucesivamente haciéndola girar al rededor de las rectas, cabrá un número ilimitado de veces, tanto de un lado como del otro. El ángulo BOA, por pequeño que sea, superpuesto en el plano sucesivamente, haciéndolo girar al rededor de un lado, no cabrá en el plano (ó en cuatro ángulos rectos) sino un número limitado de veces, y esto se funda en un axioma que he puesto en mi Aritmética [LIÉVANO 1856], á saber, "toda cantidad por pequeña que sea agregada á sí misma sucesivamente puede llegar á dar suma mayor que toda cantidad dada [principio de Arquímedes]. Esto admitido, puesto que la semi-faja NPOA cabe en el plano un número ilimitado de veces, el ángulo será mayor que la semi-faja, y entónces si la oblicua OB no cortará á PN, todo el ángulo BOA quedaria contenido dentro de la semi-faja, y seria por consiguiente menor, lo que es contra lo acabado de demostrar, luego la oblicua OB debe cortar á PN.

Como se ve, la demostración anterior se funda en que la superficie infinita del ángulo es mayor que la de la semi-faja que también es infinita; y esto lo

dedujo BERTRAND de que siguiendo un sistema de superposición, el ángulo no cupo en el plano sino un número limitado de veces, ¿y no habrá otro sistema de superposición por el cual la superficie del ángulo quepa en el plano un número ilimitado de veces, como el sistema de la figura 6 [Figura 2] que con el ángulo α se forman los ángulos exteriores de una línea poligonal...? Esto es lo que seria preciso probar, y me parece muy difícil, por no decir imposible. Admitir esto es admitir que la suma de los ángulos exteriores de un polígono [cerrado] cualquiera no puede pasar de cierto límite determinado, y aunque es cierto que es igual a cuatro ángulos rectos, esto se demuestra es después, fundándose en el Postulado de Euclides. De otro modo- Cuando en virtud del axioma citado se admitió que el ángulo no cabía en cuatro rectos sino un número limitado de veces, se consideró el ángulo como cantidad [finita], es decir, bajo el aspecto de la mayor o menor abertura de sus lados, no bajo el aspecto de la superficie encerrada, la cual no es cantidad por ser infinita; y cuando despues admite Bertrand que el ángulo es mayor que la semi-faja, ya no considera el ángulo bajo el aspecto de superficie, y no ha demostrado que bajo este aspecto, el ángulo no cabe en el plano sino un número limitado de veces, ni puede demostrarse, sin admitir para el infinito cierta propiedad que sólo es evidente para la cantidad [finita]; y esto es inadmisibile al fundar los cimientos de la Geometría.

Esta versión de la demostración de BERTRAND es muy parecida a la segunda demostración propuesta por VINCENT (*op. cit.*). Todo lo anterior parece mostrar dos cosas:

- que LIÉVANO estaba empapado del problema y sus dificultades hasta donde se lo permitía la información que hubiese recibido de BERGERON y de textos como los de LEGENDRE, CIRODDE, VINCENT y probablemente del de LISTA Y ARA-GÓN (1775-1848); y
- que su propósito era demostrar el postulado euclideo a partir de los otros postulados de la geometría, es decir, a seguir el primero de los caminos que hemos indicado antes.

En sus *Investigaciones científicas* [1871] recoge LIÉVANO, entre otros ensayos, su teoría de las paralelas (en el prólogo de esta obra habla de su "libro de Geometría", del cual no hemos podido saber si fue publicado), que, como hemos dicho, tiene como objeto final la demostración del quinto postulado. De hecho, presenta allí dos métodos de demostración. Examinaremos aquí ambos (en realidad, el primero fue "inventado el 7 de mayo

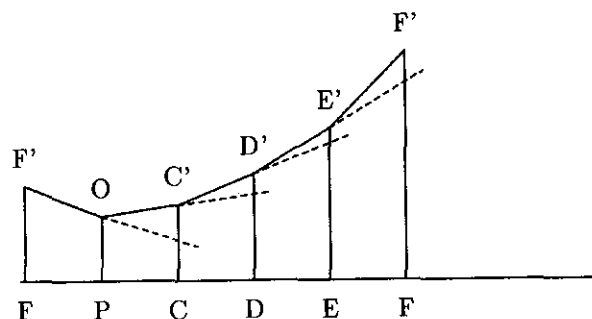


Figura 2

de 1871" y el segundo data de 1856). En el primero comienza por reproducir la definición de paralelas dada por EUCLIDES [1970, 704] y por señalar dos resultados, que, como él mismo lo dice, son independientes del quinto postulado:

- 1) Dos rectas perpendiculares a una tercera son paralelas entre sí.
- 2) Para tirar una paralela a una recta dada, por un punto situado fuera de ella, basta tirar por este punto dos perpendiculares, la primera a la recta dada y la segunda a esta perpendicular.

A continuación propone el siguiente

Lema 1. Tomemos una recta indefinida (Fig. 1) [Figura 3] y levantemos una perpendicular PQ , tomemos $PC = PF$ y levantemos perpendiculares en los puntos C y F . En la perpendicular PQ , tomemos una magnitud arbitraria PO y después tomemos $CC' = FF' = PO$ y unamos C' con O y O con F' ; digo que la línea $C'O$ es una recta, y que además es perpendicular a PO .

Antes de analizar la demostración que da LIÉVANO al anterior Lema, recordemos los siguientes resultados, independientes del postulado de Euclides, debidos esencialmente a GIROLAMO SACCHERI [1733], los que incluimos para rematar más rápidamente el análisis de esta demostración:

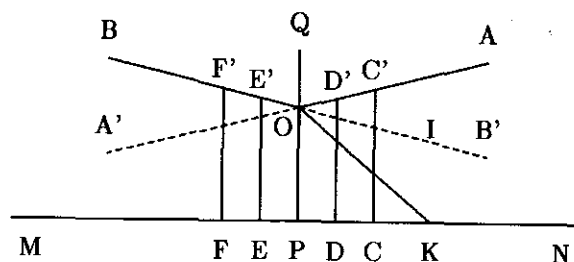


Figura 3

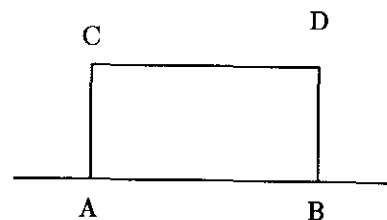


Figura 4

(S1). Si dos segmentos iguales AC y BD son perpendiculares a la recta AB ; entonces el segmento CD que une los puntos C, D , forma con AC y con BD ángulos iguales (es decir, el ángulo ACD es igual al ángulo CDB , en la figura 4).

(S2). Si el ángulo ACD es recto, entonces el postulado de Euclides es válido.

LIÉVANO comienza su demostración afirmando que los ángulos POC' y POF' en la Figura 1 son iguales,

porque las dos figuras $OPFF'$ y $OPCC'$ son superponibles, pues haciendo girar la primera al rededor de PO como charnela, PF coincidirá con PC y FF' con CC' , por ser los ángulos rectos y los lados iguales por construcción...

Aquí utiliza esencialmente el primer caso de igualdad de triángulos, que como sabemos es independiente del postulado en referencia, en cuya demostración está implícito el *axioma de libre movilidad*, de modo que las figuras de un plano pueden reflejarse al rededor de un eje, rotarse y trasladarse "paralelamente" a sí mismas sin deformación. Continúa de la siguiente manera:

Tomemos ahora el punto D en la mitad de PC y levantemos la perpendicular, la cual, como no puede cortar á ninguna de las dos otras perpendiculares PO , CC' , cortará forzosamente la recta $C'O$ en un punto intermedio D' ; tomemos lo mismo en el punto medio E de la recta PF y levantemos la perpendicular EE' . Si hacemos girar la figura $D'DPO$ al rededor de $D'D$ como charnela, ella coincidirá con la figura $D'DCC'$, por ser los ángulos en D rectos, $DP = DC$ por construcción y las rectas PO y CC' perpendiculares a MN é iguales por construcción; luego el ángulo $DD'O$ será igual ángulo $DD'C'$ y por consiguiente DD' será perpendicular a $C'O$; luego $C'O$ será paralela a MN , porque ya sabemos que dos rectas perpendiculares á una tercera son paralelas entre sí. Lo mismo podemos demostrar de la recta OF' , tomando a EE' como charnela, que será perpendicular á EE' y paralela á MN . [Aquí ha construido dos paralelas a MN que pasan por el mismo punto O .] Todo esto supuesto, si la línea $C'OF'$ no fuera recta, la prolongación de $F'O$ no sería OC' , sino que se hallaría dentro del ángulo POF' o dentro del ángulo $C'OQ$. Supongamos primero que esté dentro del ángulo POC' y que sea OB' ; entónces la prolongación de $C'O$ será OA' situada dentro del ángulo POF' .

Tendremos, pues, por el punto O tiradas dos paralelas a MN , á saber, AA' y BB' . Pero el segmento de recta OB' estará más inclinado a cortar el segmento PN , que el otro segmento OA al mismo segmento PN , puesto que OB' está dentro del ángulo POA , y si hacemos girar OA al rededor del punto O hácia PN hasta que venga a coincidir con alguna recta OK que corte á PN , es claro que en ese movimiento y ántes de llegar á cortar á PN , pasará por la posición de OB' ; luego este segmento estará más inclinado á cortar a PN que el otro OA . Ahora tenemos que la semi-faja $NPOB'$ es superponible en la semi-faja $MCC'A'$; luego el segmento $F'B$ estará más inclinado á cortar el segmento FM que el segmento $C'A'$ deja á los segmentos $F'B$ y CM en distintas regiones, u para que $F'B$ estuviera más inclinada á cortar á FM que $C'A'$ á CM , sería preciso que $F'B$ en su prolongación traspasara los límites del segmento OA' cortándolo en algun punto, y como ya tenían el punto O comun, resultarían dos rectas que teniendo dos puntos comunes no se confundían. Luego no se puede suponer que la prolongación de $F'O$ esté situada dentro del ángulo POC' .

En este punto continúa con la demostración del segundo caso, cuando OB' entra en el ángulo $C'OQ$, para llegar nuevamente a una contradicción usando argumentos semejantes a los del primer caso.

El punto crucial de la demostración del primer caso es su afirmación de que $F'B$ estará más inclinado a cortar el segmento FM que el segmento $C'A'$ al CM , para lo cual se basa en que la semi-faja $NPOB'$ es superponible a la semi-faja $MFF'B$, lo que es equivalente a que el ángulo POL sea igual al $BF'F$ (la superposición se logra reflejando la primera semi-faja en la segunda al rededor de la recta EE' , perpendicular a BB' y MN , por construcción). Pero esta afirmación requiere no sólo demostración sino también aclaración de lo que significa "estar más inclinada a cortar que". De hecho, el error de LIÉVANO radica en afirmar que "una inclinación a cortar a la derecha" implica la "misma inclinación a cortar a la izquierda, las que "medidas" en la perpendicular OP , equivaldría a decir que los dos ángulos formados por OP , uno a cada lado, por la recta BB' son iguales. Es decir, cada uno de ellos igual a un recto. Pero (S2), aplicado en el cuadrilátero $PFF'O$, nos diría entonces que estamos en el postulado euclideo, precisamente lo que quería demostrar.

Aquí, en nuestra opinión, estuvo muy cerca LIÉVANO de iniciar una teoría de las paralelas á la GAUSS (compárese con la traducción de los manuscritos de GAUSS que aparece en [ALBIS 1983]). En efecto, en sus manos tenía la "construcción de dos paralelas a una recta por un punto fuera de ella", en el sentido de EUCLIDES, lo que, con su concepto, impreciso, es cierto, de inclinación a cortar, pueden considerarse como los ingredientes necesarios para definir paralelismo a la izquierda y paralelismo a la derecha, y demostrar que estas nociones no dependen de los puntos que se tomen en las rectas en consideración.

Nos ocuparemos ahora brevemente de su segunda demostración, la cual basa en el siguiente Lema:

[Lema]. Por todo punto K (Fig. 11) [Figura 5] tomado en el interior de una faja determinada por dos rectas perpendiculares AB , CD , á una tercera EF , se puede tirar siempre una recta que corte a ambas perpendiculares.

Sin embargo, no es difícil demostrar que este lema es equivalente al llamado postulado de PROCLO:

Si una recta interseca una de dos paralelas, también interseca a la otra,

el que a su vez es equivalente al postulado de Euclides [BONOLA, 1955, 119].

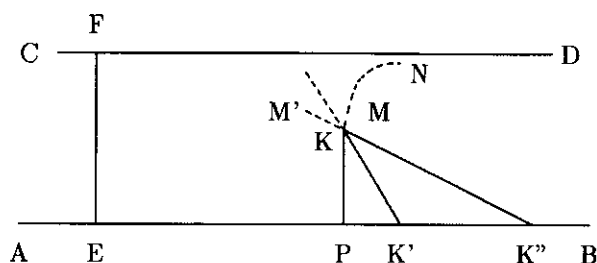


Figura 5

LIÉVANO [1899] vuelve a publicar esencialmente estos trabajos en los *Anales de Ingeniería*. Es importante anotar que ellos no fueron aceptados por algunos de sus contemporáneos. Por ejemplo, RUPERTO FERREIRA muestra su desacuerdo los números del "El Tradicionista" de los días 21 y 28 de 1871. LIÉVANO contestó desde las columnas del "El Bien Público". Estas respuestas fueron publicadas posteriormente en 1875, con el título de "Apéndice a las Investigaciones Científicas".

Para terminar esta sección queremos mencionar la propuesta de demostración del postulado euclídeo publicada por HERMÓGENES WILSON en el primer volumen de los *Anales de Ingeniería* [WILSON, 1887-88, 171-172].

En la Figura 6, tomemos $AX \perp AB$, BZ oblicua y el ángulo ABZ agudo. Construyamos $BC = CD = DE = \dots$ y $C', DD', EE', \dots \perp AX$ y $O'''C \perp AB$, $O''C \perp C'C$, $EO' \perp DD'$, $FO \perp EE'$, etc. Hechas estas construcciones, WILSON "demuestra" que $K = O'''B = O''C = O'D = \dots$ etc, con lo cual obtiene

$$\begin{aligned} AB &= C'C + K = (D'D + K) + K \\ &= D'D + 2K = D'D + 3K = \dots, \end{aligned} \quad (*)$$

es decir, los segmentos $AB, CC', DD', EE', \dots$ están en progresión aritmética decreciente, lo que finalmente implicará que BZ cortará a AX . En el mismo número de los *Anales* FERREIRA [1887-88, 173] dice que el anterior argumento le parece equivalente al postulado euclídeo, pues usa que los ángulos ABC y $C'CD$ son iguales (correspondientes entre paralelas). Por otra parte, un colaborador anónimo de la *Revista Militar* [ANÓNIMO 1887] le hace observaciones semejantes a las de FERREIRA, pues considera, entre otras cosas, que WILSON no demuestra la igualdad de los triángulos rectángulos CBO''' , DCO'' , etc. A este último, WILSON replica en la *Revista Militar* [1887]. Lo interesante del argumento de WILSON es su semejanza con uno dado por NASÍR-EDDÍN, en su libro *Euclidis elementorum libri XII studii*

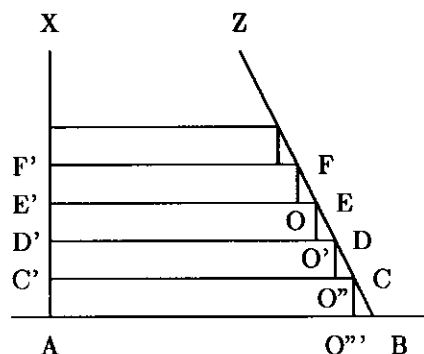


Figura 6

Nassireddini (Roma, 1594), escrito en árabe y nunca traducido a otro idioma distinto del latín. En efecto, NASÍR-EDDÍN demuestra (*) que si el ángulo ABZ es agudo, entonces $AB > CC' > DD' > \dots$ [BONOLA 1955, 10-11; AL-DAFFA & STROYLS 1984].

3. Los ensayos de Julio Garavito

Creemos necesario bosquejar, en primer lugar, el panorama de las geometrías no euclídeas, en la época en que escribió GARAVITO sus dos memorias: *Nota sobre la fórmula fundamental de la trigonometría plana no euclídea* [GARAVITO 1916, 224-234; 353 - 362; 465-469] y *¿Bancarrota de la ciencia?* [GARAVITO 1917, 101-107; 203-215], ambas publicadas en los *Anales de Ingeniería* y, posteriormente, reproducidas por ÁLVAREZ LLERAS (con otros trabajos que ya había publicado GARAVITO) en la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. La razón de este bosquejo es precisar el conocimiento que poseía este autor sobre estos temas y poder así analizar cabalmente los propósitos que perseguía al escribir estas memorias.

En primer lugar, mencionemos que F. A. TAURINUS, partiendo de la fórmula fundamental de la trigonometría esférica

$$\cos \frac{a}{k} = \cos \frac{b}{k} \cos \frac{c}{k} + \sin \frac{b}{k} \sin \frac{c}{k} \cos A \quad (A)$$

(en donde a, b, c son los lados de un triángulo esférico, de ángulos opuestos respectivos A, B, C , y k es el radio de la esfera), obtuvo la la relación

$$\operatorname{ch} \frac{a}{k} = \operatorname{ch} \frac{b}{k} \operatorname{ch} \frac{c}{k} - \operatorname{sh} \frac{b}{k} \operatorname{sh} \frac{c}{k} \cos A \quad (B)$$

al sustituir k por ik , $i = \sqrt{-1}$. Un poco más tarde, F. MINDING [1839], estudió sistemáticamente las superficies de curvatura constante negativa, insinuando así mismo el siguiente resultado:

Si en las fórmulas de la trigonometría esférica se mantienen fijos los ángulos y los lados se multiplican por $\epsilon = \sqrt{-1}$, entonces se obtienen las ecuaciones satisfechas por los elementos de los triángulos geodésicos de las superficies de curvatura negativa

Este resultado fue demostrado por D. CODAZZI [1857]. El punto culminante lo alcanza E. BELTRAMI [1868] cuando produce explícitamente, y esencialmente por el mismo procedimiento que TAURINUS, una superficie de curvatura constante negativa, inmersa en el espacio euclídeo tridimensional, y en la cual, al reemplazar recta por geodésica, logra una *interpretación* de la geometría desarrollada por I. N. LOBACHÉVSKI [1829-1830, 1840], con lo que reducía la consistencia de esta geometría a la de la euclídea. Recordemos que el desarrollo por LOBACHÉVSKI se apoya en postular la existencia de dos paralelas por un punto exterior a una recta dada; a partir de esto y razonando impecablemente, logra establecer la relación (B) y observa, por ejemplo, al final del libro *Geometrischen Untersuchungen zur Theorie der Parallelinien* [1840] que si en ella se sustituye k por ik , obtienen la relación (A). Este pequeño opúsculo encontró pronta difusión entre los lectores de lengua francesa, gracias a la traducción hecha por J. HOÜEL [LOBACHÉVSKI 1886]. Dada la fuerte influencia francesa en los programas y textos usados en la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional en Bogotá, podría pensarse que una copia de esta traducción hubiese llegado a esta institución. Sin embargo, la categórica afirmación de GARAVITO de desconocer los originales del geómetra ruso [GARAVITO 1916, 223], más el hecho de no haber podido localizar en los fondos más antiguos del Departamento de Bibliotecas de la Universidad Nacional, nos conducen a concluir que los resultados de LOBACHÉVSKI, GAUSS y BOLYAI se conocieron en el país por fuentes secundarias.

En efecto, H. POINCARÉ, entre otros, se había encargado ya de divulgar extensamente las geometrías no euclídeas, las de RIEMANN incluidas, a finales del siglo pasado. Esto lo hizo especialmente en su libro *La ciencia y la hipótesis* [(1902) 1943], del cual existen tempranas traducciones en castellano como las de EMILIO GONZÁLEZ LLANA en la primera década del siglo XX, las cuales circularon en Colombia por la misma época³.

³Uno de estos ejemplares, en mi poder, perteneció a la excelente biblioteca de mi abuelo D. Samuel González Tapia, en Sincelejo, y fue comprado a la Librería de Camacho y Roldán, en Bogotá.

En este libro aparece una descripción de su famoso modelo de la geometría de LOBACHÉVSKI, construido usando familiares figuras y conceptos de la geometría euclídea.

Además, el *Traité de géométrie* de ROUCHÉ y CH. DE COMBEROUSSE [1878-79, 1891], texto recomendado entonces en la Facultad Nacional de Matemáticas e Ingeniería, traía en su Nota II, tomo II, una "exposición" de los resultados de LOBACHÉVSKI, con una, como veremos, deducción insatisfactoria, ciertamente, de la que llamaremos luego *fórmula fundamental de la trigonometría hiperbólica*. Lo insatisfactorio de esta deducción hizo posiblemente que esta Nota II fuese reescrita por POINCARÉ en ediciones posteriores de este libro [1912], en su momento muy en boga entre los profesores de geometría.

Hechos estos comentarios preliminares, es suficiente leer cuidadosamente los dos trabajos de GARAVITO, en especial los numerales 8 y 9 de [GARAVITO 1916] y las páginas 204 y 206 de [GARAVITO 1917], para convencerse que GARAVITO estaba *enterado* de los resultados que hemos mencionado antes y que, más aún, mucho de lo que allí escribe lo entresacó del citado libro de POINCARÉ. Por otra parte, él aceptaba estos resultados como parte de la información en su poder; si no, que lo digan los siguientes apartes:

Las fórmulas que Lobatchewsky presentó como correspondientes a la geometría plana no euclídea son las que resultan de la trigonometría esférica cuando se supone imaginario el radio de la esfera [GARAVITO 1916, 223].

La consecuencia útil que se deduce de los estudios de SOPHUS LIE es la de que es posible hacer una geometría esférica de dos dimensiones, tomando como punto de partida el postulado de Riemann; así como también es posible hacer una geometría de dos dimensiones sobre el postulado de Lobatchewsky, en donde el plano ha sido sustituido por una esfera imaginaria y la recta por un círculo máximo de tal esfera. [GARAVITO ib, 354]

... pues si se supone que en lugar de una paralela se pueden trazar dos y que hay una región de incompatibilidad (postulado de Lobatchewsky), se llega a la deducción de que las rectas son círculos máximos de una esfera imaginaria; y si al contrario se supone que no es posible la incompatibilidad (postulado de Riemann) se llega a la deducción de que las rectas son círculos máximos de esfera real. [ib., 356]

Por esta razón, la pretensión de J. ÁLVAREZ LLERAS [1920] de ser GARAVITO el que "antes que nadie [trató] de estas cuestiones", es decir, sustituir k por ik en la relación (A) para obtener la (B), es inadmisibles, tal como lo expresa DUARTE [1946]. Esta sustitución la utiliza GARAVITO dos veces: en [GARAVITO 1916, 468] y en [GARAVITO 1917, 211].

Para seguir a GARAVITO en sus razonamientos es indispensable conocer la noción de *uniformidad recíproca*, la cual usa, como veremos, incorrectamente y repetidamente en ambas memorias.

Sean, pues, $u(z)$ y $v(z)$ dos funciones uniformes de una variable z , real o imaginaria. Decimos que $u(z)$ y $v(z)$ son *uniformemente recíprocas* (la una de la otra) si a cada valor de $u(z)$ corresponde un único valor de $v(z)$, y recíprocamente. O sea, la uniformidad recíproca entre $u(z)$ y $v(z)$ existe si hay una biyección ϕ del codominio de u , tal que $\phi(v(z)) = u(z)$, para todo z en el dominio común de u y v . Es claro que de acuerdo con esta definición si tomamos $u(z) = \text{th}(z/k)$, en donde $k \neq 0$ es una constante arbitraria y $v(z) = z$, en el dominio común $-\infty < z < \infty$, entonces $u(z)$ y $v(z)$ son uniformemente recíprocas tomando $\phi = u$, por ser ésta una biyección de $-\infty < z < \infty$ (codominio de v) en $(-1, 1)$ (codominio de u). Observemos que ϕ no es una *función algebraica*.

Cada vez que GARAVITO cree haber establecido la uniformidad recíproca entre dos funciones uniformes u y v , concluye la existencia de constantes A, B, C, D que cumplen

$$Auv + Bu + Cv + D = 0, \quad (1)$$

o si se quiere,

$$u = \frac{Cv + D}{Av + B} = \phi(v), \quad (1')$$

en donde $\phi(t) = (Ct + D)/(At + B)$ es una función algebraica. Pero, como hemos visto en el ejemplo anterior, esto no es siempre posible, pues ϕ bien puede ser una función trascendente y como es *única*—dada la uniformidad de las funciones u y v —el uso que hace GARAVITO varias veces de (1) es incorrecto. Lo que sí es posible afirmar es lo siguiente: *si de antemano sabemos que la relación entre $u(z)$ y $v(z)$, dada por ϕ , es algebraica, entonces la relación (1') subsiste entre u y v* [DARBOUX 1917, Parte 2, 35–43].

La fórmula fundamental de la trigonometría hiperbólica está dada por

$$\text{th}\left(\frac{z}{k}\right) = \frac{\text{tg}\theta}{\text{tg}\Delta}, \quad -\Delta < \theta < \Delta, \quad (2)$$

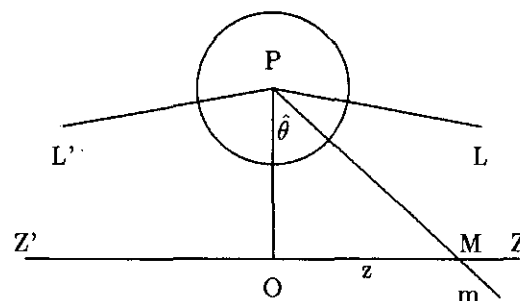


Figura 7

en donde (véase la Figura 7) $z = OM$, $\theta = \widehat{OPM}$, Δ es el *ángulo de paralelismo* en la geometría de LOBACHEVSKI y k es la constante que pareció enloquecer a GARAVITO. Es claro que la representación hecha en la Figura 7 es sólo simbólica, en el sentido que usamos algunos *trazos euclídeos* para representar rectas no euclídeas.

Como bien lo indica GARAVITO, la deducción de (2) hecha en [ROUCHÉ & COMBEROUSSE 1891, 585–587] es insatisfactoria. En razón de la completez y la importancia que tienen en GARAVITO, transcribimos los razonamientos que allí aparecen: si en (1) tomamos $u(z) = \text{th}(z/k)$ y $v(z) = z$ que, como hemos visto, son uniformemente recíprocas, referidas al dominio común $-\infty < z < \infty$, y observamos que $\text{th}(z/k) = 0$ cuando $z = 0$, obtenemos $D = 0$. Es decir,

$$Az \cdot \text{th}\left(\frac{z}{k}\right) + B\text{th}\left(\frac{z}{k}\right) + Cz = 0. \quad (3)$$

Ahora bien, si en (3) sustituimos z por $-z$, tenemos

$$Az \cdot \text{th}\left(\frac{z}{k}\right) - B\text{th}\left(\frac{z}{k}\right) - Cz = 0, \quad (4)$$

de modo que, sumando (3) y (4) miembro a miembro, resulta $Az \cdot \text{th}(z/k) = 0$, y, por lo tanto, $A = 0$. Luego

$$\text{th}\left(\frac{z}{k}\right) = C_1 z, \quad C_1 = -\frac{C}{B}. \quad (\alpha)$$

Es claro que (α) es "inadmisible". En la misma forma, usando nuevamente (1), se muestra que

$$\text{tg}(\theta(z)) = C_2 z. \quad (\beta)$$

De (α) y (β) resulta entonces (2). Naturalmente, la deducción así hecha es incorrecta, pero en modo alguno "pone de manifiesto la falsedad" de (2), como lo afirma GARAVITO [1916, 234] en un imperdonable *error de*

juicio, pues lo equivocado de su demostración no implica necesariamente la falsedad de una proposición. Pero éste no es el único error que comete GARAVITO en *dos renglones consecutivos* ("La relación (β) es correcta" [GARAVITO 1916, 234]). En efecto, refiriéndonos siempre a la Figura 7, en la geometría de LOBACHÉVSKI sucede que $\theta(z) \rightarrow M$ si $z \rightarrow \infty$, y recíprocamente. Es claro que en estas condiciones (β) no subsiste, pero sí subsiste en la geometría euclídea. Como suponemos que está trabajando con las hipótesis de LOBACHÉVSKI con el fin de, a partir de ellas, "demostrar rigurosamente la falsedad de la fórmula (2) que sirve de fundamento a la trigonometría plana no euclídea" [GARAVITO 1916, 224], comienza a ponerse en evidencia la manera confusa con que GARAVITO maneja estos asuntos.

Otro argumento que aduce GARAVITO en favor de la falsedad de (2), es que no existe una uniformidad recíproca entre $u(z) = \operatorname{tg}(\theta(z))$ y $v(z) = \operatorname{th}(z/k)$, refiriéndonos al dominio común $-\infty < z < \infty$. Pero esto tampoco es cierto. En efecto, ya hemos observado que en la geometría de LOBACHÉVSKI la relación que liga z con el ángulo $\theta(z)$ no es del tipo (β) (nos seguimos refiriendo a la Figura 7). Sin embargo, es claro y además independiente del postulado euclídeo, que por cada punto M de $L'OL$ podemos trazar una recta PM y una sola. Cada una de ellas determina un único ángulo $\hat{OPM} = \theta(z)$, en donde z es la *distancia* de O a M . En la geometría de LOBACHÉVSKI, $\theta(z)$ cumple la condición $-\Delta < \theta(z) < \Delta$, lo cual establece una biyección θ de $(-\infty, \infty)$ sobre $(-\Delta, \Delta)$. Como $0 < \Delta < \pi/2$, es claro que $\operatorname{tg}(\theta(z)) = u(z)$ es una biyección de $(-\infty, \infty)$ sobre $(-\operatorname{tg}\Delta, \operatorname{tg}\Delta)$. Por otra parte, $v(z) = \operatorname{th}(z/k)$ es una biyección de $(-\infty, \infty)$ sobre $(-1, 1)$. Luego, tomando $\phi = v \circ u^{-1}$, vemos que efectivamente u y v son uniformemente recíprocas. Para obtener (2) basta tomar ahora $\phi' = (\operatorname{tg}\Delta)\phi$ en vez de ϕ .

Lo anterior invalida, pues, la siguiente afirmación de GARAVITO:

... no es posible, dado el significado de z , establecer la uniformidad recíproca y perfecta entre $\operatorname{tg} \theta$ y $\operatorname{th}(z/k)$ que se requiere para la validez de la fórmula (2). [GARAVITO 1916, 232]

Lo que es interesante es que, más tarde, tomando como dominio común todo el conjunto $\mathbb{C}$ de los números complejos, GARAVITO establece muy ingeniosamente la uniformidad recíproca entre u y v , usando nuevamente (1) [GARAVITO 1917, 212-213], pero parece no percatarse que, una vez establecida para $\mathbb{C}$, la relación continúa siendo válida para todo subdominio común de u y v , en

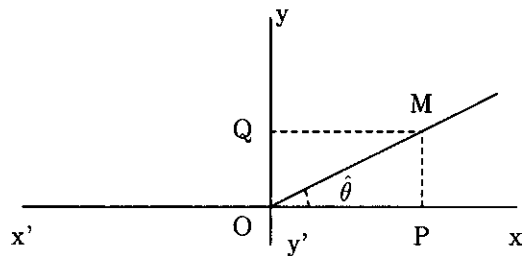


Figura 8

particular para $(-\infty, \infty)$. O sea, él mismo se encarga de invalidar su propia afirmación anterior.

Algo parecido le sucede cuando primero hace notar

... una vez por todas, que no pretendemos demostrar el postulado de Euclides [GARAVITO 1916, 355]

y sin embargo lo demuestra sin percatarse de ello. En efecto, en el numeral 10 de [GARAVITO 1916], después de algunas consideraciones sobre los sistemas de coordenadas, llega a mirar la siguiente situación: Sean O un punto del plano y OP y OQ dos rectas perpendiculares entre sí que pasan por O .

Sea M un punto del plano [distinto de O], y consideremos las perpendiculares MP y MQ , trazadas desde M , a OP y OQ , respectivamente. Estas construcciones, como él mismo lo indica son independientes del postulado de Euclides. Hagamos ahora $OP = x_1$, $OQ = y_1$, $MQ = x$, $MP = y$, y llamemos θ al ángulo $\hat{MOP}$. Dice entonces GARAVITO que si $x = x_1$ y $y = y_1$, estamos en la hipótesis euclídea, pero aun no estando en ella, tenemos dos sistemas de valores, (x, y) , (x_1, y_1) , para definir la posición del punto M . Y añade:

Estas coordenadas serán funciones de r y θ y las relaciones

$$\frac{x_1}{r}, \quad \frac{y_1}{r}, \quad \frac{x}{r}, \quad \frac{y}{r}, \quad (5)$$

serán solamente funciones de θ . [GARAVITO 1916, 360]

Esta última afirmación requiere demostración, pues no es del todo evidente. Es más, partiendo de ella, GARAVITO demuestra que $x = x_1$ y $y = y_1$, que, como ya ha observado, es el postulado euclídeo de las paralelas. Como según él, todo lo que ha hecho es independiente de este postulado, tiene ante sí una *demostración del postulado en cuestión*. Pero lo que ha hecho

no es independiente de este postulado, pues decir que las relaciones (5) son independientes de θ es equivalente a este postulado, como lo hemos probado en [ALBIS & MORENO, 1976].

No nos debe extrañar, pues, que cuando quiere hacer los mismos razonamientos sobre la esfera [GARAVITO 1916, 465-466] encuentre que las relaciones (5) *serían las fórmulas de la trigonometría plana elíptica*, lo cual no es cierto: lo que ha sucedido, sin él percatarse, es que *ha razonado sobre el plano euclídeo creyendo hacerlo sobre la esfera*. Sin embargo, echa toda la culpa al mal empleo de la fórmula (1), cuando ya hemos visto que es él quien siempre la aplica mal, para "deducir de ella todo lo que se quiera". [GARAVITO 1916, 466]

El uso subrepticio del postulado de Euclides no lo hace únicamente en el caso anterior. En efecto al afirmar que a cada

... valor de $\text{tg } \theta$, se hallarán dos series (A) de arcos los cuales determinan una recta única PM la cual cortará a L'OL [Figura 5] en un punto único M a distancia finita $z = OM$ [GARAVITO 1917, 208],

no está haciendo otra cosa que enunciar el postulado euclídeo de las paralelas. Naturalmente, al aplicar nuevamente (1), encuentra

$$\text{tg } \theta = \frac{z}{b},$$

la fórmula fundamental de la geometría euclídea. Es decir, *no ha hecho nada*.

Las siguientes frases de GARAVITO resumen en buena parte lo que ha querido hacer en estas dos memorias:

Grande ha debido ser la sorpresa de Lobatchewsky al hallarse, cuando menos lo esperaba, frente a frente con el postulado de Euclides. ¿Por qué motivo no había hallado antes contradicción alguna en sus raciocinios impecables al suponer falsa la propiedad euclídea de las rectas? La respuesta es clara: no había razonado con rectas situadas en un plano sino sobre otra clase de líneas y superficies. [GARAVITO 1917, 209]

En efecto, en este diciente párrafo acepta, por un lado, que LOBACHÉVSKI no podía llegar a contradicciones pues no razonaba "con rectas en un plano sino sobre otra clase de líneas y superficies (recordemos que ya hemos anotado que GARAVITO conocía la interpretación de la geometría de RIEMANN sobre la esfera real y la de LOBACHÉVSKI sobre la esfera de radio imaginario o una

superficie de curvatura constante negativa). En esto todos concordamos. Pero al mismo tiempo pretende que LOBACHÉVSKI llegue a las mismas conclusiones que él: al postulado de Euclides. Esto último no era posible para LOBACHÉVSKI, pero sí para GARAVITO, pues cada vez que intenta mostrar que no podemos llegar a (2) usando rectas en un plano introduce en una u otra forma el postulado de Euclides (o algo que le es equivalente) como lo hemos mostrado aquí y ya lo había hecho antes DUARTE [1946].

Bibliografía

1. Albis González, Víctor S. & Soriano Lleras, Luis I., *The Work of Indalecio Liévano in the Foundations of the Real Number System*, *Historia Mathematica* 3 (1977), 161-166.
2. Albis González, Víctor S. & Moreno Armella, Luis, *Una hipótesis equivalente al postulado euclídeo de las paralelas*, *Boletín de Matemáticas* (Bogotá) 10 (1976), 78-85.
3. Albis González, Víctor S., *Latin-American translations of Legendre's "Éléments de Géométrie"*, *Historia Mathematica* 4 (1977), 339-340.
4. Albis González, Víctor S. & R. Álvarez, *Los trabajos de Gauss sobre la teoría de las paralelas*, In: Víctor S. Albis (ed.), *A. C. F. Gauss* (1983), Universidad Nacional de Colombia (Departamento de Matemáticas y Estadística), Bogotá.
5. Albis González, Víctor S., *Un programa de investigación en la historia de un país latinoamericano*, Quipu: Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología 1 (1984), 391-400.
6. Al-Daffa, Ali A. & John J. Stroyls, *Studies in the Exact Sciences in Medieval Islam*, University of Petroleum and Minerals & John Wiley & Sons, Dahrán/New York, 1984.
7. Anónimo, *El postulado de Euclides*, *Revista Militar* (1887), 67.
8. Álvarez Lleras, Jorge, *Julio Garavito Armero. Ensayo biográfico y literario*, *Anales de Ingeniería* 27 (1920), 362-420.
9. Aristóteles, *Obras*, traducción del griego estudio preliminar, preámbulos y notas por Francisco de P. Samaranch, Aguilar, Madrid, 1964.
10. Beltrami, E., *Saggio di interpretazione della geometria non euclidea*, *Giornale de Matematiche* 6 (1868), 284-312.
11. Bertran de Ginebra (Louis Bertrand), *Developpement nouveau de la partie élémentaire des mathématiques*, 1774.
12. Bonola, Roberto, *Non-Euclidean Geometry. A Critical and Historical Study of its Developments*, Dover Publications, New York, 1955.
13. Cirodde, P. L., *Lecciones de geometría*, traducción de Manuel María Barbery. 24a. tirada, A. & Roger & F. Chernoviz, París, 1858¹, 1888¹⁴, 1904²⁴.
14. Codazzi, D., *Intorno alle superficie, le quali hanno costante il prodotto de due raggi di curvatura*, *Ann. Scienze Mat. Fis.* 8 (1857), 346-355.
15. Darboux, G., *Principes de géométrie analytique*, Paris.
16. Dehn, Max, *Die Lengendre'sche Sätze über die Winkelsumme in Dreiecke*, *Math Annalen* 53 (1900), 405-439.
17. Duarte, F. J., *Sobre las geometrías no euclidianas. Notas históricas y bibliográficas*, *Revista Acad. Colombiana Ci. Ex. Fi. Nat.* (1946), 63-80.

18. Al-Daffa, Ali A. & Stroyls John J., *Nasir al-Din al Tusi's attempt to prove the parallel postulate of Euclid*, In: *Studies in the Exact Sciences in Medieval Islam* (1984), J. Wiley, New York.
19. Escobar Larrazábal, M., Julio Garavito A., *Anales de Ingeniería* 35, 279-285.
20. Euclides, *Elementos de geometría*. IN: Francisco Vera (editor y traductor), *Científicos griegos, Vol. I*, Aguilar, Madrid, 1970.
21. Ferreira, Ruperto, *Reseña de las "Investigaciones Científicas" de Indalecio Liévano*, *El Tradicionista*, 21 y 28 de noviembre (1871).
22. Ferreira, Ruperto, *El postulado de Euclides*, *Anales de Ingeniería* 1 (1887-88), 172-173.
23. Garavito A., Julio, *Nota sobre la fórmula de la trigonometría plana no euclídea en la geometría hiperbólica*, *Anales de Ingeniería* 24 (1916), 222-234; 353-362; 465-469.
24. Garavito A., Julio, *¿Bancarrota de la ciencia?*, *Anales de Ingeniería* 25 (1917), 101-107; 203-215.
25. Gray, Jeremy, *Ideas of Space. Euclidean, non-Euclidean, and Relativistic*, Clarendon Press, Oxford, 1979.
26. Gray, Jeremy, *Non-Euclidean Geometry. A Reinterpretation*, *Hist. Math.* 6 (1979), 236-258.
27. Isely, L., *Histoire des mathématiques dans la Suisse Française*, Neuchâtel, 1901.
28. Legendre, Adrien Marie, *Éléments de Géométrie*, Paris, 1794¹-1823¹².
29. Legendre, Adrien Marie, *Refléxions sur différentes manières de démontrer la théorie de parallèles ou le théorème sur la somme des trois angles du triangle*, *Mémoires*, T. XIII, Académie de Sciences de Paris, 1833.
30. Legendre, Adrien Marie, *Elementos de Geometria*, Imprensa Regia, Rio de Janeiro, 1809.
31. Legendre, Adrien Marie, *Tratado de Geometria*, traducción de Antonio Gillemán, Madrid, 1849.
32. Legendre, Adrien Marie, *Elementos de Jeometría*, Traducidos de la décima edición de París por Luis M. Lleras, Imprenta de Gaitán, Bogotá, 1866.
33. Legendre, Adrien Marie, *Elementos de Geometría*, Traducidos de la décima quinta edición por Jesús Muñoz Tebar, Alfred Rothe, Caracas, 1879.
34. Legendre, Adrien Marie, *Elementos de Geometria*, Traducidos sobre a 25a. edição de M. A. Blanchet, por B. Alves Carneiro. 2a. edição, Garnier, Rio de Janeiro, 1886².
35. Lie, S., *Über die Grundlagen der Geometrie*, *Leipziger Berichte*, 1890.
36. Liévano, Indalecio, *Investigaciones científicas*, Foción Mantilla, Bogotá, 1871.
37. Liévano, Indalecio, *El Bien Público* (1871), Bogotá.
38. Liévano, Indalecio, *Apéndice a las Investigaciones científicas*, Foción Mantilla, Bogotá, 1875.
39. Liévano, Indalecio, *Teoría de las paralelas para demostrar el Postulado de Euclides*, *Anales de Ingeniería* 11 (1899), 158-167.
40. Lista y Aragón, Alberto, *Elementos de matemáticas puras y mixtas*, Tomo III, Geometría y trigonometría, 2a. edición, Madrid, 1825.
41. Lobachéski, N. I., *Sobre los principios de la geometría* [en ruso], *Bull. Kasan Univ.* (1829-1830).
42. Lobachéski, N. I., *Geometrische Untersuchungen zur Theorie der Parallelinien*, Existe versión inglesa, incluida en Bonola [9], Berlín, 1840.
43. Lobachéski, N. I., *Études géométriques sur la théorie des parallèles*, Traducción del alemán por J. Hoüel, Gauthiers Villars, Paris, 1866.
44. Martínez-Chavanz, R. (1990).
45. Martins, Roberto de A., *Comunicación personal sobre la existencia de [smc Legendre 1886]*.
46. Proclo de Licia, *Comentarios sobre el primer libro de Euclides (fragmentos)*. IN: Francisco Vera (editor y traductor), *Científicos griegos, Vol. I*, Aguilar, Madrid, 1970.
47. Rojas Garrido, José María, *El Tiempo* No. 502 (1871).
48. Rouché, Eugène & de Comberousse, Charles, *Tratado de geometría elemental*, traducción de A. & J. Portuondo, Madrid, 1878-79.
49. Rouché, Eugène & de Comberousse, Charles, *Traité de géométrie*, Paris, 1891.
50. Rouché, Eugène & de Comberousse, Charles, *Traité de géométrie*, Gauthier-Villars, Paris, 1912.
51. Saccherio, Hieronymo (Saccheri, Girolamo), *Euclides ab omni naevo vindicatus: sive conatus geometricus prima ipsa universae Geometriae Principia*, Edición latina con traducción inglesa de G. B. Haslsted. New York: Chelsea, 1986, Ex Typographia Pauli Antonii Montani, Mediolani (Milán), 1733.
52. Sánchez Botero, Clara Helena, *Los tres famosos problemas de la geometría griega y su historia en Colombia*, Epistemología, Historia y Didáctica de la Matemática, No. 7, Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, 1994.
53. Taurinus, Franz Adolf, *Geometriae Prima Elementa*, Colonia, 1826.
54. Toth, I., *Das Parallelenproblem in Corpus Aristotelicus*, *Arch. Hist. Exact Sci.* 3 (1969), 249-422.
55. Toth, I., *Non-Euclidean Geometry before Euclid*, *Sci. Amer.* (1969).
56. Toth, I., *La revolution non-euclidienne*, *La Recherche* 75 (Feb 1977), 143-151.
57. Vincent, A. J. H., *Curso de geometría elemental*, Traducido de la última edición francesa por Lope Gisbert, Librería de D. M. Alonso, Madrid, 1862.
58. Wilson, Hermógenes, *El postulado de Euclides*, *Anales de Ingeniería* 1 (1887-88), 171-172.
59. Wilson, Hermógenes, *Carta al Director*, *Revista Militar* I (12, diciembre) (1887), 115-117.

CESAR URIBE PIEDRAHITA, UN CIENTIFICO FUERA DE SERIE*

por

Luis Carlos Rodríguez Alvarez **1

Resumen

Rodríguez Alvarez, L. C.: César Uribe Piedrahita, un científico fuera de serie. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 21(80): 295-311, 1997. ISSN 0370-3908.

Con ocasión de conmemorarse el centenario de su nacimiento, se presenta una biografía de César Uribe Piedrahita (*19-11-1896 - + 17-12-1951), una de las personalidades más importantes del país en el presente siglo, en los campos científico, artístico y literario, no sólo por ser uno de los fundadores de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1936) ni ser el autor de numerosos trabajos de parasitología, microbiología y otros campos del saber, y de tres novelas de reconocido mérito, sino por ser un verdadero pionero en diversas áreas del conocimiento médico y la investigación antropológica, un empresario de laboratorios farmacéuticos, un excelente acuarelista, un idealista defensor de minorías, un fogoso editor y un apasionado adalid de la conservación de los recursos naturales en nuestro medio.

Palabras claves: Microbiología - Parasitología - Colombia - Historia - César Uribe Piedrahita.

Abstract

On the occasion of celebrating the centenary of his birth, a biography is provided of César Uribe-Piedrahita (*19-11-1896 - + 17-12-1951), one of the most important personalities of Colombia of this century, in the fields of the sciences, the fine arts and the literature. Not only was he one of the founder of the Colombian Academy of Sciences (1936) and the author of many works of parasitology, microbiology and others fields of the lore, and three meritorious novels, was a true pioneer in several areas of medical knowledge and the anthropological research, a manager of pharmaceutical laboratories, a excellent water-colour painter, a idealistic protector of minorities, a fervent editor and a passionate pivotal figure in the conservation of natural resources of our environmet.

Key words: Microbiology - Parasitology - Colombia - History - César Uribe-Piedrahita.

* El presente texto, corregido, referenciado y más extenso, debe muchísimo a las observaciones atinadas de los evaluadores de una primera versión, enviada a la Academia en diciembre de 1996, lo mismo que a los comentarios y aportes del Profesor Carlos Eduardo Vasco Uribe. Se expresa infinita gratitud para todos ellos.

** Médico, historiador y musicógrafo. Director Centro de Salud Palmitas - E.S.E. METROSALUD. Apartado aéreo 12986 Medellín (Colombia). E-Mail: lcrodri@epm.net.co

1 Al Doctor Jorge Franco Vélez -In memoriam- y al Doctor Tibério Alvarez Echeverri, amigos y maestros...

*El médico que no sabe más que medicina
debe tener por cierto que ni medicina sabe.*

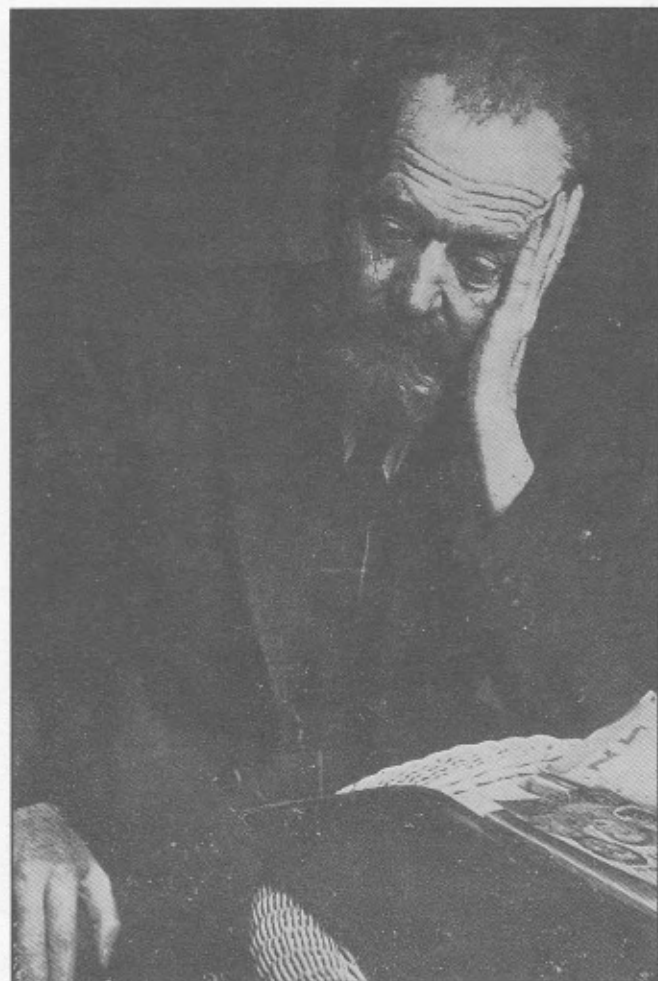
José de Letamendi

*Biografías, autobiografías, reportajes,
declaraciones, nunca son totalmente sinceros.
Todo el mundo tiene algo que ocultar, y lo oculta.*
César Uribe Piedrahita

La leyenda es la poesía de la historia.
Francisco Villaespesa - Pedro Gómez Valderrama

1. Notas para una cronología vital

Como pocas en la historia de Colombia, una figura tan interesante, por lo polifacético de su quehacer cotidiano, lo permanente de su labor pionera, lo intensa y profunda



César Uribe Piedrahita * Medellín, noviembre 19 de 1896 -
+ Bogotá, diciembre 17 de 1951.

de su concepción de la existencia y lo trascendental de sus logros, tan arquetípica en lo fundamental, nos llega en el centenario de su nacimiento, la de un genial sabio: el Doctor **César Uribe Piedrahita**. Médico, salubrista, microbiólogo y parasitólogo; empresario y laboratorista; investigador, docente y expedicionario; fotógrafo, dibujante, acuarelista, grabador y crítico de arte; feminista, liberal de izquierda e indigenista; arqueólogo y ecologista; cuentero, conferencista y conversador infatigable; violinista, bohemio alcohólico y montero. Ejemplo del mejor humanista, un gestor de ilusiones y maestro de la vida...

Estas notas, en rigurosa cronología, como un breve recuento de su acontecer vital y de sus actividades en el campo de las ciencias.

César Uribe Piedrahita, familiarmente sólo *El Mono Uribe*, nació en Medellín el 19 de noviembre de 1896, en el hogar formado por Emilio Uribe Gaviria y Margarita Piedrahita Villa; según su acta de bautismo en la Basílica de Nuestra Señora de La Candelaria, recibió los nombres de **Francisco César**¹. Cuarto hijo entre 8 hermanos -Antonio, Alberto, Luis, Tulio, Hernando, Emilio y Margarita-, apenas a los 9 años, a fines de 1905, perdió a su padre víctima del paludismo en la población de Guaduas². La casa de los Uribe Piedrahita estaba situada en la Calle Perú, entre Sucre y El Palo, por donde aparece la Avenida Oriental, de acuerdo a la actual nomenclatura³.

Probablemente entre 1908 y 1909, **César Uribe** inició sus estudios secundarios en el Colegio de San José en Medellín, institución dirigida por los Hermanos de las Escuelas Cristianas, de la Comunidad de La Salle, que por esos días funcionaba en la llamada Casa de los Huérfanos³.

Cuando en 1913 falleció su madre, **César** apenas cursaba el primer año de estudios en la Facultad de Medicina y Ciencias Naturales de la Universidad de Antioquia. Se quedó muy joven solo, viviendo con sus parientes más cercanos -hermanos, primos y tías-².

Contemporáneo de *Los Panidas*, tuvo oportunidad de compartir con aquéllos, precoces poetas, locos y artistas metidos en la picaresca local, muchas horas de tertulia sabatina en esos días de adolescencia y luego muchos años de su brillante existencia: **Uribe Piedrahita** fue un *Panida no oficial*, asiduo contertulio del Café *El Globo* -su sede principal- y amigo íntimo de casi todos⁴: **Ricardo Rendón Bravo** era como su hermano, pintó con él hasta la muerte y expiró en su casa de Bogotá; **Eduardo Vasco Gutiérrez** fue no sólo su cuñado, sino su brillante colega en el ejercicio médico; **Pepe Mexía**, su camarada de ideales estéticos vanguardistas, arqueológicos y humanistas; **León de Greiff**, su tácito cómplice de aventuras bohemias y literarias; **Fernando González**, su brujo y mentor.

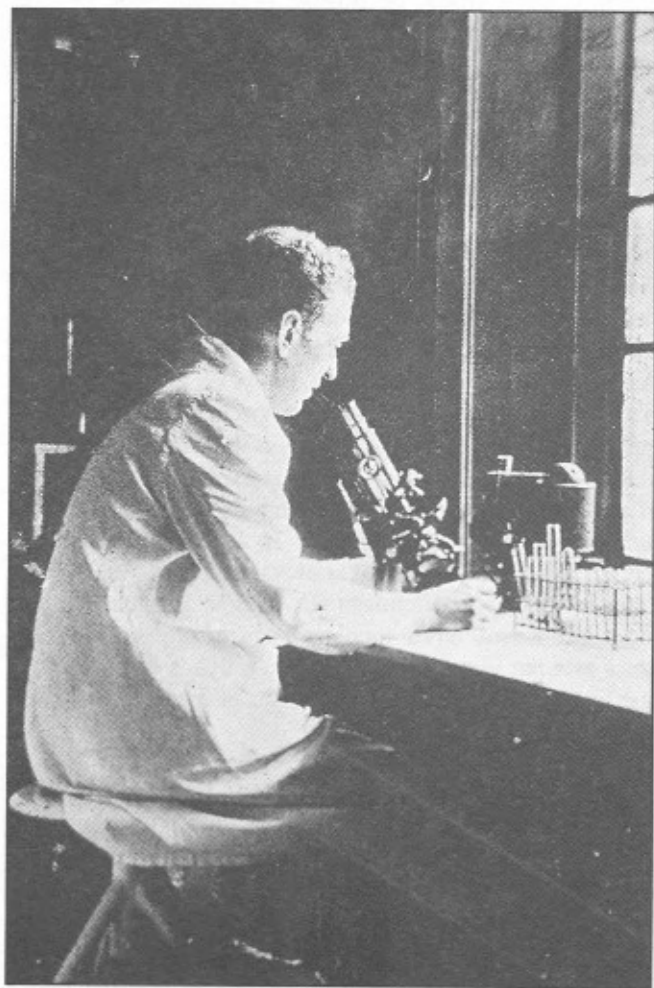
Adolescente aún, **César Uribe** comenzó a cultivar sus dotes artísticas, en las áreas de la pintura -la acuarela sobre todo-, bajo el consejo del maestro **Francisco Antonio Cano**, del dibujo -precisamente sus primeras caricaturas y lápices, junto a los de **Rendón**, **Pepe Mexía** y **Tisaza**, adornaron las paredes de *El Globo*⁵, ese famoso cafetín-biblioteca que les patrocinaba **Tomás Carrasquilla** a *Los Panidas* en los bajos de *El Espectador*- y en el de las letras -cuando dirigió, hacia 1918, una publicación periódica de intención cultural y literaria a la que llamó *Studio*⁶.

De sus experiencias como universitario, entre 1913 y 1918, quedaron también algunos testimonios íntimos en un curioso *Diario de Estudiante*, que apareció publicado en *Hojas de mi cartera*, columna que él mismo redactaba para un órgano literario editado por los alumnos y del cual se perdió el nombre [1]. Se cuenta además que, aprovechando sus facilidades para el dibujo y la pintura, bajo la guía del profesor **Pedro Nel Cardona** realizó varias ayudas gráficas murales para la cátedra de Ginecología y Obstetricia, que estuvieron en la Facultad varios años.

Concluidas casi todas sus labores académicas, y habiendo solamente presentado y aprobado el primer examen preparatorio de grado, entre noviembre de 1918 y abril de 1919, **César Uribe Piedrahita** decidió dejar un tiempo los claustros académicos y emprendió una expedición a la zona selvática occidental del departamento, como médico de la comisión de ingenieros encargada de estudiar la región con el propósito de trazar una línea férrea que uniera la costa atlántica antioqueña con la ciudad de Medellín. La expedición siguió aproximadamente la ruta del conquistador español Adelantado Capitán Francisco César, a lo largo del río Cauca en su porción media y luego a través de las selváticas estribaciones de la cordillera occidental, con rumbo al golfo de Urabá^{13, 34}. Si bien nunca se logró dar vía libre al proyecto ingenieril,

de esta aventura notable, de sus vivencias personales y del material biológico recogido, salió la redacción de su interesantísimo y novedoso texto *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá*, el cual presentó como tesis para coronar su carrera universitaria. En sus observaciones, tienen cabida por igual el clima, la fauna, la flora, la patología y los problemas sociales [2].

Las experiencias vividas en esos seis meses, y la sensibilidad que le trajeron el contacto directo con indígenas y colonos, seres expuestos a las endemias de todo tipo, indefensos y en el más absoluto abandono, lo reafirmaron en su resolución de dedicarse por completo a combatir científicamente estos flagelos³⁴. Así, en ese momento, llamó clamorosamente la atención del gobierno antioqueño sobre la gravedad de la espiroquetosis denominada regionalmente *bubas*, denunciando que casi la totalidad de la población mestiza y gran parte de los gru-



El doctor Uribe Piedrahita en su laboratorio.

pos indígenas de los clanes Catíos y Chocoes presentaba lesiones piánicas que, por sus estigmas deformantes, prácticamente era incapacitada para las duras faenas agrícolas. Gracias a su llamado y su gestión, las autoridades respondieron con una campaña sanitaria entre las gentes de la zona.

Entre julio de 1919 y marzo de 1920, de acuerdo con las normas universitarias, presentó y aprobó los restantes cuatro exámenes preparatorios y el examen de grado, y su tesis fue aceptada. Recibió el título de **Doctor en Medicina y Cirugía**, según acta del 6 de marzo de 1920, en el Salón de Grados de la Universidad de Antioquia⁷. **César Uribe Piedrahita** fue el segundo médico graduado de ese año, y el número 75 en el orden de egresados de la Facultad⁸.

En 1921 viajó a los Estados Unidos para continuar estudios de postgrado en la prestigiosa Universidad de Harvard, de la ciudad de Boston, Massachussets. Es interesante conocer algunos datos sobre esa institución por los años 20, cuando **Uribe** se vinculó como estudiante y docente. La especialización en un área de las ciencias naturales en esos años se puede asimilar a lo que actualmente se conoce como una *pasantía*, labor académica tras la cual no se obtiene un diploma o grado, sino un certificado de asistencia y una inmensa experiencia práctica, tal vez a la manera de una *Research Asistent* -Asistente de Investigación o Asistente Clínico- de hoy. Entre 1918 y 1935, el decano de la Facultad de Medicina fue **David Lynn Edsall**. La primera mujer que llegó a ser Profesora -y eso que como Asistente- fue **Alice Hamilton**, en 1919; sin embargo, la Facultad no recibió alumnas para grado hasta 1945, obligada por la llamada *Ley de Veteranos*. El salario de un Asistente Clínico hacia 1920 era de aproximadamente US \$ 2500 al año. Fue la época en la que se impulsó la Asistencia Clínica, pues en 1910 no había sino 20 Asistentes de Investigación y en 1935 su número se elevaba a más de 200. Otros datos interesantes para nuestra investigación particular nos dicen que **Edsall** envió muchos de sus profesores y alumnos a estudiar al exterior y que trajo muchos extranjeros, y que, entre 1922 y 1923, propuso por primera vez el sistema tutorial en la Universidad⁹.

En esas condiciones ingresó **César Uribe Piedrahita** a Harvard, aprovechando el hecho de que provenía de un país pobre y martirizado por las endemias -tal vez decir *subdesarrollado* no es apropiado para esa época- y era dueño de un bagaje personal incomparable en el área de la Medicina Tropical. En forma meteórica, su carrera en aquella universidad fue sólo un cúmulo de logros y reconocimientos. Apenas recién llegado, se convirtió en asis-

tente del reconocido profesor **Ernest Edward Tyzzer**, desempeñándose como agregado de su Laboratorio de Patología Comparada, y ensayándose como conferencista sobre tripanosomiasis. Posteriormente fue instructor de protozoología, helmintología y enfermedades infecciosas, docente en el laboratorio de **Wasserman** y, por ausencia del profesor **A. W. Sellards**, dictó el curso de Laboratorio Clínico en el Departamento de Medicina Tropical^{10, 11}. Asimismo, brillaron de nuevo sus dotes para las artes gráficas al confeccionar diez mapas murales sobre la clasificación de los protozoarios, que la Universidad envió a la Exposición Internacional de Medicina Tropical realizada en Brasil¹².

Aprovechando que Harvard lo enviaba a Venezuela para hacer algunas investigaciones, regresó a Medellín para contraer matrimonio en la Veracruz en septiembre de 1923 con la señorita **Lucrecia Uribe Lince**, pariente lejana suya, "su cara mitad, su cero a la derecha, su novia de toda la vida, su alma gemela y compañera inseparable de aventuras". Unos meses después, con su esposa, se trasladó a la vecina zona de explotación petrolífera norteamericana en el golfo de Maracaibo, y se desempeñó no sólo como jefe de investigación de un laboratorio clínico -cargó en el cual fue nombrado originalmente-¹¹, sino como cirujano y director del hospital de la Sun Oil Company, obligado por las tristes circunstancias sociales que se vivían y la desorganización del ente sanitario¹³.

Comprometido entrañablemente con los campesinos y nativos, quienes sufrían toda clase de maltratos y vejámenes de las autoridades y los empresarios *gringos*, bajo sospechas de militancia política clandestina -al parecer no sólo ejerció como investigador y médico, sino que hasta apoyó económicamente a los rebeldes venezolanos contra la dictadura de **Juan Vicente Gómez**¹⁴-, **César Uribe** fue obligado por la Universidad de Harvard a volver a sus aulas y laboratorios en los Estados Unidos.

De allí viajó al Viejo Continente, visitó varias capitales europeas y del Cercano Oriente y, en medio de varias situaciones singulares, representó -*sin credenciales*¹⁴- a Colombia y a la Universidad de Harvard en un Congreso Internacional de Parasitología y Medicina Tropical, celebrado en la capital egipcia en 1928¹⁵. Él mismo hablaba así de su viaje:

"De los Estados Unidos fui al África; estuve en El Cairo, me varé en Jerusalem, en Atenas, en Roma, en todas partes. En Constantinopla me metieron a la cárcel porque no dejé que le pegaran unas patadas a un marinero. En París fui amigo de Fuad y de su hijo Faruk. Recuerdo que éste decía 'yo no he conocido

un hombre más parecido a mi padre que Gabriel Toro Villa'. Regresé a Colombia enfermo"¹³.

De El Cairo trajo una singularísima condecoración, la Orden del Nilo en grado de Caballero, otorgada por el Rey Fuad I de Egipto¹⁵.

Desde entonces, fines de la década de los 20, y por dos períodos, hasta 1937, se desempeñó como profesor de Parasitología, tanto en la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia como en la Escuela Nacional de Veterinaria²⁵. Hizo historia entre sus alumnos por sus dotes como dibujante ambidiestro, por su discurso pedagógico, su entusiasmo sin límites, una extraordinaria capacidad de trabajo y un sugestivo apodo -*Estafilococo dorado*-²³. **Uribe Piedrahita** fue el perfecto ejemplo del *scholar*: docto, erudito, modesto y sabio de la vida, un intelectual sin reticencias, el hombre que había bailado sobre las cuerdas de todos los meridianos culturales¹³. Formó un singular equipo de trabajo con el entomólogo médico **Ernesto Osorno Mesa** y el cartógrafo y biólogo **Luis María Murillo**, quienes se llamaban a sí mismos los *Mosqueteros de las ciencias*¹⁶.

Entre los logros más brillantes de su entusiasmo en lo científico, pedagógico y administrativo, como pionero en cada actividad, en esos días **Uribe** logró la fundación del Departamento de Parasitología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia⁴², dirigió el Laboratorio Samper Martínez de Bogotá^{15, 25, 46}, creó el Laboratorio de Serología y el Serpentario e inició las labores contra la toxicomanía en Colombia^{10, 11, 37}.

En el año de 1929, apoyando las gestiones del Padre **Enrique Pérez Arbeláez** y en una de las alcobas de su propia residencia, **César Uribe Piedrahita** participó de la fundación del Herbario Nacional Colombiano, en el cual reunieron muchas de las especies por ellos recolectadas en sus expediciones botánicas por las selvas colombianas^{13, 14, 17}. Con frecuencia casi inverosímil, sus intereses científicos le llevaron al Caquetá, al Meta y a muchos otros de los llamados "territorios nacionales".

Dos años después, en 1931, editada por las Escuelas Salesianas de Tipografía y Fotgrabado, apareció su impecable traducción del alemán -en compañía del Doctor **Hermann Walde-Waldeg**- del libro *Arte monumental prehistórico* (*Excavaciones hechas en el Alto Magdalena y San Agustín - Comparación arqueológica con las manifestaciones artísticas de las demás culturas americanas*), obra del director del Museo Etnográfico de Berlín, el afromado Dr. Prof. **Konrad Theodor Preuss**¹⁸. Se trata de la única versión en español de este texto, un importante

hito en la bibliografía de la cultura agustiniana, que continúa siendo de imprescindible consulta.

Sus estudios de campo, sus intereses sociológicos y políticos, y sus contactos con las comunidades nativas, habían convertido a **Uribe Piedrahita** en una verdadera autoridad en el entonces novedoso tema del indigenismo. Precisamente, por aquel tiempo, fruto de sus innumerables expediciones, y como pionero de la Antropología nuestra, concluyó la redacción de sus estudios de las lenguas aborígenes de la Amazonia colombiana -Bora, Cabuyari y Teiuana (o Toinapa), Cocama y Carijona o Siona, de los ríos Yuri, Apaporis y Caquetá Medio-, que se encuentran en manuscritos originales en el Archivo de **Paul Rivet** en París, y acaban de ser publicados por la Universidad de los Andes¹⁹.

En 1932, el gobierno de **Enrique Olaya Herrera** le nombró Rector de la Universidad del Cauca, tarea que le trajo no pocos sinsabores, pero que le permitió poner en práctica muchas de sus novedosas y nobles ideas pedagógicas. A pesar de la resistencia de ciertos sectores de la conservadora y clerical sociedad payanesa, en una administración que sólo duró poco más de año y medio, logró hacer sustanciales cambios en la estructura interna de la institución; cambió el dogmatismo y el tradicional ambiente casi conventual por un estilo moderno y vivaz. Reformas que pusieron a la Universidad del Cauca a participar activamente en los nuevos rumbos que tomaba la vida nacional: estableció un sistema socrático de diálogos y con los estudiantes se reunía en los claustros, en los parques y en los cafés; rescató para los universitarios el mejor laboratorio que en ese 1932 había en el país; se ocupó de la gimnasia, de los deportes al aire libre y de los torneos espirituales; reorganizó el museo de piezas arqueológicas, dotó y actualizó la biblioteca y estimuló la investigación; fomentó las artes e inauguró las clases y exposiciones de pintura, cerámica y escultura; invitó a prestantes conferencistas nacionales y extranjeros a disertar sobre todos los temas imaginables; estableció las cátedras de higiene y de educación sexual, que eran prohibidas hasta entonces, y permitió la representación estudiantil en los consejos administrativos de la entidad. Y para cerrar con broche de oro, imitando a los quijotes de la música coral colombiana, los maestros **Antonio M^a Valencia** en Cali y **Pepe Bravo Márquez** en Medellín, **Uribe** formó un orfeón con el ánimo de poner un día a cantar a toda la capital caucana^{10, 11, 13, 15, 20, 21, 25, 30, 31, 32, 34}.

Aprovechando su permanencia en Popayán como conductor de los destinos de la Universidad, en abril de 1932 comandó una excursión científica al cráter del Puracé, en

compañía de varios amigos: **Hubach y Alvarado**, geólogos, **Guillermo León Valencia**, **Manuel Paz**, **Carlos Gardner de la Cuesta**, **Miguel Tobar** y **Enrique Uribe White**. En esta expedición, en la que **César Uribe Piedrahita** ofició como jefe, médico, fotógrafo y arqueólogo, se recolectaron rocas, plantas y pequeñas especies animales; él mismo tomó varios apuntes a lápiz y filmó una película sobre la expedición y la actividad del volcán, que fue exhibida públicamente, a beneficio del Paraninfo universitario²².

No se puede olvidar que uno de los hechos más trascendentes de la vida de **César Uribe** ocurrió en ese tiempo y lugar. Allí se fraguó *Toá*: En 1933, en *Coconuco* -la vieja hacienda del General Mosquera, en las faldas del Puracé- escribió -en apenas 15 días y sin diccionario¹¹- la novela con nombre de mujer indígena. Esta, su primer ensayo serio en el campo de las letras, apareció publicada en Manizales por el editor **Arturo Zapata**, prologada por el entonces joven intelectual **Antonio García e ilustrada por Arturo Aragón**, **Alberto Arango Uribe** y el propio autor [2]. En el relato, pletórico de un indiscutible valor literario y de manera autobiográfica, **Uribe** narra muchas de sus vivencias en las selvas caucheras del sur de Colombia^{10, 24}.

Luego de su experiencia en la capital caucana, **Uribe Piedrahita** volvió a Bogotá, frustrados muchos de sus planes educativos, para reasumir en 1934 la cátedra de Parasitología. Sus increíbles dotes como maestro siguieron haciendo historia. En palabras del Dr. **Hernando Groot**, uno de sus discípulos de entonces y luego su amigo y compañero de intereses, hoy Vicepresidente de la Academia Colombiana de Ciencias...

"Se decía que era un profesor genial pero muy exigente (...) No fue poca mi sorpresa al encontrar un hombre cariñoso y afable que nos hablaba de amibas y anquilostomas apenas como unos elementos de las enfermedades de la miseria, de la falta de educación, del agua contaminada, de la carencia de calzado, todo salpicado de anécdotas y de recuerdos de sus viajes por las selvas amazónicas, por el Africa, por el Cercano Oriente, enriqueciendo sus presentaciones con dibujos que llenaban el tablero en una sucesión increíble de vividas imágenes. Nos enseñó a no avergonzarnos por decir 'no sé' cuando algo ignorábamos, y trató de fomentar siempre en nosotros una actitud inquisitiva o de duda, según el caso. Se preocupó por hacernos él mismo las demostraciones de los parásitos y, cuando se hacía necesario, nos llevaba a su modesto laboratorio particular para enseñarnos técnicas imposibles de desarrollar en las instala-

ciones de la Facultad. Nos inculcó el valor de la medicina preventiva y la necesidad de estudiar tanto al paciente como su entorno y de estudiarlos bien. '*No quiero que sean médicos sólo de pulso, lengua y sulfato*' -nos decía-, y fue el primer profesor que nos señaló: '*el médico cura unas pocas veces, mejora otras, pero consuela siempre*'"²⁵.

Tras su regreso, **Uribe** fue asiduo participante de todas las reuniones y tertulias que convocaban los intelectuales y la culta bohemia santafereña de esos años. En el famoso *Café Windsor*, se daban cita las más disímiles personalidades de la política, la literatura y el periodismo: los dos **Zalameas -Jorge y Eduardo-**, los dos **De Greiff -León y Otto-**, **Umaña Bernal**, **Gilberto Owen**, **Eduardo Caballero Calderón**, **Juan Lozano y Lozano**, **Uribe Prada** y **Edgardo Salazar Santacoloma**¹³, entre otros. Allí se corroboró su fama de extraordinario conversador y contertulio^{15, 28}.

Incansable, no dejó de trabajar en todo. Como ya se mencionó, en 1934 había establecido un pequeño Laboratorio Clínico, base de lo que serían luego los **Laboratorios CUP**. Un fragmento de su novela en preparación -en realidad, el segundo capítulo, denominado *El pozo # 16*- se conoció ese año en la revista *Acción Liberal* [3]. Desde esos días y por varios años, de manera entusiasta y a instancias de sus amigos en todas las disciplinas, **César Uribe Piedrahita** colaboró con dos publicaciones periódicas que hicieron historia en la vida cultural del país: *Pan y Revista de las Indias*. En ellas se dieron a conocer sus textos literarios y varios artículos sobre indigenismo y divulgación artística, fuera de reproducciones de sus xilografías y dibujos.

En junio de 1935, anunciada como "antiimperialista", apareció *Mancha de aceite* [4]: Su segunda novela fue publicada en Bogotá por la Editorial Renacimiento, con ilustraciones del pintor **Gonzalo Ariza**. En esta obra, también de forma autobiográfica, **César Uribe** rememora sus aventuras en el Lago de Maracaibo, cuando estuvo vinculado a las compañías petroleras multinacionales que explotaban inmisericordemente a la población campesina venezolana.

En los primeros días de agosto del mismo año, bajo los auspicios de la Dirección Nacional de Higiene, **Uribe Piedrahita** realizó otra singular expedición -esta vez al norte del país-. Varias horas, en diferentes días, a bordo de un avión oficial, acompañado por el fotógrafo **Lasché**, el ingeniero y editor **Enrique Uribe White** y los doctores **Simón Medina** y **Enrique Hubach**, efectuó un vuelo sobre picos y cañadas, nieves y nubes de la Sierra Neva-

da de los *Taironas* (o de Santa Marta, como se conoce hoy), con el objeto de determinar un sitio apropiado para la erección de un Sanatorio "moderno -al estilo europeo". Aquellos abruptos parajes ya habían sido visitados, quizás con la misma intención, hacia 1855, por el geógrafo francés *Elisée Reclus*^{26, 27}.

En el mes de septiembre, en el segundo número de la revista *Pan*, aparecieron algunas xilografías suyas, con el nombre de *Maderas*, en las que recrea varios paisajes de *Coconuco*, aquella hacienda cercana a Popayán en la que se refugió para escribir *Toá*. Era un maestro del buril y consideraba el grabado como la cima de su expresión artística [5].

Durante el año de 1936 se editaron dos textos de Uribe sobre temas indígenas. Así, en la *Revista de las Indias*, *Contribución al estudio del arte Quimbaya*, ilustrado con 36 dibujos propios a color [8], y, en la revista *Pan*, el breve artículo *Teotl en Santa Marta*, fruto de sus pesquisas arqueológicas en la costa del Atlántico [6]. También, en la novena entrega de *Pan* -que animaba su amigo Enrique Uribe White-, se publicó el capítulo inicial de su inconclusa e innovadora novela *Caribe*, anunciada como un libro de aventuras. El segundo capítulo, profusamente ilustrado, aparecería también allí, en el número 15, varios meses después [7].

En julio de 1937, siguiendo el modelo de la española y de otras que funcionaban en Latinoamérica, se instala oficialmente la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, entidad creada desde 1933 y reglamentada definitivamente tres años después, por parte del gobierno de Alfonso López Pumarejo. Uno de los doce académicos de número que iniciaron labores, fue César Uribe Piedrahita, como integrante de la *Sección de Ciencias Físicas*, y posteriormente, en 1936, fue uno de los quince Miembros de Número Fundadores de la magna institución, junto a otros tres médicos que desarrollaban trabajos en epidemiología y microbiología -los doctores Calixto Torres Umaña, Luis Cuervo Márquez y Federico Lleras Acosta-²⁹.

También en el año 1937 se llevó a cabo la creación de la que fuera su más grande realización científica y social: los *Laboratorios de Investigación Científica César Uribe Piedrahita (CUP)*, dedicados a la elaboración y síntesis de productos biológicos, químicos y farmacéuticos; entidad pionera de lo que después se conocería como biotecnología; allí se trabajó en la fabricación de medicamentos genéricos, vacunas, sueros y fármacos naturales, éticos y baratos de gran aceptación entre los colombianos. Como en una familia, entre los socios fundadores

figuraron César y su esposa, el doctor Carlos Uribe Lince, su cuñado, y el doctor Efraín Salazar Silva, uno de sus mejores amigos y colaboradores; como agente de ventas, su hermano Emilio, y como su suplente en la directiva, su hermano Luis. Esta empresa, basada exclusivamente en materias primas nacionales, aunque no llegó a ser "una de las más prósperas en todo el país" -como se afirmó en alguna publicación de la época-, fue reconocida mundialmente por la seriedad de sus investigaciones y por la solvencia moral y científica de sus directores. En los *Laboratorios CUP Uribe* creó el "Instituto de la Puerta Abierta", lugar propicio para los estudiantes dispuestos que desearan hacer libre y seriamente investigaciones tendientes a tesis de grado. Muchas de ellas, guiadas por el propio director, se internaron en el campo de la Medicina Tropical^{13, 14, 16, 21, 24, 25, 33, 34, 42, 48}.

En enero de 1938 volvió a su Alma Mater, con la publicación de un texto en la *Revista Universidad de Antioquia*: Se trata de varios terrígenos y críticos *Comentarios a "Un repique insonoro"* [9], en los que contraría una "andana puritanista" del doctor Alonso Restrepo M., quien se había aventurado con torpeza, en la misma publicación, a denigrar, entre otras cosas, de la pintura mural de Pedro Nel Gómez. En octubre del mismo año apareció en la revista *Pan* el discurso que Uribe Piedrahita pronunció en la apertura de la exposición del pintor antioqueño Carlos Correa, en el Edificio de la Sociedad Colombiana de Ingenieros [10]. Conocidas sus dotes artísticas, su conocimiento profundo de la estética, su convicción por las nuevas expresiones plásticas y su renombre en todas las esferas, fue escogido para *presentar en sociedad* al *Pintor de la vida*, discípulo del Gómez recién defendido, a quien, curiosamente, también había presentado al comenzar su meritoria carrera.

En mayo de 1939 se publicó en la *Revista de las Indias*, el texto *Pesca de perlas*, considerado el tercer capítulo de la novela *Caribe* [7]; igualmente apareció el interesante artículo *Estudios Indígenas* -con 28 ilustraciones suyas sobre arte aborigen colombiano- en la *Revista de la Universidad de Antioquia* [11]. En julio de ese mismo año comenzó a editarse, en *Pan*, *Sebastián de las Gracias* [12], su versión literaria y trunca del cuento clásico de la tradición oral antioqueña.

En el año de 1940, Uribe participó en dos certámenes de relieve internacional: el Primer Congreso Indigenista Interamericano, efectuado hacia el mes de abril en Pátzcuaro (México) -en donde su ponencia fue ampliamente reconocida y publicada-, y el Octavo Congreso Científico Americano, celebrado a mediados de mayo en Washington.

En 1942, publicó el primer número de *Laboratorio*, revista de los Laboratorios CUP, S.A. (38), en la cual dió rienda suelta a su imaginación comunicadora, llevando a todo el cuerpo médico colombiano los más disímiles textos -allí se habló de arte, de indigenismo, de avances técnicos, de eventos nacionales e internacionales y de medicina popular, científica y aborígen, en medio de gran profusión de fotografías, grabados, acuarelas e ilustraciones varias de los más importantes artistas del país, todos amigos suyos-. Esta publicación sobrevivió hasta el número 31, diez años después de su creación [13].

En noviembre del mismo 1942, con un claro juicio de su valor literario, la compañía Espasa-Calpe Argentina S. A. incluyó la novela *Todá* como el # 314 de su Colección Austral. Meses después, en 1943 dictó varias conferencias en algunas ciudades ecuatorianas²¹ -fruto de esa estadía, tres años después editaría el cuaderno de *Viñetas del Ecuador*-.

Artista consumado, César Uribe Piedrahita dedicó mucho de su tiempo libre -"trabajo dominical"²⁵- al cultivo de la acuarela, vivió muy joven su propia *época azul* y recibió siempre elogios por parte de sus contemporáneos. Poseedor de las bases técnicas, los fundamentos humanísticos, la sensibilidad a flor de piel y la conocida preferencia por las modernas tendencias, pintó siempre dentro de los límites de la tradición -bodegones, paisajes, flores y muñecos-. En su círculo de amigos íntimos se contaron artistas de la talla de Ricardo Rendón Bravo, Alberto Arango Uribe, Pedro Nel Gómez, Carlos Correa, Débora Arango, Oswaldo Guayasamín, Gonzalo Ariza, José Posada Echeverri, Eladio Vélez, Ignacio Gómez Jaramillo, Pepe Mexía, Rodrigo Arenas Betancur y Eduardo Ramírez Villamizar, entre muchos otros-.

A pesar de que sus intereses estéticos ya se habían mostrado años atrás, con la publicación de varios artículos de crítica y la organización de otras exposiciones -así, por ejemplo, la de caricaturas y dibujos de su amigo Rendón, en la capital en 1930-, el público se sorprendió muy gratamente con la aparición de sus acuarelas. Se recuerdan especialmente dos exposiciones individuales: Una a fines de 1943, en el Club Médico de Bogotá, llamada *Paisajes, flores, árboles y frutas*; y otra, entre febrero y marzo de 1945, para celebrar sus Bodas de Plata en la profesión, también en el Club Médico, llamada *Muñecos*. Ambos eventos artísticos fueron comentados en la *Revista de las Indias* por Walter Engel, pionero de la crítica en nuestro país, y el último por el maestro Ariza en un periódico local³⁶. En agosto de este último año, parti-

cipó también en la exposición colectiva de acuarelas que tuvo lugar en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional, junto con Jaime Ibáñez y Eduardo Ramírez Villamizar³⁷.

En 1945 Uribe Piedrahita fue nombrado Agregado Cultural de la Legación de Colombia ante el gobierno del Kremlin, pero la Cancillería le canceló el nombramiento a su paso por New York rumbo a Moscú^{30, 40}. Dos años antes, había hecho parte -con León de Greiff, Baldomero Sanín Cano, Germán Arciniegas, Gerardo Molina, Ignacio Gómez Jaramillo y Marcos Ospina, entre otros- del grupo de intelectuales que fundó el Instituto Colombo-Soviético.

Infortunadamente, el 9 de abril de 1948, las instalaciones de los Laboratorios CUP fueron incendiadas durante los violentos incidentes de "El Bogotazo", perdiéndose para siempre las inestimables colecciones de pintura y de arte indígena, de plantas y animales, las incontables notas de proyectos científicos, artículos y ensayos literarios, y su magnífica biblioteca⁴. A pesar de la inmensa tragedia económica y personal, César Uribe continuó su lucha vital, estimulado por su esposa, su cuñado y sus amigos, recuperó parte del material perdido, y, conservando su "fe en el pueblo colombiano", intentó reconstruir su empresa y persistió editando *Laboratorio*^{15, 21, 34, 46}.

Sin embargo, aunque en un principio tenía posibilidades de reconstruir el laboratorio con recursos propios, Uribe se vio obligado a vender buena parte de sus derechos a una compañía comercial que conservó el ya prestigioso nombre de CUP y lo nombró Director Científico, en un cargo desprovisto de poder e independencia. Presionado, en el que fuera otrora su propio laboratorio, suspendió algunas de sus investigaciones y se vio obligado a trasladar sus animales de experimentación al Instituto Carlos Finlay para seguirlos estudiando allí²⁵.

Decepcionado, deprimido y desplazado, Uribe Piedrahita se trasladó a Villavicencio, para trabajar como asesor del "Instituto de Enfermedades Tropicales Roberto Franco" del Ministerio de Higiene. Pero, tristemente otra vez, tuvo que interrumpir sus estudios por razón de la violencia política que se apoderó del Llano²⁵.

Por varios meses, entre 1950 y 1951, volvió a los Estados Unidos, esta vez con el fin de someterse a un tratamiento más completo para su enfermedad, una pequeña lesión carcinomatosa en la parte posterior de la lengua. Se residió en el Hotel Collingwood de New York, y se trató con éxito en el Cancer Memorial Institute de esa ciudad.

A su regreso, presentó serios problemas hepáticos, y con el ánimo desecho, entre otras cosas por la imposibilidad de desarrollar planes científicos de su gusto, entró en una depresión que lo llevó a seguir consumiendo alcohol y a rehusar cualquier clase de alimento. En esas circunstancias se extinguió su vida.

César Uribe Piedrahita falleció en Bogotá el 17 de diciembre de 1951. Sus restos mortales fueron trasladados y sepultados en Medellín, en medio de la conmoción general de todo el país... [Actualmente, reposan en el Cementerio de San Pedro, en una de las bóvedas de la familia Uribe Lince].

La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por resolución oficial, lamentó su desaparición, señaló su vida como un ejemplo de la máxima dedicación científica y cultural, y prometió publicar una reseña de sus trabajos como homenaje a su memoria. Su silla fue ocupada por el profesor **Clemente Garavito Baraya**.

Años más tarde, como recuerdo de su labor en esa región, el Hospital de Cauca (Antioquia) recibió su nombre... De igual manera, como un perenne homenaje, con su nombre se bautizaron los Premios Nacionales de Novela, Cuento y Poesía de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia, su amada Alma Mater.

Sus inquietudes intelectuales y sus ansias de aventura científica lo animaron toda la vida: Estudió *in situ* tanto los Llanos Orientales, como las selvas del sur del país; el Darién, el río Porce y la hoya del Bajo Cauca -de Puerto Valdivia hasta la desembocadura del río Man- en su natal Antioquia; la jungla chocoana y la costa del Pacífico; la Sierra Nevada de Santa Marta y el desierto de la Guajira; la cuenca del río Magdalena, la región esmeraldífera de Muzo en Boyacá y la Serranía del Duda -hoy la Macarena- en el Meta^{28, 30, 34, 46}. Siempre compartiendo sus experiencias, aprendiendo con los aborígenes y estudiando sus enfermedades. Como pocos colombianos, **Uribe Piedrahita** conoció y amó los hasta ese momento extensos territorios vírgenes de nuestra patria.

Eterno viajero, estudiante insaciable, verdadero políglota, al final de sus días ya había recorrido también prácticamente el mundo entero, pero no como turista: Conoció todos los continentes ofreciendo conferencias para los médicos y estudiantes de medicina, viviendo las más raras aventuras y dedicando jornadas enteras al estudio de sus parasitosis y endemias tropicales³⁴.

Necesario es consignar que la tradición familiar y de amigos ha recogido de **César Uribe Piedrahita** varios

episodios vitales, contados en anécdotas que poseen más tintes de novela que de realidad. Pareciendo una mezcla de hechos verdaderos y de exagerados, de verdades a medias y de hechos completamente falsos, se traen a continuación, indicando la fuente consultada y haciendo algunos comentarios pertinentes:

Cuando hacia 1910, con sólo 13 años de edad, **Uribe Piedrahita** enfrentó la que sería su primera aventura literaria: la *traducción* de algunos poemas del escritor portugués **Teixeira de Pascoaes**, portavoz del *saudosismo*³⁴ -poemas y traducciones aún no hallados-. O cuando, en sus tiempos de estudiante pobre en la Universidad de Harvard, tenía que forrarse el cuerpo en papel periódico a la llegada del invierno, porque carecía de dinero para comprarse un abrigo²¹. O cuando convivió con los rebeldes venezolanos que quisieron derrocar al dictador **Juan Vicente Gómez**, sufragó dinero para la adquisición de armas, él mismo las transportó en una noche de tempestad entre la Guajira y Curaçao^{11, 14} y apresó al general **Víctor Araújo**^{13, 21}. O cuando fue secuestrado en Egipto por tropas alemanas y debió atender al mariscal **Erwin Rommel**, enfermo de paludismo cerebral en el desierto africano, y éste, recuperado y como agradecimiento, le obsequió dos bellísimas dagas de grande y noble historia, hoy en poder del ortopedista **Carlos Uribe Vélez**, quien las recibió de su padre, el Dr. **Carlos Uribe Lince**, cuñado de César⁴⁴. O cuando penetró, en el Continente Negro, hasta Bar-El-Gazad, límite del llamado *cinturón de la mosca tsé-tsé*^{34, 40}. O cuando en Jartum, la capital de Sudán, en inmediaciones de la confluencia del Nilo Blanco y el Nilo Azul, trabajó en una Escuela de Medicina Tropical donde encontró viejos colegas y condiscípulos^{34, 40}. O cuando viajaba por el interior del Africa, investigando la llamada *Enfermedad del sueño*, y en El Camerún corrió serio peligro, al verse entre dos fuegos en una guerra de tribus¹⁴. O cuando remontó El Nilo y fue apresado en El Cairo porque lo tomaron por conspirador, en tiempos del después destronado **Faruk**¹⁴. O cuando estudió la leishmaniasis en Siria¹¹. O cuando fue conducido a una cárcel en Estambul por defender a un marino persa, ignoto, ebrio, que era maltratado por un gendarme³⁴. O cuando preparó el primer suero antiofidico en Colombia¹⁶ y experimentó exitosamente en uno de sus sobrinos lo que hoy es conocido como el suero de rehidratación oral³. O cuando el entonces alcalde **Diego Montaña Cuéllar** lo nombró Director del Instituto de Higiene de Bogotá y su administración duró apenas 13 días, siendo muy sonado el decreto mediante el cual se obligaba a las iglesias a tener servicios sanitarios como todo lugar público, so pena de cerrarlas⁴⁴. O cuando fue elegido Representante a la Cámara, fruto de los votos del Movimiento Estudiantil Universitario^{11, 40, 46}. O cuando escribió los temas musicales de

los Boras, Sionas y Huitotos de la Amazonia, e hizo su excursión científica al Caquetá y despertó los ecos del Ortegua, por primera vez, con el motor de su canoa¹¹. O cuando organizó el restaurante universitario -en el que ensayó sus propias recetas-, donde las damitas payanesas podían reunirse en sanas tertulias con los estudiantes². O cuando, en sus viajes al conocimiento de las culturas del mundo, bebió *kirsch* en Sidney con un calmuco, un griego y un hotentote; o comió hígado de hirco en el Cabo de Buena Esperanza con un Lama del Tibet y un pastuso³⁸; o bebió *yagé* con los aborígenes amazónicos o fumó el *hashish* en los oasis del Yaryum¹¹. O cuando fue nombrado Decano de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia -cargo que declinó con pesadumbre, por circunstancias que no se conocen-, atendió las necesidades de textos de enseñanza en el salón de lectura de la Biblioteca Médica de su Alma Mater, y donó con su nombre una beca que funcionó varios años³⁹. O cuando cultivó, como pionero, varias desconocidas frutas amazónicas en su finca de Sasaima, la misma donde tenía un inmenso acuario y un cuarto que más parecía el camarote de un barco, su propio barco en tierra, en el cual oficiaba como capitán, con gorra y todo^{9, 34}. O cuando, al final de sus días, vivió en el convento del *Ecce homo*, vistió sayal y anduvo metido en la clausura de los monjes, dibujando y pintando³⁸... Muchas, incontables son las anécdotas y experiencias inverosímiles que sobre él cuentan sus allegados y escribieron sus amigos y contemporáneos.

En medio de las innumerables frases de admiración de todos, modesto y sencillo como nadie, sólo aceptaba el título de maestro en minúscula y en son de camaradería... Era un filósofo de la vida:

"Prefiero ser un simple maestro de escuela, o un cultivador de orquídeas, a ser 'profesor'... Y por sobre todo, me gusta, lisa y llanamente, mi verdadero nombre, el que me dan mis amigos: El Mono Uribe. Pas plus (...) No pienso jamás en la chequera ni me acuerdo de las fechas"³⁴.

2. César Uribe Piedrahita, como científico, médico e investigador

Las palabras del profesor **Carlos Eduardo Vasco Uribe**, Presidente de la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo, sobrino de **Uribe Piedrahita** y, de alguna forma, su heredero como catedrático en Harvard University y como Miembro de la Academia Colombiana de Ciencias, nos sirven para introducir este segundo capítulo:

"En Colombia, es difícil encontrar, antes de **César Uribe Piedrahita**, a alguien que combinara como

él y con tal éxito, el estudio antropológico -de los indígenas, de la medicina naturista, de tipo tradicional, de los animales y plantas-, con los estudios científicos -de laboratorio, de análisis químico, de experimentación rigurosa-, de manera igualmente sistemática"⁹.

En septiembre de 1918, quizás cumpliendo con un requisito académico en el área de la cirugía, apareció el primer trabajo científico publicado de **Uribe Piedrahita**, a manera de revisión de un caso. Se trata de un artículo titulado *Celiotomía*, incluido en la *Sección Clínica Quirúrgica* de la *Revista Clínica* de Medellín, informativo del gremio médico antioqueño para el país y el mundo, que dirigían los doctores **Gil J. Gil** y **Juan Bautista Montoya y Flórez** (1).

En 1920, como se mencionó antes, se editó en la Tipografía Industrial de Medellín su tesis de grado *Apuntes para la Geografía Médica del Ferrocarril de Urabá*, fruto de sus experiencias como médico de una comisión de ingenieros en el Darién antioqueño. Ilustrado con 26 dibujos originales y una fotografía, según su profesor y presidente de tesis, el doctor **Gabriel J. Toro Villa**, este trabajo es de una capital importancia...

"tanto por el desarrollo no remoto que alcanzará la región objeto de estudio, cuanto porque es el primer capítulo de la Geografía Médica del Departamento de Antioquia, todavía no escrita, digno de figurar con brillo al lado de las obras de los doctores Cuervo Márquez y Robledo, únicas aparecidas entre nosotros (...) En los cuatro capítulos en los que el autor divide este importante trabajo, hace un estudio muy completo de los parásitos y animales *vulnerantes* de aquellas localidades, con descripción, clasificación e interés patológico; estudia con sagacidad e ilustración clínica las enfermedades que pudo observar como dominantes allá, prestándole especial atención a las *bubas* que tan interesantes son en nuestras tierras calientes, y como asunto novedoso de gran mérito, que bastaría para dar a la tesis el toque de originalidad generalmente ausente en trabajos de esta índole, realiza una investigación personal sobre el veneno *Niaara*, que usan los indios Catíos para emponzoñar sus flechas, con análisis químico y acción fisiológica incluidas, a pesar de los escasos o nulos métodos de investigación de los que se disponen. **Uribe Piedrahita**, al presentar bien clasificado el conjunto de observaciones personales en la selva, se apartó de la rutina -que en este caso es una forma de pereza intelectual- común entre los estudiantes de medicina,

que eligen para su tesis de grado asuntos que les soliciten la menor cantidad de trabajo posible, limitándose unas veces a hacer labor de simples bibliógrafos y a preconizar métodos y técnicas quirúrgicas *ad referendum*" (2) (40)⁴⁷.

Durante la temporada de residencia en Boston, vinculado al Departamento de Patología Comparada de la Escuela de Medicina de Harvard, bajo el patrocinio de la Fundación George Fabyan, varios trabajos de Uribe fueron publicados. Así, profusamente ilustrados por el propio autor, se han encontrado dos de sus textos, sobre observaciones de parásitos en el pollo, aparecidos en *The Journal of Parasitology*, editado por la prestigiosa institución (3) (4)⁴⁷.

Posteriormente, y como producto de sus labores como jefe de investigación del Beacon Sun Hospital Laboratory, en Valera (Venezuela), entre 1925 y 1926 se publicaron varios estudios en el campo de la parasitología y la microbiología, en los que se consignan sus novedosas descripciones, hallazgos de laboratorio y trabajos de campo en la región noroccidental del vecino país, igualmente ilustrados con dibujos del autor. Así, sobre dos xiphidocercarias parásitas de renacuajos y pececillos -las denominadas *Cercaria reptans* y *Cercaria fausti*- (5), sobre una nueva especie de critidia -flagelado parásito de reduvídeos, a la que llama *Crithidia ortheae*- (7) y sobre un nuevo invertebrado huésped de tripanosomas que identifica como *Apiomerus pilipes* (8). Asimismo, escribió sobre la división nuclear en los trofozoitos de la ameba (9), y apareció una muy completa monografía del insecto llamado comúnmente *chipo*, *chinche de monte*, *chupón* o *pito*, reduvídeo hematófago comprometido en la transmisión de la tripanosomiasis sudamericana o *Enfermedad de Chagas* (10)⁴⁷.

Acá es necesario mencionar un curioso texto de César Uribe de esa época. Está escrito junto a E. P. De Bellard, sobre la paraadenitis inguinal subaguda, y llama la atención por ser su primer trabajo en colaboración, por aparecer en una publicación científica en castellano y por estar dividido en cinco segmentos (6).

Nuevamente vinculado a Harvard, en colaboración con el profesor Donald Leslie Augustine, en el Departamento de Patología Comparada de la Facultad de Medicina y la Escuela de Salud Pública, realizó y publicó en la revista londinense *Parasitology* -Suplemento a *The Journal of Hygiene*-, sus estudios de un tremátodo del intestino de un zorro -parásito al que denominan *Alaria arisaemoides*- (11)⁴⁷. También dedicó su esfuerzo científico a estudiar estructuras nucleares y la patología de otras enfermeda-

des dermatológicas del trópico, colaboró con el profesor Edward Ernest Tyzzer y sus asociados en trabajos de anatomía microscópica de algunos tremátodos e investigó algunas de las acciones de los barbitúricos¹¹.

A fines de 1929, ya en el país y cuando fue Profesor de Parasitología de la Universidad Nacional y de la Escuela Nacional de Veterinaria, Uribe Piedrahita presentó a la Sociedad Médico-Quirúrgica de los Hospitales sendos estudios pioneros en Colombia: uno sobre las tripanosomiasis de los equídeos y sus diferentes manifestaciones clínicas -las llamadas localmente *Renguera* y *Secadera*- (12), y otro sobre el hallazgo en su laboratorio de las formas de evolución del *Trypanosoma cruzi* en el intestino del *pito* (13)⁴⁷. Ambos artículos, ilustrados por el propio autor, fueron publicados por esa institución científica en su órgano de difusión y posteriormente editados en separata.

Entre 1930 y 1931 aparecieron algunas contribuciones suyas sobre diferentes temáticas científicas en la *Revista Médica de Colombia*, a la cual se vinculó desde sus comienzos. Así, en el primer número de esta nueva publicación científica hace un comentario sobre la edición del libro *Mycological Explorations of Colombia* del Departamento de Agricultura de Puerto Rico, en el cual se divulgan los estudios de hongos hechos en Colombia por los señores Carlos E. Chardon y Rafael A. Toro (14); dividido en cuatro números, se publicó su voluminoso texto sobre el metabolismo basal (15); escribe el editorial de la octava edición, sobre la fundación de la Facultad de Ciencias Naturales del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario en Bogotá (16), y en el número once sale a la luz pública otro estudio pionero y de trascendental importancia en la economía del país, sobre la infección del ganado bovino colombiano por el *Trypanosoma vivax*, donde sugiere la posibilidad de que los tábanos actúen como vectores y de que la enfermedad se haya importado al país junto con el ganado cebú en las sabanas de la costa caribeña (17)⁴⁷.

Asimismo, a principios de los años 30, en compañía del doctor Federico Lleras Acosta, primer bacteriólogo del país, César Uribe aplicó con resultados satisfactorios el llamado el método d'Harelle en las poblaciones cundinamarquesas de Guaduas y Tocaima. El método consiste en el cultivo de un cocobacilo en gran escala, para la erradicación de una plaga de langostas migratorias que estaban devastando las cosechas del lugar¹⁰.

En julio de 1936, un breve artículo suyo sobre la carencia de dos aminoácidos en la aparición de la úlcera péptica, a manera de revisión, se publicó en el *Boletín*

Clinico de Medellín (18). Es el único texto médico de la época, en medio de muchos otros sobre distintos tópicos de su febril actividad intelectual.

En abril de 1940 hizo la presentación de la ponencia *Esquema para un estudio de la patología indígena en Colombia* en el Primer Congreso Indigenista Interamericano, llevado a cabo en la ciudad mejicana de Pátzcuaro, Michoacán⁴⁷. Este texto -reconocido en el evento como una de las más interesantes obras originales presentadas- es publicado en la revista *América Indígena*, órgano oficial de esta institución, en enero de 1941. Sobre este trabajo escribe el autor:

"Está basado en el conocimiento personal de muchas de las tribus salvajes y semisalvajes que aún viven en el territorio de Colombia. No pretendemos establecer la noción de una patología independiente y autóctona, ni presentar un estudio extenso, ya que las entidades mórbidas que se conocen entre nuestros indígenas pertenecen al dominio de la Medicina Universal, y en especial a la de las zonas tropicales. Esta síntesis de nuestras observaciones, venía mandándose para la formación de una obra más completa y extensa, pero debido a las características amplísimas del programa de este Congreso, hemos resuelto presentarla como un derrotero para investigaciones más profundas y detalladas sobre Antropología, Etnología, Nutrición y Metabolismo, etc., de las agrupaciones que aún existen en Colombia y en las cuales pueda descontarse el mestizaje y la contaminación extraña. Desgraciadamente, las relaciones más o menos directas con razas extranjeras, han modificado profundamente la estructura social y somática de nuestros aborígenes y sólo dos grupos -el de los Motilones en el nordeste de Colombia, y el de los Tetetes, entre los ríos Caquetá y Putumayo- permanecen intactos, pero completamente desconocidos (...) La malaria, el parasitismo intestinal, la sífilis y las enfermedades por carencia y tóxicos dominan el cuadro patológico de nuestros grupos indígenas y semi-salvajes (...)"

En esta ponencia hay tanto de un gran rigor científico, como de una profunda sensibilidad y afecto hacia la población más discriminada y desprotegida de la nación en toda su historia (19).

En 1944 César Uribe Piedrahita publicó en su revista *Laboratorio* su breve artículo *El arte indígena como documento médico*, en el cual reúne tres de sus grandes pasiones y opciones de vida: la del artista, la del indigenista y la del médico. Y anunció, en una edición especial, como siempre ilustrada por él mismo, el hallaz-

go de una nueva especie de tremátodo larvario, una cistocercaria de la Sabana de Bogotá, a la que denomina *C. usaquenensis* n. sp (20)⁴⁷.

En 1945 apareció en la *Revista de la Universidad Nacional*, escrito en colaboración con el Dr. Kalman Mezey, el primer estudio farmacodinámico sobre el *Niaara* -aquel veneno de flechas que había conocido en el Darién antioqueño en sus años de estudiante-, del que se concluye que tiene acciones semejantes a los digitálicos (21). Ampliado notablemente e ilustrado con dibujos y gráficas, un texto sobre el mismo asunto fue editado al año siguiente en los *Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá* (22). En estos artículos se analizan las propiedades químicas de la sustancia, se describen sus efectos y se anuncian sus bondades terapéuticas⁴⁷.

Entre 1947 y 1948 fueron publicados cinco artículos de Uribe sobre parásitos de animales de la región de los Llanos Orientales en la revista *Caldasia*, otra vez profusamente ilustrados por él mismo, y los cuales se recogieron bajo el nombre general de *Contribuciones al estudio de la Parasitología en Colombia*: en el texto inicial destaca el papel patógeno del primer myxobólido que se describía en el país, un parásito de la vesícula biliar de la rana *palmipes* (23); en el segundo, describe un parásito del intestino de un lagarto del género *Anolis* (24); en el tercer artículo trae las observaciones y nuevos conocimientos de un tremátodo parásito del yeyuno, y sus relaciones con su huésped, un ave acuática tropical conocida en Colombia como *tara* o *coclito negro* (25); en el cuarto, se refiere al trofozoito y al ciclo vital de un protozooario parásito de varios lagartos (26), y en el quinto, anota la presencia de otro tremátodo parásito del pulmón o saco aéreo de la misma rana *palmipes* (27)⁴⁷.

Volviendo rigurosamente sobre un tema que le absorbió desde la juventud, en 1948 y 1949, en brillante exposición ante la comunidad científica mundial, publicó en sendas revistas especializadas de los Estados Unidos y de España -*The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics* y *Farmacoterapia Actual*-, y en colaboración con los doctores Mezey, Pataki y Huertas Lozano, otro interesante artículo sobre las propiedades terapéuticas en humanos de un glucósido cardioactivo aislado del látex del *niaara*, al que llamaron la *niaarina* (28) (29)⁴⁷.

En 1950, reproducido en varias revistas científicas del país, Uribe Piedrahita publicó su extenso trabajo sobre las tripanosomiasis en Colombia, realizado en compañía de los doctores Rengifo Salcedo y Groot, sus más destacados discípulos. Fue adelantado en la ciudad de Villavicencio, en el "Instituto de Enfermedades Tropa-

les Roberto Franco", del Ministerio de Higiene, en colaboración con el Laboratorio de Higiene del Ejército, y presentado a la Academia Nacional de Medicina de Bogotá en una de sus sesiones a fines de 1949. Este texto está integrado por tres artículos: el primero, *Nota preliminar sobre un tripanosoma humano del valle del río Ariari (intendencia nacional del Meta)*, anuncia al mundo científico el reciente descubrimiento del agente causante de una nueva tripanosomiasis humana en América, distinto al *T. cruzi* y al *T. rangeli* -al que llaman *T. ariarii* y que se convierte en objeto de estudios y publicaciones nacionales e internacionales durante ese año y el siguiente-; los otros dos artículos, *Tripanosomas de artrópodos* y *Tripanosomas de vertebrados*, son ejemplares de erudición científica y rigurosa labor investigativa (30)⁴⁷.

También en 1950, la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* publicó su voluminoso artículo sobre los tremátodos larvarios del país, texto que fue ilustrado con gran cantidad de planchas con fotografías y dibujos del autor. Como en una despedida, en la introducción a éste, su último trabajo en solitario, **Uribe Piedrahita** presenta una mínima parte de sus estudios sobre el tema. Trae, además, una serie de comentarios que consideramos de gran interés humano e histórico -apenas se ha recuperado de la tragedia ocurrida el 9 de abril de 1948-, por lo que se reproduce en su integridad:

"Con la intención de coleccionar y estudiar los posibles hospederos de parásitos del hombre y de los animales domésticos, que puedan amenazar, directa o indirectamente a nuestro país, emprendimos estos estudios que apenas están bosquejados. (...) Afortunadamente se salvaron del incendio parte de nuestros trabajos y los protocolos enviados al cuidado del Prof. J. C. Bequaert, del Museo de Zoología Comparada del Harvard College, Cambridge, Massachusetts. El profesor Bequaert clasificó los moluscos que le enviamos. Como la vecindad de Venezuela y Ecuador (*Schistosoma* y *Paragonimus*), puede ser muy interesante para la patología de Colombia, hemos buscado posibles hospederos en nuestro país. Igualmente estudiamos *Limnea*, *Physa*, *Tropicorbis*, etc. con el fin de determinar zonas de parasitismo de *Fasciola* y posiblemente de *Echinostomun*, *Paragonimus* y otros parásitos de animales domésticos o salvajes. (...) Debido a la completa destrucción de nuestros laboratorios, colecciones y bibliotecas, nos vemos obligados a numerar los Tremátodos larvarios y los que estamos estudiando, con el numeral del hospedero. Asimismo, numeramos las planchas descriptivas. (...)

Esta pequeña contribución se debe a mis colaboradores, los Dres. Santiago Rengifo, Augusto Gast Galvis, G. Hitzig y Tufik Meluk, y los señores Guillermo Abadía, Rosendo Barrera, Emilio Uribe y Carlos Ospina y muchos otros, y muy especialmente a los profesores J. C. Bequaert (Harvard College, Cambridge), D. L. Augustine (Harvard Medical School, Boston), E. C. Faust (Tulane University, New Orleans), W. W. Cort (Johns Hopkins University, Baltimore) y R. Talice (Universidad de Montevideo, Uruguay). Para todos los que nos ayudaron y orientaron, enviamos nuestro sincero agradecimiento" (32)⁴⁷.

Vinieron luego, presentados sucesivamente a las sesiones de la Sociedad de Biología de Bogotá, también ilustrados con dibujos originales y reunidos en un solo volumen de sus *Anales*, cuatro estudios escritos al alimón con sus discípulos, los doctores **Groot** y **Rengifo Salcedo**, tres dedicados al mencionado *T. ariarii* y otro al *T. rangeli* (33) (34) (35) (36)⁴⁷.

Su último texto científico publicado -también en colaboración con **Groot** y **Rengifo Salcedo**- apareció en noviembre de 1951 en el *American Journal of Tropical Medicine*. Se trata de un resumen de la ponencia que sobre el *T. ariarii* presentaron sus autores en el Congreso de la American Society of Tropical Medicine reunido en la ciudad de Savannah, Georgia, casi un año antes, el 9 de septiembre de 1950 (37)⁴⁷.

Parafraseando otra vez al Dr. **Hernando Groot**, se hace casi que obligatorio recordar a esta descolante personalidad de la ciencia colombiana, porque su ejemplo ha de servir a las actuales y futuras generaciones de investigadores nuestros para afrontar los problemas de los momentos actual y venidero. De ahí la necesidad de conocer con detalle las tareas que cumplió y las circunstancias en las que las realizó, la manera como venció las dificultades y obstáculos que se opusieron a su actividad, y la forma en que siempre los superó, animado por el rigor, la disciplina y la decisión de hacer progresar la medicina colombiana. Trabajó en medios muy limitados, pero con disciplina férrea, con constancia a toda prueba y con el más riguroso sentido de autocritica salió adelante en todas sus empresas²⁵.

Para terminar, las sugestivas frases de un reportaje que se le hizo a nuestro biografiado pocos meses antes de morir:

"Frente a la personalidad multiforme de **César Uribe Piedrahita**, constituye un intrincado problema precisar cuál ha sido, entre mil y una, disímiles, su más intensa y fructífera experiencia. Se disputan el pri-

mer puesto su aprendizaje, con maestros de talla mundial, en Harvard, el gran centro médico de Boston, y su contacto con sus amigos, y compadres, los indios y los negros de las tierras bravías del trópico. Alternando sus visitas a la vorágine vegetal y a los laboratorios de la civilización, ha complementado y unificado, de manera excepcional, conocimientos científicos y su apego a la causa de la humanidad. En sus recuerdos de explorador de la manigua y de investigador del microscopio y la probeta, desfilan siempre juntos, vinculados, los indígenas de la piragua y el bohío, y los sabios de todas las latitudes que le legaron sus conocimientos, en las cátedras universitarias³⁴.

Artículos médicos y textos científicos de César Uribe Piedrahita

- (1) Uribe Piedrahita, C.: *Celiotomía*. *Revista Clínica*, 3 (10): 484 - 487. Medellín, sep 1918.
- (2) Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá*. Facultad de Medicina y Ciencias Naturales, Universidad de Antioquia: Tesis de grado. Medellín, Tipografía Industrial, 1920. Pp. 72.
- (3) Uribe, C.: *A common infusion flagellate occurring in the caecal contents in the chicken*. *The Journal of Parasitology*, 8: 58 - 65. Boston, Department of Comparative Pathology, George Fabyan Foundation, Harvard Medical School, 1921. (Con Plate VII).
- (4) Uribe, C.: *Observations on the development of Heterakis papillosa Bloch in the chicken*. *The Journal of Parasitology*, 8: 167 - 176. Boston, Department of Comparative Pathology, George Fabyan Foundation, Harvard Medical School, 1922.
- (5) Uribe, C.: *Notes of two Venezuelan Xiphidocercariae (Cercaria reptans and Cercaria fausti)*. *The Journal of Parasitology*, 10 (3): 125 - 134. Boston, Department of Comparative Pathology, Harvard Medical School, mar 1925.
- (6) De Bellard, E. P. & Uribe, C.: *Contribución al estudio de la paraadenitis inguinal subaguda en Venezuela*. *Gaceta Médica de Caracas*, 32 (): 100, 114, 138, 146, 161. Caracas, 1925.
- (7) Uribe, C.: *Crithidia ortheae n. sp. from reduviids of the genus orthea*. *The Journal of Parasitology*, 12: 199 - 202. Boston, Department of Comparative Pathology, Medical School of Harvard University, 1926. (Con Plates XXII y XXIII).
- (8) Uribe, C.: *A new invertebrate host of Trypanosoma cruzi Chagas (Apiomerus pilipes Fabr.)*. *The Journal of Parasitology*, 12 (4): 213 - 215. Boston, Department of Comparative Pathology, Harvard Medical School, 1926. (Con una figura).
- (9) Uribe, C.: *Nuclear division in the trophozoites of Endamoeba histolytica*. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 12 (5): 305 - 311. Boston, Department of Comparative Pathology, Medical School of Harvard University, may 1926. (Con 23 figuras).
- (10) Uribe, C.: *On the biology and life history of Rhodnius prolixus Stahl*. *The Journal of Parasitology*, 13 (12): 129 - 136. Boston,

Department of Comparative Pathology, Harvard Medical School, dic 1926. (Con Plate VII).

- (11) Augustine, D. L. & Uribe, C.: *Alaria arisaemoides n.sp., a trematode from Vulpes fulva*. *Parasitology (Suplement to The Journal of Hygiene)*, 19 (2): 236 - 244. London, Cambridge University Press, ago 1927. (Con 3 planchas y 4 figuras)
- (12) Uribe Piedrahita, C.: *Contribución al estudio de los tripanosomas de los equideos de Colombia*. *Revista Médico-Quirúrgica de los Hospitales*, 3 (19): 94 - 104. Bogotá, oct 1929 (Con dibujos del autor).
- (13) Uribe Piedrahita, C.: *Infección del Rhodnius prolixus Stahl por Tripanosoma cruzi y Tripanosoma rangeli*. *Revista Médico-Quirúrgica de los Hospitales*, 3 (20): 133 - 137. Bogotá, nov 1929. Reproducido por el Departamento de Investigaciones del Laboratorio CUP, Bogotá, Tipografía Vélez P., 1946, Pp. 7. (Con dibujos del autor).
- (14) Uribe Piedrahita, C.: *La flora parasitológica colombiana*. *Revista Médica de Colombia*, 1 (1): 57 - 58. Bogotá, 1930.
- (15) Uribe Piedrahita, C.: *Algunas consideraciones elementales sobre el metabolismo basal (I, II, III y IV)*. *Revista Médica de Colombia*. Bogotá, 1 (1): 14 - 18, ago 1930; 1(3): 134 - 142, oct 1930; 1 (4): 224 - 227, nov 1930, y 1 (7): 460 - 463, feb 1931.
- (16) Uribe Piedrahita, C.: *Editorial*. *Revista Médica de Colombia*, 1 (8): 517 - 519. Bogotá, mar 1931.
- (17) Uribe Piedrahita, C.: *Notas sobre un tripanosoma de los bovinos en Colombia*. *Revista Médica de Colombia*, 1 (11): 701 - 705. Bogotá, jun 1931. Reproducido por Laboratorios CUP, Tipografía Helios, 1944.
- (18) Uribe Piedrahita, C.: *La carencia de la histidina y del triptófano en la patogenia de la úlcera péptica experimental*. *Boletín Clínico - Sección Variedades Médicas* - 2 (11): 482 - 483. Medellín, jul 1936. (Revisión).
- (19) Uribe Piedrahita, C.: *Esquema para un estudio de la patología indígena en Colombia*. *América Indígena*, 2 (1): 67 - 74. México, ene 1941.
- (20) Uribe Piedrahita, C.: *Una nueva especie de cercaria cistófora de la Sabana de Bogotá*. *Publicaciones Laboratorios CUP*. Bogotá, Tipografía Helios, jun 1944.
- (21) Uribe Piedrahita, C. & Mezey, K.: *Niaara. Primer estudio farmacodinámico de un veneno para flecha*. *Revista de la Universidad Nacional de Colombia*. 3: 177. Bogotá, 1945.
- (22) Uribe Piedrahita, C. & Mezey, K.: *"Niaara" (Un veneno de flecha originario de Colombia)*. *Anales de la Sociedad de Biología*, 2 (4): 147 - 169. Bogotá, jul 1946.
- (23) Uribe Piedrahita, C.: *Un Myxobolidae parásito de la vesícula biliar de una rana de los Llanos Orientales*. *Caldasia*, 4 (20): 649 - 650. Bogotá, sep 1947. (Con un dibujo del autor).
- (24) Uribe Piedrahita, C.: *Observaciones sobre un Trichomonas sp.* *Caldasia*, 4 (20): 651-653. Bogotá, sep 1947. (Con un dibujo del autor).
- (25) Uribe Piedrahita, C.: *Un trematodo parásito del intestino del ibis (Phimosus infuscatus berlepschi Hellmayr)*. *Caldasia*, 5 (21): 211 - 215. Bogotá, mar 1948. (Con tres dibujos del autor).
- (26) Uribe Piedrahita, C.: *Anotaciones sobre la morfología de Prowazekella lacertae Grassi 1879*. *Caldasia*, 5 (21): 216 - 218. Bogotá, mar 1948. (Con un dibujo del autor).

- (27) Uribe Piedrahita, C.: *Pneumoneces medioplexus* Stafford 1905. *Caldasia*, 5 (21): 218 - 219. Bogotá, mar 1948. (Con un dibujo del autor).
- (28) Uribe Piedrahita, C., Mezey, K., Pataki, J. & Huertas Lozano, J. (The César Uribe Piedrahita Research Laboratories, Bogotá, Colombia): *Niaara; a digitalis-like colombian arrow poison. The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 93 (2): 223 - 229, jun 1948.
- (29) Uribe Piedrahita, C.: *Niaara = Digitálico y veneno de flechas colombiano. Farmacoterapia actual*, 6 (55 - 56): s.d. Madrid, ene - feb 1949.
- (30) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo, S.: *Contribución al estudio de algunos tripanosomas humanos y animales en Colombia* - Incluye los artículos "Nota preliminar sobre un tripanosoma humano del valle del río Ariari (intendencia nacional del Meta)", "Tripanosomas de artrópodos" y "Tripanosomas de vertebrados". *Revista de Higiene*, 24 (1): 3 - 40. Bogotá, ene 1950. Reproducidos en *Revista de la Sanidad Militar de Colombia*, 1 (1): 76 - 134. Bogotá, abr 1950.
- (31) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo S.: *Tripanosomas humanos y animales en Colombia* (Sobre los artículos anteriores). *Antioquia Médica* (Extractos y traducciones), 1 (4): 295 - 296. Medellín, nov 1950.
- (32) Uribe Piedrahita, C.: *Contribución al estudio de algunos trematodos larvarios de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales*, 7 (28): 526 - 533. Bogotá, 1950. (Incluye varias planchas con fotografías y dibujos del autor).
- (33) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo S.: *Nuevos datos sobre Trypanosoma ariarii. Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá*, 4 (3): 81 - 84. Bogotá, 1950.
- (34) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo S.: *Inoculación a un voluntario humano con Trypanosoma ariarii. Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá*, 4 (3): 99 - 103. Bogotá, 1950.
- (35) Groot, H. & Uribe Piedrahita, C.: *Transmisión experimental de Trypanosoma ariarii. Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá*, 4 (3): 221 - 225. Bogotá, 1950.
- (36) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo S.: *Consideraciones sobre el llamado Trypanosoma rangeli. Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá*, 4 (3): 225 - 230. Bogotá, 1951.
- (37) Uribe Piedrahita, C., Groot, H. & Rengifo Salcedo S.: *Trypanosoma ariarii, n. sp., from a man, found in Colombia. American Journal of Tropical Medicine*, 31 (6): 673 - 691, nov 1951. (Presentada a la *American Society of Tropical Medicine*).
- (38) Uribe Piedrahita, C.: *Laboratorio*, Publicación Cultural de los Laboratorios CUP, S. A., números 1 a 31. Santafé de Bogotá, 1942 - 1952.
- (39) Uribe Piedrahita, C.: *Bibliografía. Folletos # 7536*. Biblioteca Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- (40) Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pp. 165.

Textos y artículos no científicos de César Uribe Piedrahita

- [1] César Uribe Piedrahita: *Páginas de juventud*. El Tiempo. Suplemento Literario. Bogotá, diciembre 30 de 1951. Reproducido en Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pág. 89 - 91.
- [2] César Uribe Piedrahita: *Toá. Narraciones de caucherías*. Manizales, Arturo Zapata (impresor y editor), 15 de sep de 1933. Pp. 180. Edición príncipe.
- [3] César Uribe Piedrahita: *El pozo # 16*, en *Acción Liberal*, 14: 547 - 567. Bogotá, mar 30 de 1934.
- [4] César Uribe Piedrahita: *Mancha de aceite*. Bogotá, Editorial Renacimiento, 1935. Pp. 144. Edición príncipe.
- [5] César Uribe Piedrahita: *Maderas* (xilografías), en *Pan*, 2: 34 - 38. Bogotá, sep 1935.
- [6] César Uribe Piedrahita: *Teotl en Santa Marta*, en *Pan*, 8: 39 - 40. Bogotá, may - jun 1936. Reproducido en Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pág. 89 - 91.
- [7] César Uribe Piedrahita: *Tres fragmentos para Caribe*, en 1) *Pan*, 9: 54 - 57. Bogotá, jul 1936; 2) *Pan*, 15: 75 - 80. Bogotá, ago 1937 (con ilustraciones y manuscritos de Enrique Uribe White), y 3) *Pesca de perlas*, *Revista de las Indias*, 2ª época, 2 (6): 169 - 171. Bogotá, abr - jun 1939. Reproducido en Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pág. 95 - 110.
- [8] César Uribe Piedrahita: *Contribución al estudio del arte Quimbaya*, en *Revista de las Indias*, 1 (2): 9 - 19. Bogotá, ago 1936. (Con 36 ilustraciones del autor).
- [9] César Uribe Piedrahita: *Comentarios a "Un repique insonoro"*, en *Revista Universidad de Antioquia*, 6 (22): 233 - 238. Medellín, ene 1938. Reproducido en Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pág. 113 - 119.
- [10] César Uribe Piedrahita: *Carlos Correa, Pintor de la vida*, en *Pan*, 24: 95 - 102. Bogotá, oct 1938. Reproducido en Uribe Piedrahita, C.: *Apuntes para la geografía médica del ferrocarril de Urabá y otros escritos*. Homenaje de la Facultad de Medicina y la Universidad de Antioquia. Medellín, Imprenta Universidad de Antioquia, 1996. Pág. 120 - 122.
- [11] César Uribe Piedrahita: *Estudios Indígenas*, en *Revista Universidad de Antioquia*, 8 (31): 337 - 341. Medellín, may - jun 1939. (Con 28 ilustraciones del autor).
- [12] César Uribe Piedrahita: *Sebastián de las Gracias (Primera noche)*, en *Pan*, 32: 83 - 91. Bogotá, jul 1939.
- [13] César Uribe Piedrahita: *El arte indígena como documento médico, Viñetas del Ecuador, Ornamentación de torteros quimbayas, Razas primitivas de Colombia*, en *Laboratorio*. Bogotá, Laboratorios CUP, 1942 - 1951.

Notas y fuentes Bibliográficas

- 1 Partida de bautismo # 267. Libro de bautismos # 78, folio # 89. Iglesia de Nuestra Señora de la Candelaria. Medellín.
- 2 Margarita María y Hernán Vasco Uribe: Comunicación personal.
- 3 Sarah Uribe Lince: Comunicación personal.
- 4 Miguel Escobar Calle: Comunicación personal.
- 5 Jorge Villa Carrasquilla: en **Los Panidas éramos trece**. Exposición Didáctica. Album de los Sonetos Café El Globo. Sala Antioquia. Biblioteca Pública Piloto. Julio 1995, pág. 13.
- 6 Jorge Restrepo Uribe -con la colaboración de Luz Posada de Greiff: **Medellín. Su origen, progreso y desarrollo**. Medellín, Servigráficas, 1981, pág. 571.
- 7 Calificaciones, certificados, exámenes y documentos escolares de César Uribe Piedrahita. **Libro de Actas # 1**, Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia. Medellín, inédito, pág. 47 a 52.
- 8 Emilio Robledo: *Historia de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia*. **Revista Clínica**. 3 (29-32): 317. Medellín, ene 1924.
- 9 Carlos Eduardo Vasco Uribe: Comunicación personal.
- 10 Augusto Escobar Mesa: **Naturaleza y realidad social en César Uribe Piedrahita**. Serie Autores de Hoy. Concejo de Medellín, 1993. Pp. 317.
- 11 Enrique Uribe White: *César Uribe Piedrahita*, en **Pan**, 2: 114 - 166, Bogotá, sep 1935. *Sillón del Editor*, en **Pan**, 8: 155 - 156, Bogotá, jun 1936. *Dr. César Uribe Piedrahita*, en **Pan**, 15: 70 - 72, Bogotá, ago 1937.
- 12 Roberto Tisnés, C.M.F.: *Nota necrológica*. 1952. Citada por Augusto Escobar Mesa, *op. cit.*
- 13 Edgardo Salazar Santacoloma: *César Uribe Piedrahita*. **El Tiempo. Suplemento Literario**. Bogotá, diciembre 30 de 1944. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979, pág. 333 - 340.
- 14 Manuel Zapata Olivella: *El Mono Uribe Piedrahita. Reportaje*, en **El Tiempo**, Bogotá, julio 11 de 1948, segunda sección, pág. 3.
- 15 Luis E. Nieto Caballero: *César Uribe Piedrahita: El hombre y el artista*. **El Tiempo. Suplemento Literario**. Bogotá, diciembre 30 de 1951. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979, págs. 363 - 368.
- 16 Luis María Murillo: *Al arte por la ciencia: César Uribe Piedrahita*. **El Tiempo. Suplemento Literario**. Bogotá, enero 6 de 1952. Pág. 4. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979, págs. 357 - 362.
- 17 Santiago Díaz-Piedrahita: *Enrique Pérez Arbeláez, Promotor de ciencia y de cultura*. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias**. 20 (77): 259 - 267. Bogotá, jul 1996.
- 18 Konrad Theodor Pruss: **Arte monumental prehistórico**. Trad. César Uribe Piedrahita y Hermann Walde-Waldeg. 3a. ed. española. Bogotá, Dirección de Divulgación Cultural de la Universidad Nacional de Colombia, 1974. Pp. 520.
- 19 Jon Landaburu (compilador): **Documentos para el estudio de las lenguas indígenas de Colombia. La Amazonia**. Santafé de Bogotá, Facultad de Antropología de la Universidad de los Andes, 1996.
- 20 Jaime Paredes Pardo: *César Uribe Piedrahita, Rector de la Universidad del Cauca*. **Gaceta de Colcultura**. 2 (14): 39 - 40. Bogotá, sep 1977. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979. Págs. 385 - 388.
- 21 Elisa Mujica: *César Uribe Piedrahita*. **Gaceta de Colcultura**, 2 (14): 39. Bogotá, sep 1977. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979. Págs. 381 - 383.
- 22 Enrique Uribe White: *Una excursión al Puracé*. **Pan**, 2: 1 - 6. Bogotá, sep de 1935.
- 23 Horacio Franco: *Evocación cordial*. *César Uribe Piedrahita*, en **El Tiempo. Suplemento Literario**, Bogotá, dic 30 de 1951. pág. 3. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979. Págs. 353 - 355.
- 24 Bogdan Piotrowski: **La realidad nacional colombiana en su narrativa contemporánea**. Bogotá, Instituto Caro y Cuervo, 1988.
- 25 Hernando Groot: *Evocación de César Uribe Piedrahita*, en **Medicina** (Academia Nacional de Medicina), 39: 27 - 30. Bogotá, 1995.
- 26 Enrique Hubach: *La Sierra Nevada de los Taironas*, en **Pan**, 3: 1 - 10. Bogotá, oct 1935.
- 27 Elisée Reclus: *Voyage à la Sierra-Nevada de Sainte-Marthe. Paysages de la nature tropicale*. 2è, éd. Paris, Hachette, 1881 (1855). *Ríos y Flora y fauna. Colombia*. Bogotá, Sol y Luna, 1965 (1890). Ambas citadas por Augusto Escobar Mesa, *op. cit.*
- 28 Emilia [Pardo Umaña]: *La vida extraordinaria de Uribe Piedrahita*, en **El Tiempo. Suplemento Literario**, Bogotá, dic 30 de 1951. pág. 3. Reproducido en: **Gaceta de Colcultura**, 2 (14): 39 - 40. Bogotá, sep 1977. y en César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros**. Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979. Págs. 327 - 331.
- 29 Jorge Álvarez Lleras: *Seccional Editorial*, en **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, 1 (1): 1 - 7, oct - dic 1936.
- 30 Jorge Moreno Clavijo: *Científico, novelista y pintor: CUP*, en **Cromos**, 73 (1813): 30. Bogotá, 29 dic 1951.
- 31 Jaime Jaramillo Uribe: *La educación durante los gobiernos liberales, 1930 - 1946*. **Nueva Historia de Colombia**. Tomo IV. Bogotá, Planeta, 1989. Pág. 108.
- 32 Aline Helg: *Civiliser le peuple et former les élites. L'éducation en Colombie 1918 - 1957*. Paris, L'Harmattan, 1984. Citada por Augusto Escobar Mesa, *op. cit.*
- 33 Plinio Mendoza (director): *Laboratorio CUP, Dr. César Uribe Piedrahita. Colombia en cifras*. Bogotá, s.d., 1944. Pág. 386 - 390.
- 34 *César Uribe Piedrahita: Las ciencias, las artes y las letras (Portada)*, en **Semana**, 8 (183): 14 - 19 (Medicina). Bogotá, abril 22 de 1950.
- 35 Gonzalo Ariza: *La exposición de Uribe Piedrahita*, en **Lecturas Dominicales. El Tiempo**, Bogotá, mar 25 de 1945, segunda sec-

- ción, pág. 3. Reproducido en: César Uribe Piedrahita: **Toá. Mancha de aceite. Otros.** Ed. a cargo de Juan Gustavo Cobo Borda. Bogotá, Colcultura, 1979. Págs. 341 - 343.
- ³⁶ Walter Engel: *César Uribe Piedrahita*, en **Revista de las Indias**, 59 - 60, nov - dic 1943, y 76: 148, abr 1945.
- ³⁷ Carmen Ortega Ricaurte: **Diccionario de artistas en Colombia**. 2ª ed. corregida y aumentada. Bogotá, Plaza y Janés, 1979. pág. 491.
- ³⁸ Guillermo Abadía Morales: *Hombres de mi tiempo: Semblanza de César Uribe Piedrahita*, en **Magazine Dominical de El Espectador**, # 198, Bogotá, Dic 30 de 1951, pág. 5 y 22 (Confirmados todos los datos en entrevista realizada por el autor al Maestro Abadía Morales, en Bogotá, junio de 1995).
- ³⁹ Julio Tobón R.: *Dr. César Uribe Piedrahita (1896 - 1951)*, en **Orientaciones Médicas**, 1 (10): Página editorial. Medellín, feb 1952. Reproducido en **Laboratorio**, (29): 9 - 10, Bogotá, 1952.
- ⁴⁰ Manuel José Luque: *Profesor César Uribe Piedrahita*, en **Revista de la Facultad de Medicina**, 20 (8): 425 - 431. Bogotá, feb 1952. Reproducido en **Laboratorio**, (29): 1 - 6, Bogotá, 1952.
- ⁴¹ Jorge Camacho Gamba: *Profesor César Uribe Piedrahita*, en **Revista Colombiana de Pediatría y Puericultura**, 9 (2): 5 - 6, Bogotá, dic 1951. Reproducido en **Laboratorio**, (29): 6 - 7, Bogotá, 1952.
- ⁴² Alfonso Bonilla Naar: *En la muerte de César Uribe Piedrahita*, en **Progreso Farmacéutico**, (198 - 199): s.d. Reproducido en **Laboratorio**, (29): 14 - 17, Bogotá, 1952.
- ⁴³ Carlos Uribe Vélez: Comunicación personal (Sin embargo, el cruce de esta información con la biografía del mariscal E. Rommel, el *Zorro del desierto*, muestra que es más probable que hubiera sido otro oficial alemán el atendido por Uribe Piedrahita y quien le obsequió esas dagas).
- ⁴⁴ Alberto Vasco Uribe: Comunicación personal.
- ⁴⁵ Alfonso Bonilla Naar: *César Uribe Piedrahita (Bibliografía)*, en **Historia de Medicina Tropical, Parasitología e Higiene en Colombia (1544 - 1944)**. Bogotá, s.d.
- ⁴⁶ Luz Posada de Greiff: **Grandes forjadores**. Medellín, Viviendas de Antioquia, 1989. pág. 49 - 50.
- ⁴⁷ Hernando Groot: *César Uribe Piedrahita*, en **Anales de la Sociedad de Biología de Bogotá**, 5 (2): 55 - 70, Bogotá, abril 1952. (Incluye resúmenes de casi todos los trabajos científicos de Uribe Piedrahita).
- ⁴⁸ GAM: *Principales fechas en la historia del Laboratorio CUP*, en **Anales de Farmacia y Bioquímica**, 8 (1): 17 - 20, Bogotá, enero - febrero 1952.

ON A CONJECTURE OF BOREVICH AND SHAFAREVICH

por

Víctor Samuel Albis González* & Raúl Chaparro

Resumen

Albis González, V. S. & R. Chaparro: On a conjecture of Borevich and Shafarevich. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 21(80): 313-319, 1997. ISSN 0370-3908.

Z. I. Borevich & I. R. Shafarevich conjeturaron la racionalidad de la serie de Poincaré $\sum_{n \geq 0} c_n U^n$, donde $c_0 = 1$ y c_n ($n \geq 1$) designa al número de soluciones de la reducción módulo ℓ , ℓ primo racional, de un polinomio $H(t) \in \mathbb{Z}_\ell[t]$, $t = (t_1, \dots, t_r)$. Esta conjetura fue confirmada por J. Igusa, usando el profundo teorema de resolución de singularidades de Hironaka. Más tarde, J. Denef dio una nueva demostración usando esencialmente el hecho de que $\mathbb{Q}_\ell$ admite eliminación de cuantificadores, evitando así el teorema de Hironaka. La misma conjetura está aún sin resolver en el caso de característica > 0 , anotándose que ninguna de las técnicas usadas en el caso de característica 0 parece ser apropiada en característica > 0 . En esta corta comunicación demostramos la conjetura en característica > 0 para algunos tipos de polinomios, usando métodos elementales.

Palabras claves: Geometría algebraica, cuerpos aritméticos de funciones, series de Poincaré.

Abstract

Z. I. Borevich & I. R. Shafarevich conjectured the rationality of the Poincaré series $\sum_{n \geq 0} c_n U^n$, where $c_0 = 1$ and c_n ($n \geq 1$) denotes the number of solutions of the reduction modulo ℓ , ℓ a rational prime, of a polynomial $H(t) \in \mathbb{Z}_\ell[t]$, $t = (t_1, \dots, t_r)$. This conjecture was settled in the affirmative by J. Igusa, using Hironaka's deep resolution of singularities theorem. Later on, J. Denef produced a new proof of this result, essentially using the fact that $\mathbb{Q}_\ell$ admits elimination of quantifiers, avoiding thus Hironaka's result. The same conjecture for characteristic > 0 is still an open problem, and none of the techniques used in characteristic 0 seem to help in characteristic > 0 . In this short note we prove the conjecture in characteristic > 0 for some special cases of polynomials, using elementary methods.

Key words: Algebraic geometry, arithmetic function fields, Poincaré series.

* Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Apartado aéreo 91480,

Santafé de Bogotá, D.C., 8, Colombia.
Email: valbis@ciencias.ciencias.unal.edu.co; albisf@inter.net.co

§1. Introduction

In [5], Problem 9, page 47, Borevich and Shafarevich asked the following question: given a fixed rational prime ℓ , let $\mathbb{Q}_\ell$ be the field of ℓ -adic numbers and let $\mathbb{Z}_\ell$ be the ring of ℓ -adic integers. For a polynomial $H(t_1, \dots, t_s) \in \mathbb{Z}_\ell[t_1, \dots, t_s]$, let $c(n; H)$ (or simply $c(n)$ if there is no possible confusion) denote the number of zeroes of the reduction $H_n(t_1, \dots, t_s)$ of $H(t_1, \dots, t_s)$ in the residue ring $\mathbb{Z}_\ell/\ell^n \mathbb{Z}_\ell$. Is then the Poincaré series of H

$$P(U; H) := \sum_{n=0}^{\infty} c(n; H) U^n \in \mathbb{Z}[[U]], \quad (1.1)$$

where $c(0; U) = 1$, a rational function of U ? Partial answers to this question were known before 1973 (for which we refer to [7]), when Igusa ([11], [12], [13]) gave a general affirmative answer, based on Hironaka's resolution of singularities theorem in characteristic zero. His results, however, did not show how to effectively compute (1.1) and thus how to express it as a quotient of two polynomials in U . Later on, in 1984, Denef [7] gave a new and elegant proof of the conjecture, essentially using the fact that $\mathbb{Q}_\ell$ admits elimination of quantifiers, avoiding thus Hironaka's result. Related to this conjecture is the following one by Hayes and Nutt [10]: $P(H; U) = Q(U)/R(U)$, where $Q(U)$ and $R(U)$ are polynomials in $\mathbb{Z}[U]$ satisfying the following conditions: $Q(0) = 1$, and $R(U)$ is a product of polynomials of the form $(1 - \ell^m U^n)$, where $m \geq 0$ and $n \geq 1$ are integers for which the inequality $m \leq ns$ holds. They called this assertion the *Q-conjecture*.

Due to the existing analogy between arithmetic fields of characteristic zero and those of characteristic > 0 (i.e. arithmetic function fields), it is quite natural to propose the analogous question in this latter case. However, in this case we do not have a general resolution of singularities theorem ([1], [2]), nor the rings involved admit elimination of quantifiers ([3], [4], [6]). Because of these facts it seems that a direct approach to the conjecture in the arithmetic function field case, by means of elementary methods, à la Abhyankar ([1], [2]), would be of some interest. Indeed, in this paper we show for some special cases the validity of the conjecture, and compute explicitly some of the corresponding Poincaré series, in a rather elementary way using simple arithmetical properties of the field $L[[Z]]$ of formal meromorphic functions over a finite field L . Also, we show that the *Q-conjecture* of Hayes and Nutt is valid for these cases.

§2. Some preliminary results

We begin this section by recalling (see [14]) that a formal power series

$$d_0 + d_1 U + \dots + d_n U^n + \dots \in \mathbb{Z}[[U]] \quad (2.1)$$

is a rational function of U if, and only if, there is an index $m \geq 1$ such that all the numbers d_n , $n \geq m$, can be computed from $d_0, d_1, \dots, d_m$ by means of a linear recurrence, say

$$u_{n+k} = a_1 u_{n+k-1} + \dots + a_k u_n \quad (n \geq m \geq 1) \quad (2.2)$$

where

$$u_1 = d_0, u_2 = d_1, \dots, u_n = d_{n-1}, \dots,$$

k is the order of the recurrence and $a_1, \dots, a_k$ are called the coefficients of the recurrence relation (2.2). Moreover, (2.1) can be expressed as the quotient $Q(U)/R(U)$,

$$Q(U) := u_1 + (u_2 - a_1 u_1)U + \dots + (u_{k+m-1} - a_1 u_{k+m-2} - \dots - a_k u_{m-1})U^{k+m-2} \quad (2.3)$$

and

$$R(U) := 1 - a_1 U - \dots - a_k U^k. \quad (2.4)$$

Let now K be an arithmetic function field of characteristic $\ell > 1$, that is, a finite algebraic extension of $\mathbb{F}_q(X)$, $q = \ell^v$. Let $\mathfrak{p}$ be a prime divisor of K , and let us consider the completion $K_{\mathfrak{p}}$ of K at $\mathfrak{p}$. If $w_{\mathfrak{p}}$ represents the corresponding discrete valuation, let us denote by $\mathcal{O}_{\mathfrak{p}} = \{x \in K_{\mathfrak{p}}; w_{\mathfrak{p}}(x) \geq 0\}$ and $\mathfrak{p}\mathcal{O}_{\mathfrak{p}} = \{x \in K_{\mathfrak{p}}; w_{\mathfrak{p}}(x) > 0\}$, $w_{\mathfrak{p}}(\mathfrak{p}) = 1$, the ring of $\mathfrak{p}$ -adic integers and the prime ideal of $\mathcal{O}_{\mathfrak{p}}$, respectively. Then $L_{\mathfrak{p}} = \mathcal{O}_{\mathfrak{p}}/\mathfrak{p}\mathcal{O}_{\mathfrak{p}}$ is a finite extension of $\mathbb{F}_\ell$, with, say, q elements. With this notation our conjecture can be stated thus:

Let $H(t_1, \dots, t_s) \in \mathcal{O}_{\mathfrak{p}}[t_1, \dots, t_s]$ and let $c(n; H)$ denote the number of zeroes of the reduction of H in the residue ring $\mathcal{O}_{\mathfrak{p}}/\mathfrak{p}^n \mathcal{O}_{\mathfrak{p}}$ ($n = 1, 2, \dots$). Then (1.1) is a rational function of U .

Since $\mathcal{O}_{\mathfrak{p}} = L_{\mathfrak{p}}[[Z]]$, where $L_{\mathfrak{p}} = \mathcal{O}_{\mathfrak{p}}/\mathfrak{p}\mathcal{O}_{\mathfrak{p}}$, $\mathfrak{p}\mathcal{O}_{\mathfrak{p}} = (Z)$, it suffices to prove the conjecture when $H(t_1, \dots, t_s)$ has coefficients in the ring $L[[Z]]$, where L is a finite field of characteristic ℓ and q elements. More precisely, it is enough to prove that if $c(n; H)$ denotes the number of zeroes of H in the residue field $L[[Z]]/(Z^n)$, then (1.1) is a rational function of U .

The *Q-conjecture* takes now the following form: $Q(0) = 1$ and $R(U)$ is the product of polynomials of the form $(1 - q^m U^n)$, where $m \geq 0$, $n \geq 1$, and $m \leq ns$.

If $\pi_n : L[[Z]] \rightarrow L[[Z]]/(Z^n)$, defined by

$$\pi_n\left(\sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i Z^i\right) := \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i z_n^i,$$

where $\pi_n(Z) = z_n$, is the canonical epimorphism onto the residue ring, then $1, z_n, \dots, z_n^{n-1}$ is a basis over L of the algebra $L[[Z]]/(Z^n)$. Clearly, $z_n^k \neq 0$ for $k = 0, \dots, n-1$, and $z_n^k = 0$ for $k \geq n$. Let us denote by L_n the n -dimensional L -algebra $L[[Z]]/(Z^n)$. The canonical epimorphisms $\pi_{n,m} : L_m \rightarrow L_n$, $m \geq n$, given by

$$\pi_{n,m}\left(\sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i z_m^i\right) = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i z_n^i,$$

are L -algebra morphisms.

We write

$$\tau_n := \left(\sum_{i=0}^{n-1} \tau_{1,i} z_n^i, \dots, \sum_{i=0}^{n-1} \tau_{s,i} z_n^i \right) \quad (\tau_{i,j} \in L) \quad (2.5)$$

for an element of L_n^s . If $H(t_1, \dots, t_s) \in L[[Z]][t_1, \dots, t_s]$, its reduction $H_n(t_1, \dots, t_s)$ is just the polynomial in $L_n[t_1, \dots, t_s]$ whose coefficients are the coefficients of $H(t_1, \dots, t_s)$ taken modulo (Z^n) . Also, with the obvious meaning,

$$\pi_{n,m}(H_m(t_1, \dots, t_s)) = H_n(t_1, \dots, t_s)$$

if $n \leq m$.

If $\tau_m \in L_m^s$ is a zero of $H_m(t_1, \dots, t_s)$ and $m \geq n$, we say that τ_m is a *descendant* of τ_n if $\pi_{n,m}(\tau_m) = \tau_n$; obviously, if such is the case, $H_n(\tau_n) = 0$, and we also say that τ_n is an *ascendant* of τ_m . Conversely, if $\tau_n \in L_n^s$ is a zero of $H_n(t_1, \dots, t_s)$, then in L_m^s , $m \geq n$, τ_n has at most $q^{s(m-n)}$ descendants, if any.

A zero $\tau_n \in L_n^s$ of $H_n(t_1, \dots, t_s)$ is said to be *non-singular* if

$$\frac{\partial H_1(\pi_{1,n}(\tau_n))}{\partial t_j} = \frac{\partial H_1(\tau_{1,0}, \dots, \tau_{s,0})}{\partial t_j} \neq 0$$

for some $j = 1, \dots, s$. Otherwise τ_n is called a *singular zero*.

Proposition 2.1. Any descendant (resp. ascendant) of a non-singular zero is a non-singular zero.

Proof. Obvious.

The group of units of a ring A will be denoted here by $A^\times$.

Proposition 2.2. (a)

$$L_m^\times = \{ v_0 + v_1 z_m + \dots + v_{m-1} z_m^{m-1} ; v_0 \neq 0 \}.$$

(b) If $v \in L_m^\times$, then $\pi_{n,m}(v) \in L_n^\times$ for all $n \leq m$. Also, $\pi_{m,m+k}^{-1}(v) \subseteq L_{m+k}^\times$ for all $k \geq 0$.

(c) If $\tau_n \in L_n^s$ is a non-singular zero of $H_n(t_1, \dots, t_s)$, then for all its descendants and ascendants τ_m we have $\partial(H_m(\tau_m))/\partial t_j \in L_m^\times$ for all $j = 1, \dots, s$ satisfying $\partial H_1(\tau_1)/\partial t_j \neq 0$.

Proof. (a) The equation

$$(v_0 + v_1 z_m + \dots + v_{m-1} z_m^{m-1}) \times (\beta_0 + \beta_1 z_m + \dots + \beta_{m-1} z_m^{m-1}) = 1$$

leads to a finite system of linear equations: $v_0 \beta_0 = 1, \dots$, from which the result follows readily.

(b) Follows easily from (a) and the fact that

$$\pi_{m,m+k}^{-1}(v) = \{ v_0 + v_1 z_{m+k} + \dots + v_{m+k-1} z_{m+k}^{m+k-1} ; v_j \in L \}$$

if $v = v_0 + v_1 z_m + \dots + v_{m-1} z_m^{m-1}$.

(c) This follows from (a), (b), and proposition 2.1.

If τ_n is given by (2.5), let us denote by $\hat{\tau}_n$ the element in L_n^s given by

$$\hat{\tau}_n := \left(\sum_{i=0}^{n-2} \tau_{1,i} z_n^i, \dots, \sum_{i=0}^{n-2} \tau_{s,i} z_n^i \right).$$

This notation enables us to state the following version of Taylor's formula:

Proposition 2.3. If $H(t_1, \dots, t_s)$ is a polynomial with coefficients in $L[[Z]]$, then for each $n = 1, 2, \dots$ we have

$$H_n(\tau_n) = H_n(\hat{\tau}_n) + z_n^{n-1} \sum_{j=1}^s \tau_{j,n-1} \frac{\partial H_n(\hat{\tau}_n)}{\partial t_j}. \quad (2.6)$$

Proof. By induction on s .

Proposition 2.4. If $\alpha \in L_n$ and $e < n$, then $z_n^e \alpha = 0$ if, and only if, $\pi_{n-e,n}(\alpha) = 0$.

Proof. Let $\alpha = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i z_n^i$. Then $z_n^e \alpha = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i z_n^{i+e} = \sum_{i=0}^{n-e-1} \alpha_i z_n^{i+e} = 0$ if, and only if, $\alpha_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_{n-e-1} = 0$. The result follows then from $\pi_{n-e,n}(\alpha) = \sum_{i=0}^{n-e-1} \alpha_i z_{n-e}^i$.

Proposition 2.5. Let $H(t_1, \dots, t_s)$ be a polynomial with coefficients in $L[[Z]]$, and let $n > 1$. Then:

(a) For each singular zero τ_n of $H_n(t_1, \dots, t_s)$ we have

$$H_n(\tau_n) = H_n(\hat{\tau}_n). \quad (2.7)$$

Further, the zero

$$\check{\tau}_{n-1} := \pi_{n-1,n}(\tau_n) = \left(\sum_{i=0}^{n-2} \tau_{1,i} z_{n-1}^i, \dots, \sum_{i=0}^{n-2} \tau_{s,i} z_{n-1}^i \right) \quad (2.8)$$

of $H_{n-1}(t_1, \dots, t_s)$ has always exactly q^s descendants in L_n^s .

(b) If τ_n is a non-singular zero of $H_n(t_1, \dots, t_s)$, then $\check{\tau}_{n-1}$ has always exactly q^{s-1} descendants in L_n^s .

Proof. For $j = 1, \dots, s$, let

$$\frac{\partial H_n(\hat{\tau}_n)}{\partial t_j} = \beta_{j,0}(n) + \beta_{j,1}(n)z_n + \dots + \beta_{j,n-1}(n)z_n^{n-1}$$

($\beta_{j,k}(n) \in L$). Replacing these expressions in (2.6), we obtain

$$H_n(\tau_n) = H_n(\hat{\tau}_n) + \left[\sum_{j=1}^s \tau_{j,n-1} \beta_{j,0}(n) \right] z_n^{n-1}. \quad (2.9)$$

If τ_n is a singular zero of $H_n(t_1, \dots, t_s)$, then $\beta_{j,0}(n) = 0$ for all $j = 1, \dots, s$. Thus we have (2.7). The rest of part (a) in the proposition is an immediate consequence of (2.7). If now

$$H_n(\hat{\tau}_n) = \gamma_0(n) + \gamma_1(n)z_n + \dots + \gamma_{n-1}(n)z_n^{n-1},$$

it follows from (2.9) that τ_n is a non-singular zero of $H_n(t_1, \dots, t_s)$ if, and only if,

$$\gamma_0(n) = \gamma_1(n) = \dots = \gamma_{n-2}(n) = 0, \quad (2.10)$$

and

$$\gamma_{n-1}(n) + \sum_{j=1}^s \tau_{j,n-1} \beta_{j,0}(n) = 0. \quad (2.11)$$

Let us remark that (2.10) is equivalent to $H_{n-1}(\check{\tau}_n) = 0$. Thus $\check{\tau}_n$ has as many descendants in L_n^s as solutions has the linear equation (2.11). But, by hypothesis, there is an index k ($k = 1, \dots, s$) such that $\beta_{k,0}(n) \neq 0$; therefore, for any choice of the coefficients $\tau_{j,n-1}$, $j \neq k$, the equation (2.11) is solvable for $\tau_{k,n-1}$. But there are exactly q^{s-1} choices for the $\tau_{j,n-1}$ ($j \neq k$) and hence q^{s-1} descendants of $\check{\tau}_n$. Finally, let us notice that the foregoing argument also shows that (2.11) is always solvable.

The following well-known result can be found in [9].

Proposition 2.6. Given a system

$$H^1(t_1, \dots, t_s), \dots, H^r(t_1, \dots, t_s)$$

of polynomials in $L[[Z]][t_1, \dots, t_s]$, they have a common zero in $L[[Z]]^s$ if, and only if, for each $n = 1, 2, \dots$, the polynomials $H_n^1(t_1, \dots, t_s), \dots, H_n^r(t_1, \dots, t_s)$ have a common zero in L_n^s .

§3. Proof of the conjecture in some particular cases

Given $H(t_1, \dots, t_s)$ with coefficients in $L[[Z]]$, let us consider a zero $\tau_1 = (\tau_{1,0}, \dots, \tau_{s,0})$ of $H_1(t_1, \dots, t_s)$ in L_1^s . The number of descendants of τ_1 in L_n^s ($n \geq 1$) will be denoted by $d(n; H; \tau_1)$ (or simply $d(n; \tau_1)$ if there is no possible confusion). Of course, $d(1; \tau_1) = 1$. With this notation,

$$c(n; H) = \sum_{\{\tau_1; H_1(\tau_1)=0\}} d(n; \tau_1), \quad n \geq 1.$$

The formal series

$$\sum_{n=1}^{\infty} d(n; \tau_1) U^n \quad (3.1)$$

is called the *contribution of τ_1 to the Poincaré series of $H(t_1, \dots, t_s)$* . Therefore,

$$P(H; U) - 1 = \sum_{\{\tau_1; H_1(\tau_1)=0\}} \sum_{n=1}^{\infty} d(n; \tau_1) U^n$$

will be a rational function of U if each of the series (3.1) is a rational function of U . For example, if τ_1 is a non-singular zero of $H_1(t_1, \dots, t_s)$, it follows from (b), Proposition 2.5, that $d(n; \tau_1) = d(n-1; \tau_1)q^{s-1} \neq 0$ for $n \geq 2$, and thus the contribution of τ_1 to the Poincaré series of $H(t_1, \dots, t_s)$ is given by

$$\begin{aligned} U + q^{s-1}U^2 + \dots + q^{n(s-1)}U^{n+1} + \dots = \\ = \frac{U}{1 - q^{s-1}U}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Consequently we have proved the conjecture in the following special case.

Proposition 3.1. Let $H(t_1, \dots, t_s)$ be a polynomial with coefficients in $L[[Z]]$. If all the zeroes of $H_1(t_1, \dots, t_s)$ are non-singular, then

$$P(H; U) = 1 + c(1; H) \frac{U}{1 - q^{s-1}U}, \quad (3.3)$$

where $c(1; H)$ is the number of zeroes of $H_1(t_1, \dots, t_s)$ in L_1^s .

Corollary. In the conditions of Proposition 3.1, the Poincaré series of $H(t_1, \dots, t_s)$ satisfies the Q -conjecture.

Another case that we can handle immediately is the following: A form $H(t_1, \dots, t_s)$ is called *strongly non-degenerate* if $(0, \dots, 0) \in L_1^s$ is the only singular zero of $H_1(t_1, \dots, t_s)$. For this particular type of forms we prove the following result, analogous to the one to be found in Goldman [8].

Proposition 3.2. Let $H(t_1, \dots, t_s)$ be a strongly non-degenerate form of degree e and coefficients in $L[[Z]]$. Then the Poincaré series of H is a rational function given by

$$P(H; U) = 1 + \frac{U \{c(1; H)(1 - q^s U) + [1 - q^{s-1} U] [1 - (q^s U)^e]\}}{(1 - q^{se} U^e)(1 - q^{s-1} U)(1 - q^s U)}$$

Proof. Let τ_n be a descendant of $\tau_1 = (0, \dots, 0) \in L^s$. Then

$$\tau_n = (z_n \sum_{i=1}^{n-1} \tau_{1,i} z_n^{i-1}, \dots, z_n \sum_{i=1}^{n-1} \tau_{s,i} z_n^{i-1}),$$

so that

$$H_n(\tau_n) = z_n^e H_n \left(\sum_{i=1}^{n-1} \tau_{1,i} z_n^{i-1}, \dots, \sum_{i=1}^{n-1} \tau_{s,i} z_n^{i-1} \right). \quad (3.4)$$

If $n \leq e$, (3.9) is always equal to zero. Thus $d(n; \tau_1) = q^{s(n-1)}$. If $n > e$, (3.9) equals zero if, and only if,

$$H_{n-e} \left(\sum_{i=1}^{n-e} \tau_{1,i} z_{n-e}^{i-1}, \dots, \sum_{i=1}^{n-e} \tau_{s,i} z_{n-e}^{i-1} \right) = 0,$$

because of proposition 2.4. Thus $d(n; \tau_1) = c(n-e)q^{se}$ and the contribution of $\tau_1 = (0, \dots, 0)$ to the Poincaré series of $H(t_1, \dots, t_s)$ is given by

$$\begin{aligned} & U + q^s U^2 + \dots + q^{s(e-1)} U^e + \sum_{n=e+1}^{\infty} c(n-e) q^{se} U^n \\ &= \frac{U[1 - (q^s U)^e]}{1 - q^s U} + q^{se} U^e \sum_{n=e+1}^{\infty} c(n-e) U^{n-e} \\ &= \frac{U[1 - (q^s U)^e]}{1 - q^s U} + q^{se} U^e [P(H; U) - 1] \end{aligned} \quad (3.5)$$

The contribution of the other zeroes of $H_1(t_1, \dots, t_s)$ is given by

$$[c(1; H) - 1] \frac{U}{1 - q^{s-1} U}, \quad (3.6)$$

using (3.2). From (3.5) and (3.6) the result follows readily.

Corollary. The Poincaré series of a strongly non-degenerate form satisfies the Q -conjecture

Examples of strongly non-degenerate forms are the following: quadratic forms if $\ell \neq 2$, and forms of the type

$$\alpha_1(Z)t_1^e + \dots + \alpha_s(Z)t_s^e,$$

where $\ell \nmid e$ and the $\alpha_i(Z)$ are units.

In order to treat cases in which at least one of the zeroes of $H_1(t_1, \dots, t_s)$ is singular, it is convenient to reduce ourselves to the case where the content of the polynomial $H(t_1, \dots, t_s)$ is 1. In general, $H(t_1, \dots, t_s)$ can be written as $v(Z)Z^r H^*(t_1, \dots, t_s)$, where $v(Z)$ is a unit in $L[[Z]]$, $r \geq 0$, and $H^*(t_1, \dots, t_s)$ is a polynomial of content 1. Since $\pi_n(v(Z))$ is a unit in L_n for all $n \geq 1$, it is evident that $z_n^r H_n^*(t_1, \dots, t_s)$ and $H_n(t_1, \dots, t_s)$ have the same number of zeroes in L_n^s . Therefore, without loss of generality, we may suppose that

$$H(t_1, \dots, t_s) = Z^r H^*(t_1, \dots, t_s).$$

Now, if $r \geq 1$, all the elements in L_n^s , for $n \leq r$, are zeroes of $H_n(t_1, \dots, t_s)$. Also, since $\partial H_n / \partial t_j = z_n^r \partial H_n^* / \partial t_j$, all of them are singular. That is,

$$H_n(\tau_n) = z_n^r H_n^*(\tau_n) = 0, \quad (3.7)$$

for all $\tau \in L_n^s$ if $n \leq r$. This means that $d(n; H; \tau_1) = d(n; H^*; \tau_1) = q^{s(n-1)}$ for $n = 1, 2, \dots, r$. If $n > r$, then (3.7) holds if, and only if, $H_{n-r}^*(\pi_{n-r,n}(\tau_n)) = H_{n-r}^*(\tau_{n-r}) = 0$, because of proposition 2.4. But this implies that $d(n; H; \tau_1) = d(n-r; H^*; \tau_1)$ for all $n > r$, by virtue of (a), proposition 2.5. Therefore the contribution of any $\tau_1 \in L_1^s$ to the Poincaré series of $H(t_1, \dots, t_s)$ is given by

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^r q^{s(n-1)} U^n + \sum_{n=r+1}^{\infty} d(n-r; H^*; \tau_1) U^n \\ &= \frac{U[1 - (q^s U)^r]}{1 - q^s U} + U^r \sum_{k=1}^{\infty} d(k; H^*; \tau_1) U^k. \end{aligned}$$

Therefore

$$\begin{aligned} P(H; U) &= 1 + c(1; H) \frac{U[1 - (q^s U)^r]}{1 - q^s U} + U^r [P(H^*; U) - 1], \end{aligned} \quad (3.8)$$

which proves the following

Proposition 3.3. If $r \geq 1$ and $H(t_1, \dots, t_s) = Z^r H^*(t_1, \dots, t_s)$, then $P(H; U)$ is a rational function of U if, and only if, $P(H^*; U)$ is a rational function of U .

Thus from now on all polynomials under consideration will be supposed to have content 1.

Proposition 3.4. The Poincaré series of the polynomial $H(t) = (t - \alpha(Z))^e$, where $\alpha(Z) = \alpha_0 + \alpha_1 Z + \dots$, is a rational function.

Proof. Let us consider $H_1(t) = (t - \alpha_0)^e$. If $e = 1$, we have $H'_1(t) = 1 \neq 0$, so that α_0 is a non-singular zero. Using (3.2) we see that in this case $P(H; U) = 1 + U/(1 - U)$. Suppose now that $e > 1$, so that α_0 is a singular zero. A descendant τ_n of $\tau_1 = \alpha_0$, for $n > 1$, is given by $\tau_n = \alpha_0 + \tau_1 z_n + \dots + \tau_{n-1} z_n^{n-1}$ and satisfies

$$\begin{aligned} H_n(\tau_n) &= (\tau_n - \pi_n(\alpha(Z)))^e \\ &= z_n^e [(\tau_1 - \alpha_1) + \dots + (\tau_{n-1} - \alpha_{n-1}) z_n^{n-2}]^e \\ &= 0. \end{aligned} \quad (3.9)$$

If $n \leq e$, (3.9) is satisfied for all choices of $\tau_1, \dots, \tau_{n-1}$. That is, $d(n; \tau_1) = q^{n-1}$. If $e < n \leq 2e$, then (3.6) is satisfied if, and only if,

$$[(\tau_1 - \alpha_1) + \dots + (\tau_{n-e-1} - \alpha_{n-e-1}) z_{n-e}^{n-e-1}]^e = 0, \quad (3.10)$$

by proposition 2.4. But (3.10) holds if, and only if, $\tau_1 = \alpha_1$, since otherwise $(\tau_1 - \alpha_1) + \dots + (\tau_{n-e-1} - \alpha_{n-e-1}) z_{n-e}^{n-e-1}$ would be a unit, which is not possible. But then (3.10) becomes

$$\begin{aligned} z_{n-e}^e [(\tau_2 - \alpha_2) + \dots + (\tau_{n-e-1} - \alpha_{n-e-1}) z_{n-e}^{n-e-2}]^e \\ = 0, \end{aligned} \quad (3.11)$$

which holds for all possible choices of $\tau_2, \dots, \tau_{n-e-1}$, if $1 < n - e \leq e$. Thus, for $e + 1 < n \leq 2e$, $d(n; \tau_1) = q^{n-e-2} q^e = q^{n-2}$, because of (a), proposition 2.5. Now $d(e; \tau_1) = q^{e-1} = d(e+1; \tau_1)$. An inductive reasoning on k will show the following: if $ke < n \leq (k+1)e$, then

$$\begin{aligned} d(n; \tau_1) &= q^{n-(k+1)} \\ d(ke; \tau_1) &= q^{k(e-1)} = d(ke+1; \tau_1). \end{aligned}$$

From these identities we get

$$d(n+e; \tau_1) = q^{e-1} d(n; \tau_1) \quad \text{for } n \geq 1.$$

This last identity defines a recurrent sequence of order e with $a_1 = a_2 = \dots = a_{e-1} = 0$ and $a_e = q^{e-1}$. By virtue

of (2.3) and (2.4), the contribution of τ_1 to the Poincaré series of $H(t)$ is given by

$$\frac{U[1 + qU + \dots + q^{e-1}U^{e-1}]}{1 - q^{e-1}U^e}$$

and thus

$$P(H; U) = 1 + \frac{U[1 + qU + \dots + q^{e-1}U^{e-1}]}{1 - q^{e-1}U^e}.$$

Corollary. The polynomial $H(t) = (t - \alpha(Z))^e$ satisfies the Q -conjecture.

Proposition 3.5. Let

$$H(t) = \beta(0) + \beta(1)t + \dots + \beta(m)t^m, \quad \beta(m) \neq 0,$$

where $\beta(j) \in L[[Z]]$, $j = 1, \dots, m$. Then $P(H; U)$ is a rational function of U .

Proof. If $H(t)$ has no roots in $L[[Z]]$, the contribution of any zero of $H_1(t)$ to the Poincaré series of $H(t)$ is a polynomial in U (because of proposition 2.6), so in this case there is nothing to prove. Let thus $\alpha(Z) = \sum_{k=0}^{\infty} \alpha_k Z^k$ be a zero of $H(t)$ in $L[[Z]]$, with multiplicity $e \geq 1$ so that

$$H(t) = (t - \alpha(Z))^e G(t),$$

where $G(t) \in L[[Z]][t]$, $G(\alpha(Z)) \neq 0$. Because of proposition 3.3, and since we may write

$$Z^r H(t) = (t - \alpha(Z))^e G^*(t),$$

with $G^*(t) \in L((Z))[t]$, for some $r \geq 0$, we may assume that $G(t) \in L[[Z]][t]$. Of course the multiplicity of $\pi_1(\alpha(Z)) = \alpha_0$ in the polynomial $H_1(t) = (t - \alpha_0)^e G_1(t)$ may happen to be $\geq e$, i.e. $G_1(\alpha_0) = 0$. However, there is an index v such that $G(\pi_v(\alpha)) \neq 0$, since otherwise $G(\alpha(X)) = 0$ (proposition 2.6), contrary to the hypothesis. Therefore, the contribution of $\pi_1(\alpha(Z)) = \alpha_0$ to the Poincaré series of $H(t)$ from $n > v$ on will be the same as that of α_0 to the Poincaré series of $(t - \alpha(Z))^e$, which we know, by proposition 3.3, is a rational function.

Corollary. The Poincaré series of a polynomial in one variable and coefficients in $L[[Z]]$ satisfies the Q -conjecture.

Another case which can be handled in this elementary way, but whose proof we do not include here, is the following:

Proposition 3.6. Let $H(t_1, \dots, t_s) = \alpha(Z)t_1^{e_1} \dots t_s^{e_s}$ be a monomial. Then $P(H; U)$ is a rational function of U .

Bibliografía

1. Abhyankar, S., *High-school algebra in algebraic geometry*, *Historia Mathematica* 2 (1975), 567-572.
2. Abhyankar, S., *Historical ramblings in algebraic geometry and related algebra*, *Amer. Math. Monthly* 83 (1976), 409-449.
3. Berline, C., *Rings which admit elimination of quantifiers*, *J. of Symb. Logic* 46 (1981), 56-58.
4. Berline, C., *QE rings in characteristic p^n* , *J. of Symb. Logic* 48 (1983), 140-162.
5. Borevich, Z. I. & Shafarevich, I. R., *Number Theory*, Academic Press, New York, 1966.
6. Cherlin, G. & Dickmann, M. A., *Real closed rings II. Model theory*, *Annals of Pure and Applied Logic* 25 (1983), 213-231.
7. Denef, J., *The rationality of the Poincaré series associated to the p -adic points on a variety*, *Inv. Mathematicae* 77 (1984), 1-23.
8. Goldman, J. R., *Number of solutions of congruences: Poincaré series for strongly non-degenerate forms*, *Proceedings Amer. Math. Soc.* 87 (1983), 586-590.
9. Greenberg, M. J., *Lectures on Forms in Many Variables*, W. A. Benjamin, New York, 1969.
10. Hayes, D. R. & Nutt, M. D., *Reflective functions on p -adic fields*, *Acta Arithmetica* XL (1982), 229-248.
11. Igusa, J.-I., *Complex powers and asymptotic expansions I.*, *J. reine ange. Math.* 268/269 (1974), 110-130.
12. Igusa, J.-I., *Complex powers and asymptotic expansions II.*, *J. reine ange. Math.* 278/279 (1975), 307-321.
13. Igusa, J.-I., *Some observations on higher degree characters*, *Amer. J. Math.* 99 (1977), 393-417.
14. Markushévich, A. I., *Sucesiones recurrentes*, Mir, Moscú, 1974.

NUEVAS ANILLACIONES GENERADAS POR TRANSPOSICIONES MOLECULARES A PARTIR DEL ESQUELETO DEL LONGIPINENO

por

Pedro Joseph-Nathan*

Resumen

Joseph-Nathan, P. Nuevas anillaciones generadas por transposiciones moleculares a partir del esqueleto del longipineno. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 21(80): 321-334, 1997. ISSN 0370-3908.

Se describe la preparación de derivados del 4,8,8-trimetil-9-metilenperhidro-1,5- -methanonaftaleno, de derivados del 8,8,9-trimetil-4-metilenperhidro-1,3,5-metano-naftaleno, de derivados del 2,6,6,11-tetrametiltriciclo[5.4.0.0^{4,8}]undecano, de derivados del 2,6,6,9-tetrametiltriciclo[5.4.0.0^{4,8}]undecano y de derivados del 4,4,8,9-tetrametil-perhidro-1,7-metanonaftaleno por transposiciones moleculares de derivados del 2,6,6,9-tetrametiltriciclo[5.4.0.0^{2,8}]undecano.

Palabras claves: Química, Transposiciones moleculares, Longipineno, Anillos.

Abstract

The preparation of 4,8,8-trimethyl-9-methyleneperhydro-1,5-methanonaphthalene derivatives, of 8,8,9-trimethyl-4-methyleneperhydro-1,3,5-methanonaphthalene derivatives, of 2,6,6,11-tetramethyltriciclo[5.4.0.0^{4,8}]undecane derivatives, of 2,6,6,9-tetra-methyltriciclo[5.4.0.0^{4,8}]undecane derivatives and of 4,4,8,9-tetramethylperhydro-1,7-methanonaphthalene derivatives by molecular rearrangements of 2,6,6,9-tetramethyl-triciclo[5.4.0.0^{2,8}]undecane derivatives is described.

Key words: Chemistry, Molecular rearrangements, Longipinene, Rings.

Los longipinenos toman dicho nombre del aislamiento y determinación estructural del hidrocarburo padre, el

alfa-longipineno, que fue descrito en 1963 como un constituyente aceitoso del *Pinus sylvestris* (Erdtman & Westfelt, 1963). Son compuestos que presentan una anillación peculiar, ya que a ambos lados de un anillo central de cuatro miembros y en fusiones 1-3, se encuentran distribuidos un anillo de seis y un anillo de siete

* Profesor Emérito, Departamento de Química, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, Apartado 14-740, México, D.F., 07000 México.

miembros. Se les aísla frecuentemente de especies del género *Stevia* (Román, Loeza-Coria, Hernández, Cerda-García-Rojas, Sánchez-Arreola & Joseph-Nathan, 1993) aunque no son exclusivos de dicho género.

Nuestros estudios en este tipo de moléculas se originan al inicio de la década de los ochentas cuando de las raíces de *Stevia ovata* (= *S. rhombifolia*) (Román, del Río, Hernández, Joseph-Nathan, Zabel & Watson, 1981) aislamos un longipineno altamente oxigenado al que llamamos rasteviona. Posteriormente establecimos la estereoquímica (Román, del Río, Hernández, Cerda, Cervantes, Castañeda & Joseph-Nathan, 1985), configuración absoluta y conformación de estas moléculas sesquiterpénicas (Joseph-Nathan, Cerda, del Río, Román & Hernández, 1986).

Una reacción que se le efectuó (Figura 1) hace tiempo, pero que fue descrita al inicio de la década de los noventas, (Román, Hernández, del Río, Bucio, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1991) es el tratamiento del producto natural con ácido *p*-toluensulfónico. Esta reacción proporciona en alto rendimiento un producto de transposición tipo Wagner-Meerwein, en el que el anillo original de cuatro miembros se expande a un anillo de cinco miembros, se elimina una molécula de agua y los dos grupos angelato se isomerizan a grupos tigolato, que son termodinámicamente más estables.

Debido a que estos compuestos tricíclicos tensionados derivados del longipineno ofrecen la posibilidad de generar anillaciones nuevas, ya que la migración de enlaces puede ser inducida para eliminar tensiones en el anillo de cuatro miembros, se efectuó el estudio de las tres moléculas diacetiladas (Figura 2) que presentan diferencias estructurales en el grupo metilo que se encuentra localizado en el anillo de seis miembros.

Cuando cada uno de estos tres compuestos es tratado con eterato de trifluoruro de boro, se genera en cada caso el correspondiente perhidro-1,5-metanonaftaleno rearrreglado. Sin embargo existen marcadas diferencias de reacción entre las dos moléculas saturadas, mismas que

se transponen en 89% de rendimiento cuando el grupo metilo es *alfa* y en 64% de rendimiento cuando el grupo metilo es *beta*. En severo contraste con los valores anteriores está el caso en el que hay un doble enlace en el anillo de seis miembros, ya que ahora la transposición ocurre con solamente 21% de rendimiento y se forman otros productos de reacción, tal como se ilustra más adelante.

Para simplificar el panorama, el diol mostrado en la parte superior izquierda de la Figura 3, mismo que se obtiene fácilmente por la hidrólisis de mezclas complejas de ésteres de longipineno (Joseph-Nathan, Cerda, Román & Hernández, 1989), se sometió a la transposición molecular por tratamiento con ácido *p*-toluensulfónico bajo condiciones de reacción cuidadosamente controladas. Para nuestra sorpresa, fuimos capaces de aislar dos productos de reacción, (Román, Hernández, Cerda-García-Rojas, Domínguez-López & Joseph-Nathan, 1992), que son el producto de la transposición tipo Wagner-Meerwein mostrado en la parte central superior de la Figura 3, en 36% de rendimiento y la dicetona mostrada arriba a la derecha en la Figura 3, en 54% de rendimiento. En contraste con estos resultados, cuando el derivado dihidro se somete a idénticas condiciones de reacción, se aísla la dicetona mostrada en la parte inferior derecha de la Figura 3, en 84% de rendimiento y no se obtiene nada de la enolona mostrada en la parte central inferior de la Figura 3.

Por lo tanto se decidió preparar el estereoisómero del dihidroderivado, es decir el compuesto que tiene la estereoquímica inversa en el grupo metilo secundario. Para preparar este cetodiol se partió (Figura 4) de la triolona obtenida como el producto de hidrólisis de la rasteviona, ya que posee la estereoquímica deseada en el grupo metilo secundario. Dicha triolona se trató con cloruro de *p*-toluensulfonilo en piridina para obtener fundamentalmente el monotosilato en el oxhidrilo central. Esta tosiliación selectiva es consecuente con factores estéricos y con la conformación preferida de la triolona, ya que el oxhidrilo superior es *pseudo*-axial, el oxhidrilo inferior está cercano al grupo *gem*-dimetilo y el oxhidrilo central, que es el más reactivo, está *pseudo*-ecuatorial.

Los dos oxhidrilos libres de este monotosilato fueron acetilados bajo condiciones de reacción comunes y el grupo carbonilo fue protegido como el etilencetal correspondiente. El compuesto resultante fue tratado con hidruro de litio y aluminio para eliminar el grupo tosilo, durante cuyo proceso se pierden los dos acetilos de los acetatos. Finalmente se regeneró el grupo carbonilo por tratamiento del cetal con ácido clorhídrico.

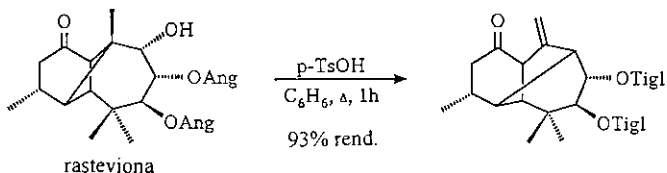


Figura 1. Transposición de rasteviona con ácido *p*-toluensulfónico.

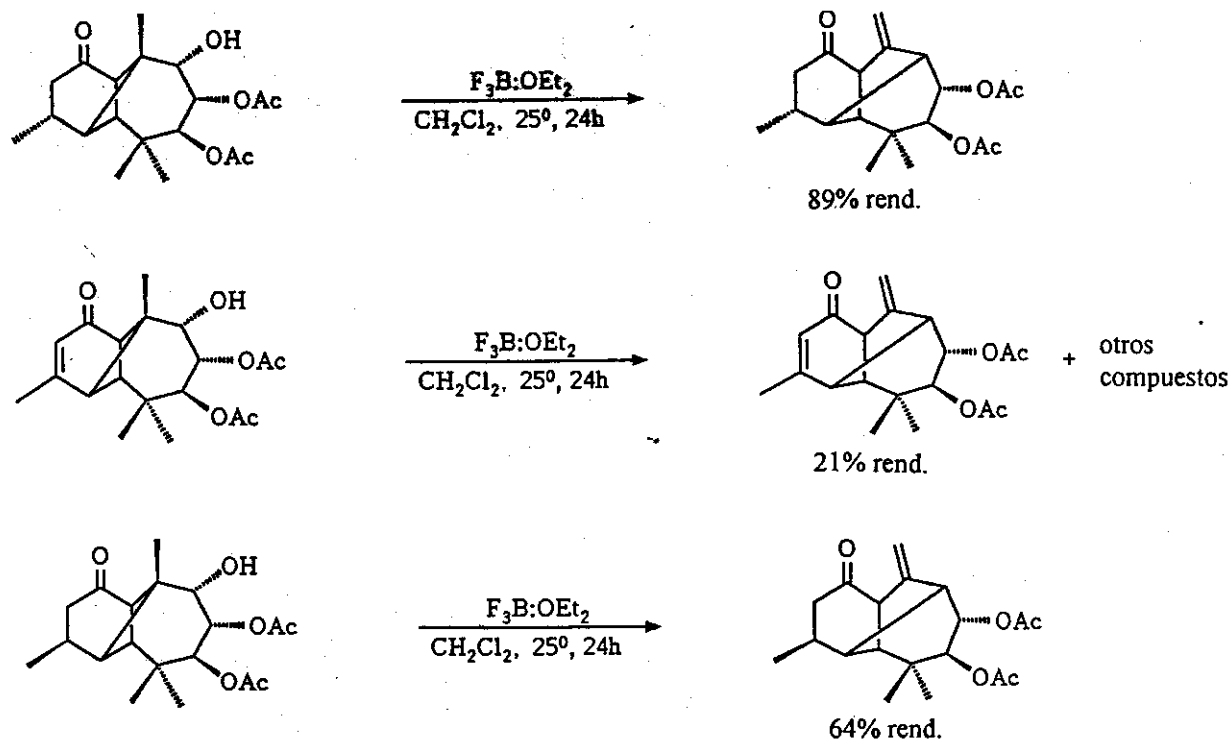


Figura 2. Reacción de longipinenos con eterato de trifluoruro de boro.

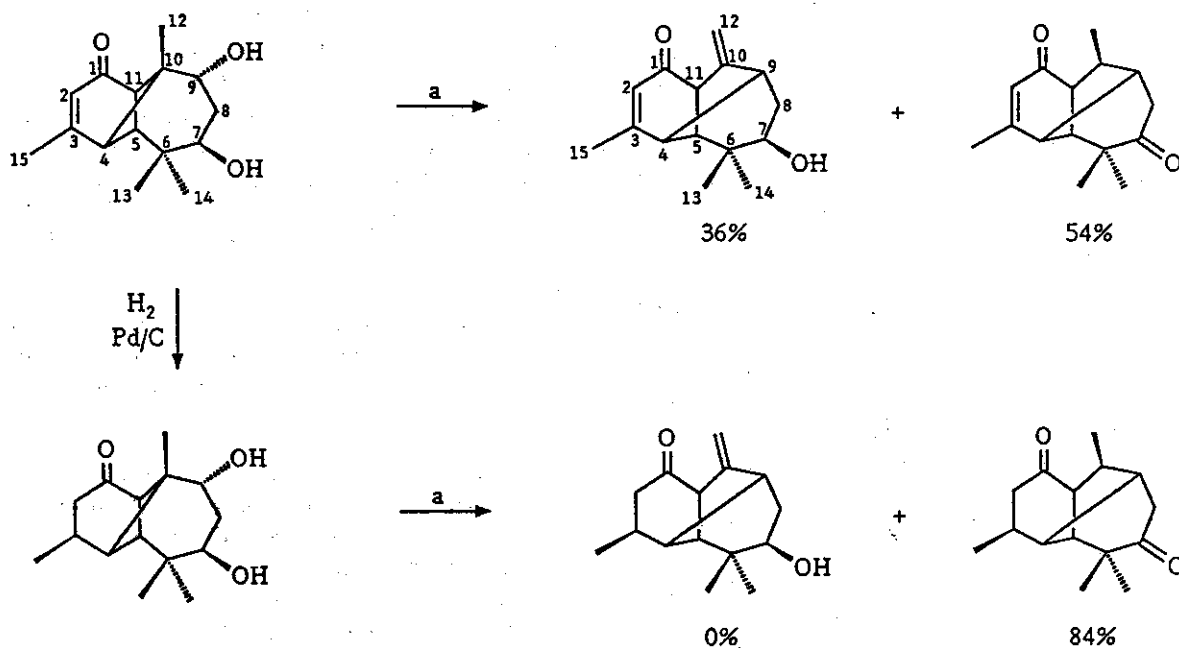
a) Sustrato (300 mg) en C_6H_6 (70 ml) con $TsOH$ (500 mg) a reflujo por 2 h.

Figura 3. Evidencia inicial de migración transanular de hidruro.

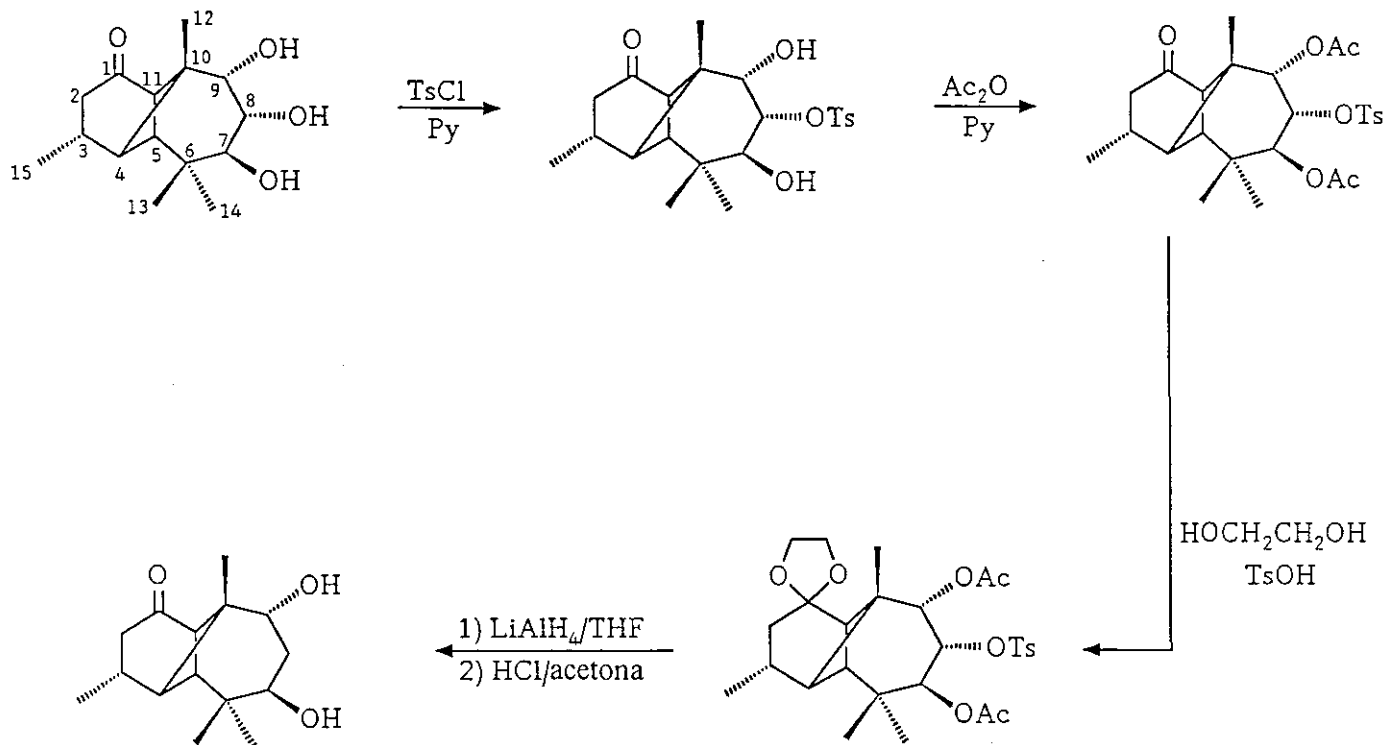


Figura 4. Eliminación del oxígeno en C-8 en longipinanos.

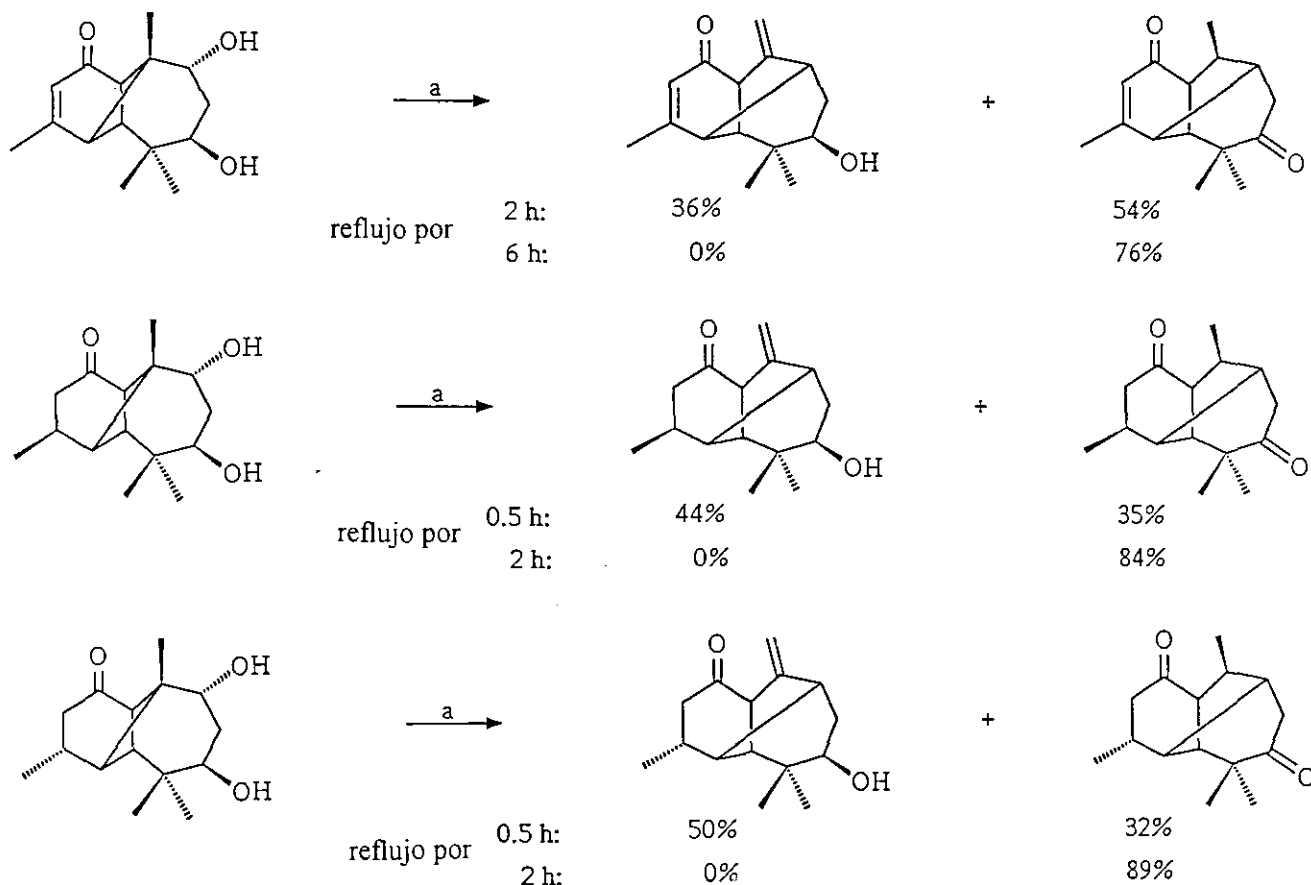
El diol deseado, que posee la estereoquímica *alfa* en el grupo metilo secundario, fue tratado bajo exactamente las mismas condiciones de transposición que se usaron en los tratamientos de los dos dioles previamente mencionados (Figura 5). Nuevamente se obtuvo solamente la dicetona, en esta ocasión en 89% de rendimiento, indicando de esta manera que ambas moléculas saturadas reaccionan similarmente y que el longipineno insaturado presenta un comportamiento significativamente diferente en cuanto a velocidades de reacción se refiere.

A fin de obtener evidencia adicional a este respecto, para el caso del diol que tiene el grupo metilo *alfa*, la reacción se suspendió después de media hora con lo que se pudieron aislar ambas moléculas, es decir la enolona en 50% de rendimiento y la dicetona en 32% de rendimiento, tal y como se muestra en la porción inferior de la Figura 5. De la misma manera, tal y como lo enseña la parte central de la Figura 5, después de media hora de reacción, el compuesto que tiene el metilo secundario *beta* proporciona la enolona en 44% de rendimiento y la dicetona en 35% de rendimiento. En contraste con lo anterior, cuando la reacción del longipineno insaturado se mantiene por 6 h, no se obtiene nada de la dienolona ya que solamente se

aisla la dicetona mostrada en la parte superior derecha de la Figura 5 en 76% de rendimiento. Estos resultados evidencian que los tres dioles reaccionan de manera similar, pero que los dihidroderivados reaccionan considerablemente más rápido que el longipineno insaturado.

El mecanismo de reacción parece ser similar para la transformación de los tres dioles y se ilustra en la Figura 6 para el caso de la molécula insaturada, que es la que reacciona más lentamente. De acuerdo a esta propuesta, la protonación inicial del sustrato, mostrada en el paso "A", proporciona el intermediario que reúne los requisitos para la migración antiperiplanar de enlace mostrado en el paso "B", proporcionando un ión carbonio que puede eliminar un protón del grupo metilo para producir el compuesto estable que tiene el metileno exocíclico, tal como se ilustra en el paso "C". El mismo ión carbonio puede sufrir una migración intramolecular transanular de un ión hidruro, asistida por el grupo oxhidrilo, tal como se ilustra en el paso "D", para proporcionar la dicetona final mostrada en la parte superior derecha de la Figura 6.

La reversibilidad del paso "C" fue demostrada cuando el compuesto que está en la parte superior central de la Figura 6, fue sometido a las mismas condiciones de



a) Sustrato (300 mg) en C_6H_6 (70 ml) con TsOH (500 mg) a reflujo.

Figura 5. Comparación de la reactividad en función del ambiente en C-3 en longipinanos.

reacción y por supuesto proporcionó la dicetona con la velocidad de reacción adecuada. El mismo comportamiento fue mostrado por los dos compuestos que poseen la estructura de ciclohexanona saturada. La migración del ión hidruro indicada en el paso "D" fue demostrada independientemente por marcaje isotópico con deuterio.

La preparación del derivado deuterado se efectuó como lo enseña la Figura 7. El diol insaturado puede ser esterificado selectivamente en el grupo oxhidrilo inferior, usando cantidades moderadas de cloruro de *p*-nitrobenzoílo en cloruro de metileno a temperatura ambiente y luego puede ser acetilado bajo condiciones comunes de reacción. Debido a que los *p*-nitrobenzoatos son menos resistentes a la hidrólisis que los acetatos, el éster aromático pudo ser quitado selectivamente para proporcionar el monoacetato en el oxígeno superior. El grupo oxhidrilo inferior fue oxidado con trióxido de cromo

en ácido acético, para proporcionar el compuesto carbonílico como se ilustra en la parte central inferior de la Figura 7. Este compuesto tiene un carbonilo saturado y un carbonilo insaturado y la diferencia de reactividad entre estos dos carbonilos permite, usando cantidades moderadas de deuterio de boro y sodio, reducir selectivamente al grupo carbonilo saturado, incorporando de esta manera la marca isotópica deseada. El paso final para obtener el sustrato deseado, es una simple reacción de hidrólisis que fue efectuada usando hidróxido de potasio en una mezcla de metanol y agua.

El tratamiento del compuesto deuterado bajo las condiciones de transposición, proporcionó exclusivamente la dicetona en 50% de rendimiento, después de 9 h de reacción (Figura 8). El mayor tiempo de reacción es requerido aquí, debido a que es más difícil romper un enlace carbono-deuterio que un enlace carbono-hidrógeno.

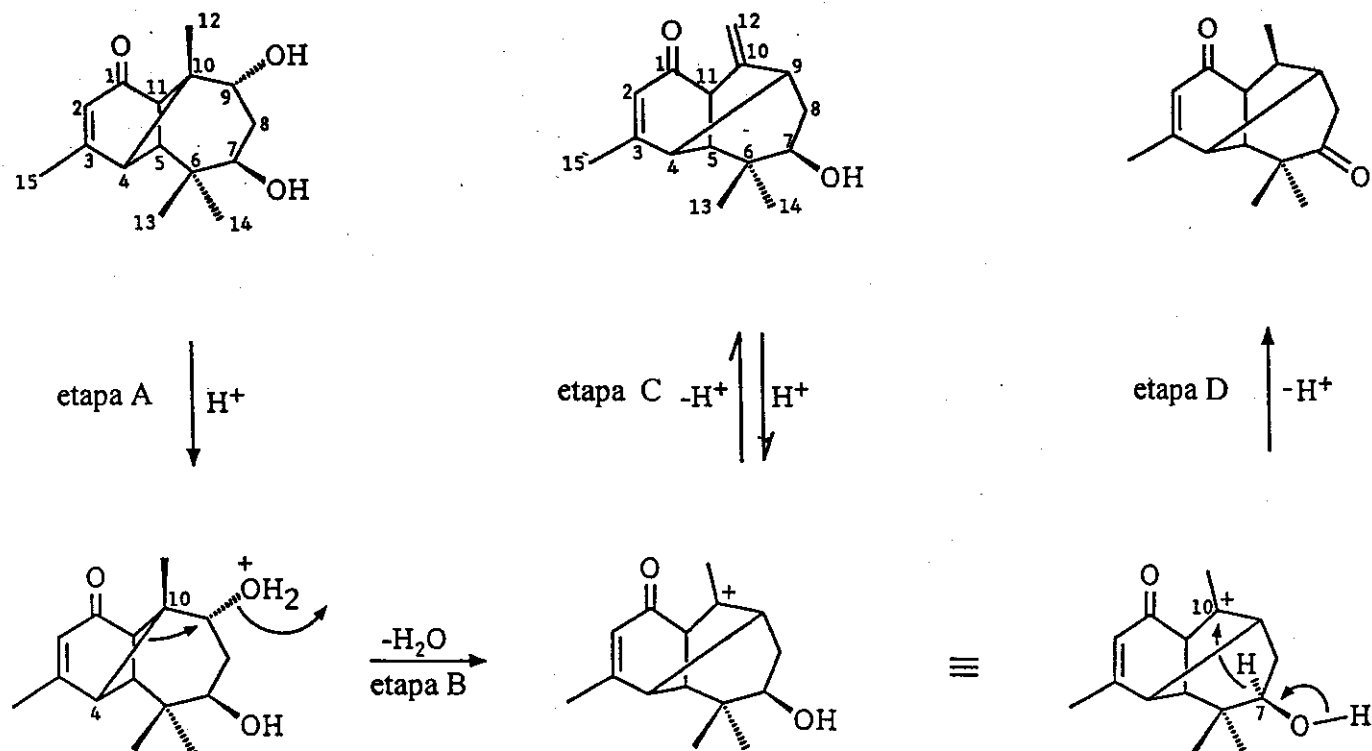


Figura 6. Mecanismo de reacción propuesto.

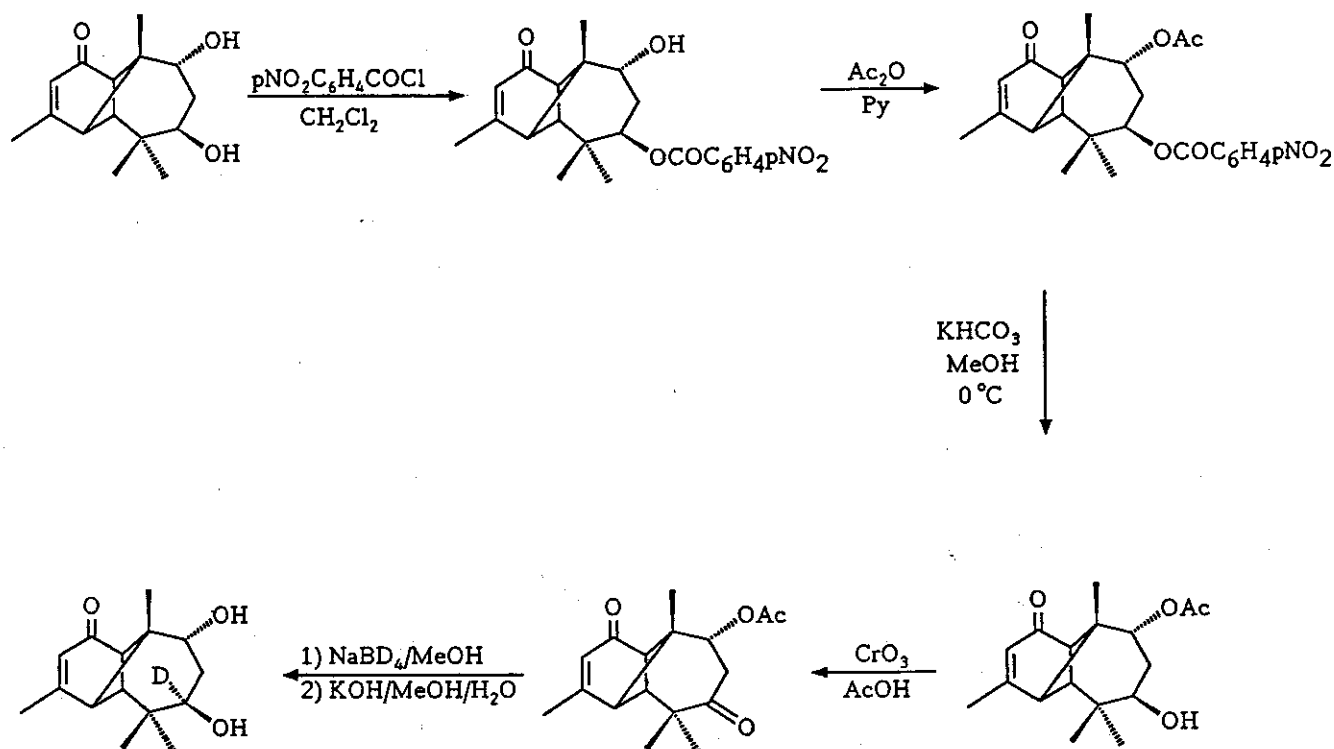


Figura 7. Introducción de un átomo de deuterio en C-7 de la longipin-2-en-7β,9α-diol-1-ona.

Para obtener información adicional de los efectos presentes en la transposición de los tres dioles, se decidió desarrollar una estrategia que permite efectuar mediciones cinéticas en los dos pasos de reacción involucrados, tal y como se ilustra en la Figura 9 para el diol insaturado.

Evaluando la aparición de señales en los espectros de resonancia magnética nuclear a 300 MHz, se estudiaron por un lado los monoacetatos para el paso de la transposición tipo Wagner-Meerwein, ya que de esta manera se impide el paso de la migración de hidruro que requiere la asistencia del grupo oxhidrilo libre. Los productos de transposición se hidrolizaron bajo condiciones alcalinas y los alcoholes así obtenidos fueron sometidos nuevamente a las condiciones de reacción bajo las cuales ocurren tanto la transposición tipo Wagner-Meerwein, como la migración de hidruro.

Tal y como puede ser predicho, ambos pasos cinéticos son de *pseudo*-primer orden en el sustrato y las gráficas para la transposición tipo Wagner-Meerwein son mostradas en la Figura 10. Las velocidades relativas de reacción, enseñan que los dos sustratos saturados reaccionan unas cinco veces más rápido que el derivado insaturado del longipineno y que el compuesto que tiene el grupo metilo *beta* reacciona ligeramente más rápido que el compuesto que tiene el metilo secundario *alfa*.

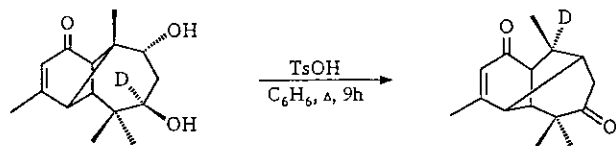


Figura 8. Migración de deuterio.

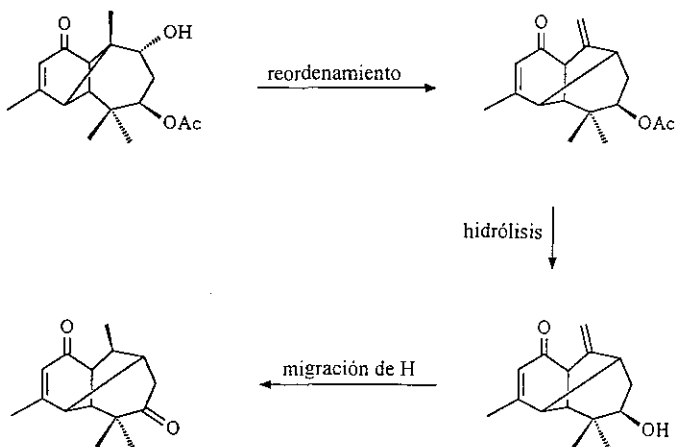


Figura 9. Reconocimiento de los pasos individuales de la transposición.

La diferencia de velocidades de reacción entre los dos compuestos saturados puede ser explicada después de la construcción de modelos moleculares (Figura 11), ya que en el caso del grupo metilo *beta* la reacción se acelera adicionalmente por una asistencia anquimérica, causada por una interacción estérica entre los metilos angular y secundario (Cerdá-García-Rojas, del Río, Joseph-Nathan, Román & Hernández, 1994).

Las velocidades de reacción relativas para el paso de la migración del ión hidruro se enseñan en las gráficas de la Figura 12, en las que nuevamente se observa la concentración del sustrato a diferentes tiempos. Nuevamente los compuestos saturados en el anillo de seis miembros reaccionan unas siete veces más rápido que el compuesto insaturado. Hay que recordar que aquí se está postulando que tanto el paso de la transposición tipo Wagner-Meerwein, como el paso de la migración del ión hidruro, asumen el mismo carbocatión intermediario. Por lo tanto no es sorpresivo que ambos pasos de reacción sean más lentos en el compuesto que tiene un doble enlace adicional, ya que hay una estabilización extra del ión carbonio que puede ser invocada por la presencia de los electrones *pi* del doble enlace, como lo enseña la Figura 13.

Etapas de reordenamiento

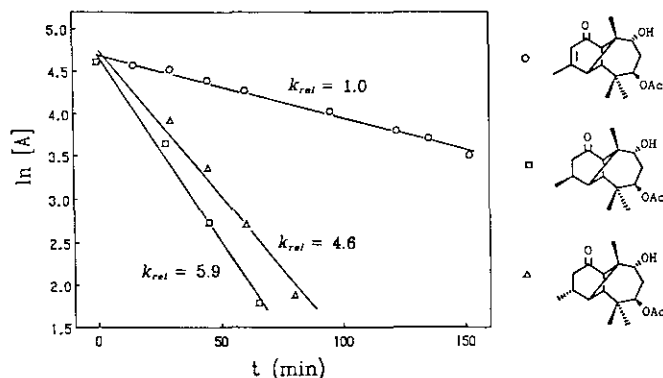


Figura 10. Comparación de las velocidades de reacción de la transposición.

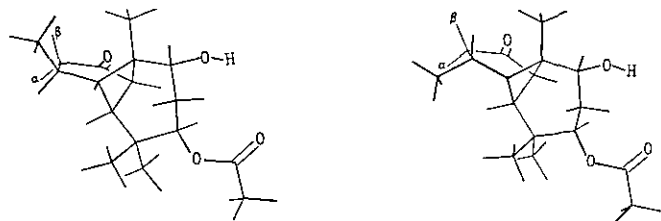


Figura 11. Modelos moleculares con variación estereoquímica en C-3 en longipinanos.

Todas las reacciones descritas hasta este punto fueron efectuadas bajo condiciones de catálisis ácida, para promover la expulsión de un grupo oxhidrilo como una molécula de agua. A fin de explorar otras condiciones de reacción para inducir transposiciones moleculares (Joseph-Nathan & Cerda-García-Rojas, 1994), se preparó el dimesilato del longipineno que tiene dos grupos oxhidrilo. El espectro de resonancia magnética nuclear de hidrógeno del producto crudo de la reacción, enseña que efectivamente se trata de la molécula deseada con pureza relativamente elevada. Sin embargo, cuando este dimesilato es calentado en metanol, simplemente para fines de recrystalización, se transforma lentamente en el producto de transposición tipo Wagner-Meerwein, que

Etapas de migración de H

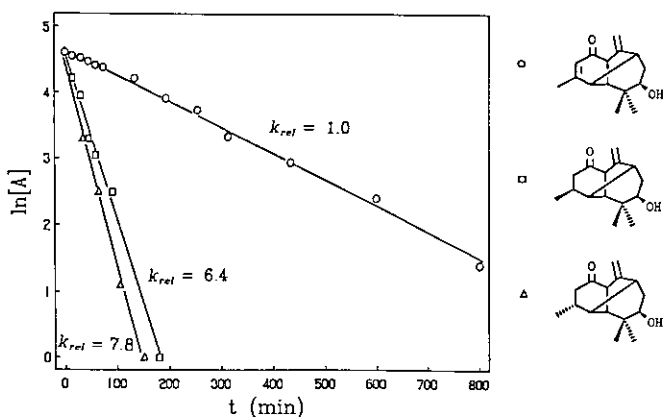


Figura 12. Comparación de las velocidades de reacción de la migración de hidruro.

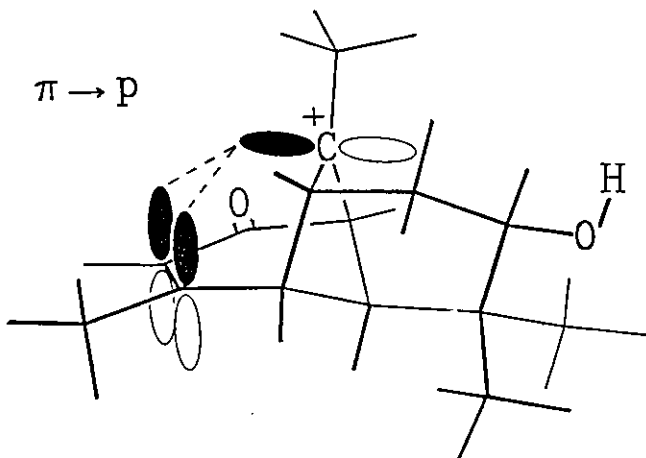


Figura 13. Interacciones electrónicas en el intermediario de reacción.

contiene un solo mesilato y que se enseña en la parte inferior derecha de la Figura 14. La transposición se puede efectuar con 88% de rendimiento cuando el dimesilato se hierve bajo reflujo en metanol durante 14 horas, o puede ser completada en pocas horas agregando bicarbonato de sodio al medio de reacción.

Sin embargo, cuando la reacción se efectúa en la presencia de hidróxido de potasio, se obtiene la mezcla de productos ilustrados en la parte inferior de la Figura 14, mismos que se obtienen en 26 y en 54% de rendimiento respectivamente. El producto de reacción más abundante, es una molécula tetracíclica que nuevamente tiene un anillo de cuatro miembros y que además posee un metileno exocíclico.

La co-ocurrencia de ambos productos de reacción bajo condiciones alcalinas severas, puede ser explicada como se ilustra en la Figura 15. Para la transposición simple del tipo Wagner-Meerwein, se puede invocar un proceso concertado en el que la eliminación del mesilato y de un hidrógeno del grupo metilo angular, permiten la migración antiperiplanar del enlace, tal y como lo ilustra la parte superior de la Figura 15. Por otra parte, para la formación del sistema tetracíclico es necesario invocar la existencia de un carbanión delocalizado, que puede sufrir la transposición molecular mostrada.

Cierta evidencia en apoyo a este mecanismo de reacción, fue obtenida cuando el dimesilato fue tratado con metanol deuterado en presencia de metóxido de sodio, con lo que se pudo obtener en 77% de rendimiento el compuesto decadeuterado mostrado en la Figura 16.

Después de haber estudiado las transposiciones moleculares de longipinenos con dos átomos de oxígeno

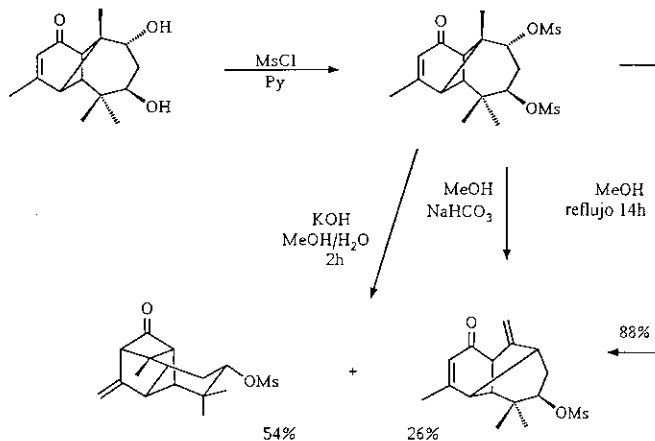


Figura 14. Tratamientos alcalinos del dimesilato de la longipin-2-en-7β,9α-diol-1-ona.

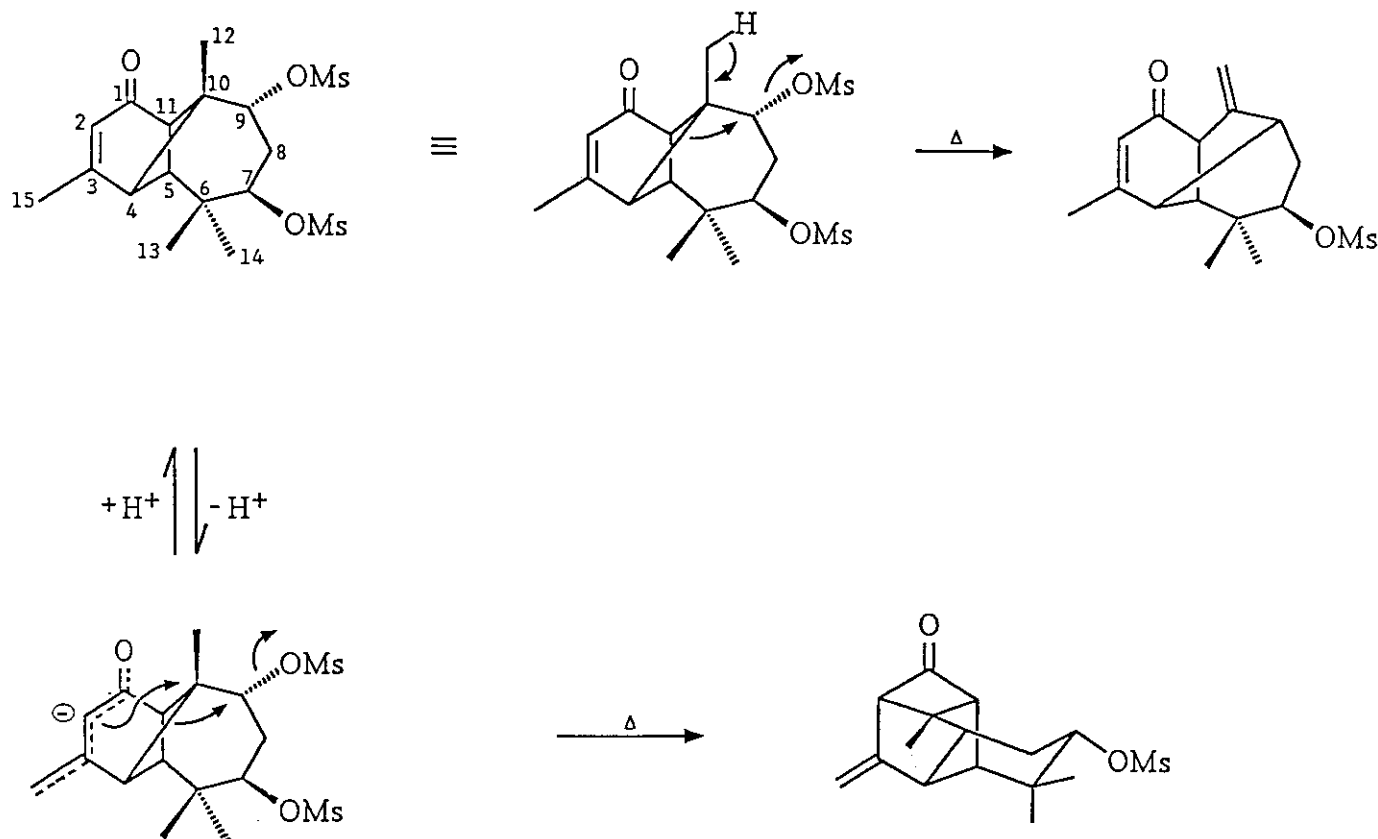


Figura 15. Mecanismos de reacción del dimesilato de la longipin-2-en-7 β ,9 α -diol-1-ona.

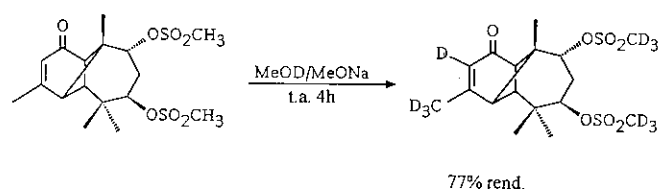


Figura 16. Reacción de decadeuteración.

en el anillo de siete miembros, se decidió enfocar la atención a casos en los que están presentes tres átomos de oxígeno en el mismo anillo de siete miembros. Para este propósito, la rasteviona natural (Figura 17) fue tratada con cloruro de metansulfonilo, para proporcionar el mesilato correspondiente. Este compuesto fue tratado con hidróxido de potasio en metanol bajo reflujo, para proporcionar (Román, Zepeda, Morales, Hernández, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1995) la mezcla epimérica de los dos productos de transposición mostrados, que se obtuvieron

en 58% de rendimiento para la molécula no epimerizada y en 21% de rendimiento para el compuesto epimerizado. Durante el curso de la reacción se pierden por hidrólisis los dos grupos angelato y el grupo mesilato se elimina.

Un mecanismo factible para explicar esta transformación (Román, Zepeda, Morales, Flores, Hernández, Cerda-García-Rojas & Joseph-Nathan, 1996), asume la hidrólisis inicial de los dos grupos angelato, seguida de la substracción del protón del oxhidrilo *alfa* al grupo mesilato. Posteriormente ocurre una migración 1,2 de hidruro asistida por el oxígeno, para eliminar el grupo mesilato, proporcionando de este modo el derivado cetohol mostrado en la parte inferior derecha de la Figura 18.

En esta etapa el grupo oxhidrilo *alfa* al carbonilo se puede epimerizar para proporcionar la mezcla de los dos compuestos. Cada uno de estos compuestos puede ahora perder un protón del grupo metileno *alfa* al carbonilo y puede ocurrir la transposición molecular mostrada en la Figura 19, para generar la mezcla final de productos de la reacción.

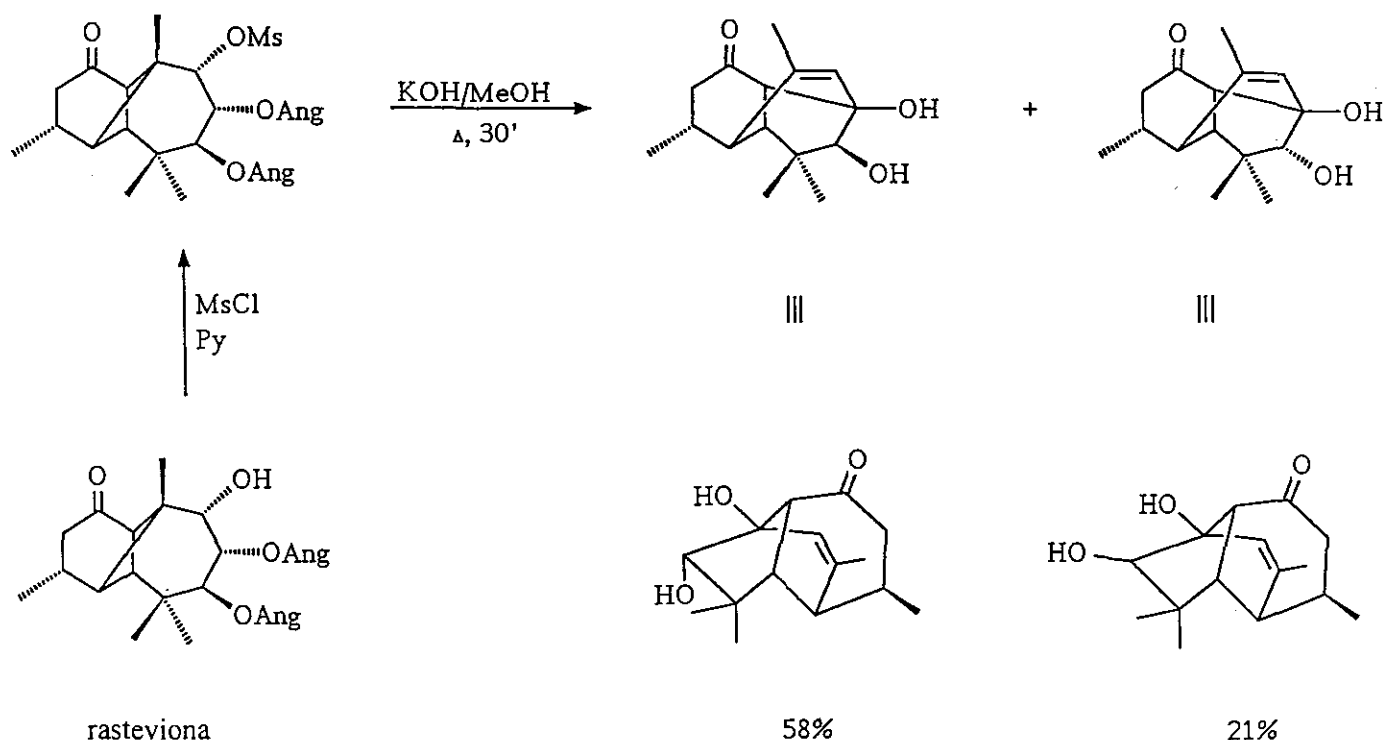


Figura 17. Tratamiento alcalino del mesilato de rasteviona.

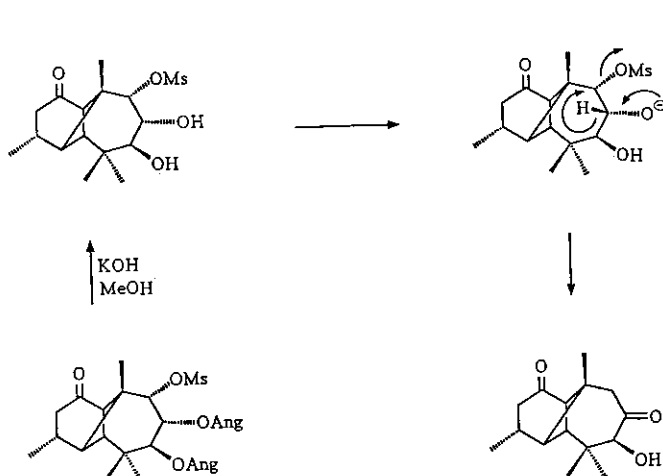


Figura 18. Pasos iniciales del tratamiento alcalino del mesilato de rasteviona.

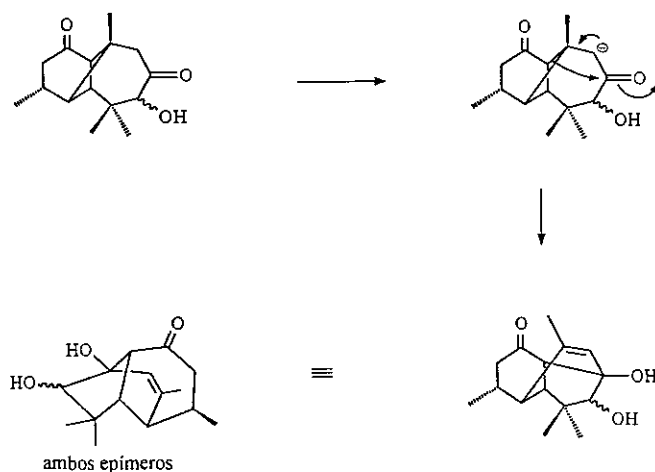


Figura 19. Pasos finales del tratamiento alcalino del mesilato de rasteviona.

Con el propósito de obtener evidencia en apoyo a este mecanismo de reacción, es necesario preparar por lo menos uno de los isómeros del dicetoalcohol ilustrado en la parte superior izquierda de la Figura 19, o en el peor de los casos, preparar un éster que pueda ser hidrolizado

fácilmente bajo las condiciones de transposición que emplean hidróxido de potasio.

Por lo tanto, el mesilato de rasteviona se trató con etilenglicol bajo catálisis ácida para proteger al grupo

carbonilo. Durante esta reacción los ésteres angélicos se isomerizan a los correspondientes tiglatos. El mesilato y los dos tiglatos fueron removidos como se enseña, por la acción del hidruro de litio y aluminio y luego se regeneró el grupo carbonilo por tratamiento del cetral con ácido clorhídrico en metanol. El cetodiol así obtenido, que está representado en la parte inferior derecha de la Figura 20, se esterificó empleando cantidades moderadas de cloruro de *p*-nitrobenzoilo, proporcionando una mezcla de los dos posibles monoésteres, de los que el deseado se ilustra aquí. Esta mezcla de monoésteres no pudo ser separada, por lo que fue oxidada a la mezcla de compuestos carbonílicos, misma que sí pudo ser separada para obtener la dicetona deseada.

Cuando este diceto-*p*-nitrobenzoato es sometido a la transposición molecular inducida por hidróxido de potasio, también proporciona los dos productos esperados, tal y como se ilustra en la Figura 21. Esto demuestra que el dicetoalcohol propuesto, efectivamente es un intermediario en la transposición molecular.

Otro trihidroxiderivado en el anillo de siete miembros, pero que tiene una cetona *alfa,beta*-insaturada en el anillo

de seis miembros, que también fue estudiado, es el mesilato diacetato mostrado en la Figura 22, que cuando se trata bajo condiciones de reacción alcalina, proporciona casi exclusivamente un solo compuesto de transposición, que se aísla en 67% de rendimiento cuando la reacción se mantiene bajo reflujo por dos horas. En este caso el enlace 4-10 del anillo de cuatro miembros es el que migra, en vez del enlace 10-11 del mismo anillo de cuatro miembros, que es el que migra cuando el anillo de seis miembros está saturado como ciclohexanona. Al momento no tenemos una explicación para esta diferencia de migración de enlaces, aunque asumimos que otros aspectos del mecanismo de reacción son similares a los mostrados previamente.

Tal como fue mencionado en las fases iniciales de este estudio, el tratamiento de la rasteviona o de derivados diésteres similares, teniendo un oxhidrilo libre, proporciona productos de transposición tipo Wagner-Meerwein cuando son tratados con eterato de trifluoruro de boro, tal y como se ilustra en la parte superior izquierda de la Figura 23. Sin embargo, cuando el mismo sustrato es tratado con ácido *p*-toluensulfónico bajo reflujo en benceno durante una hora, proporciona una mezcla constituida por 42% del producto

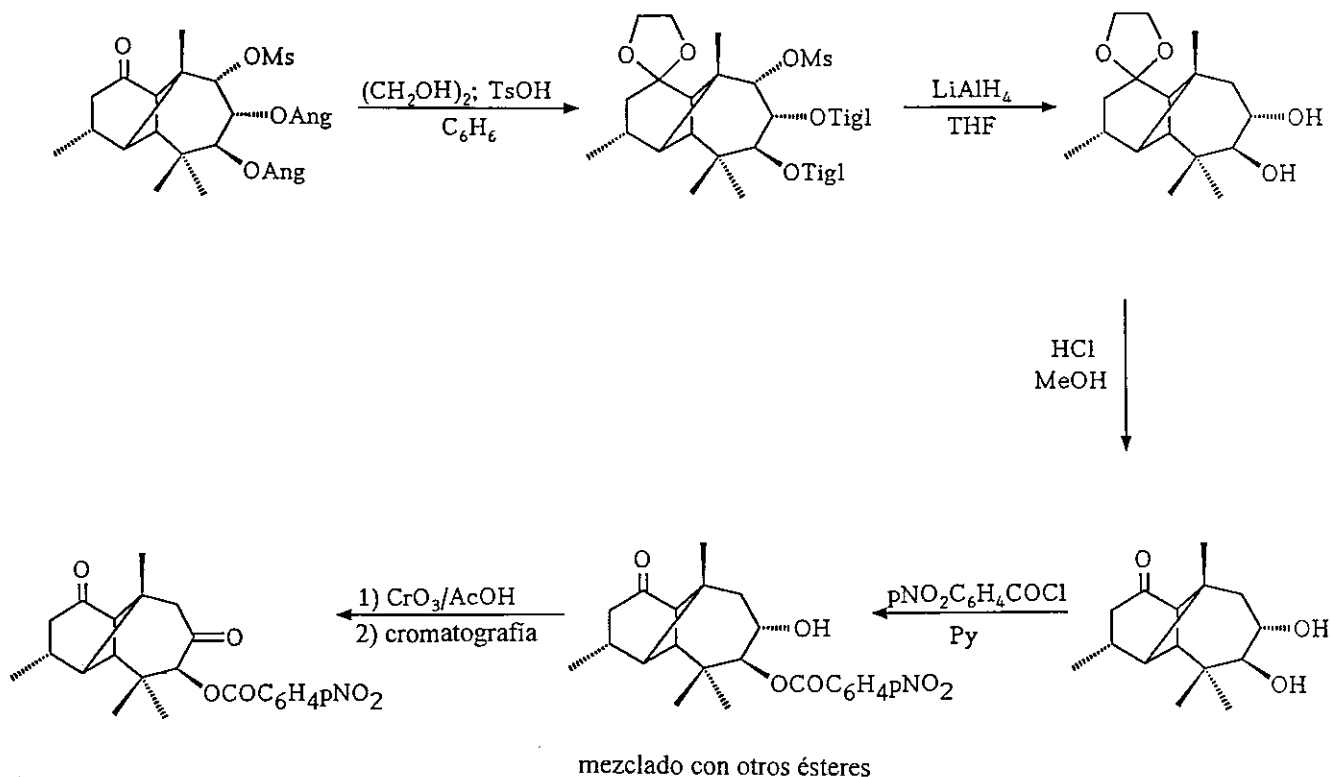


Figura 20. Preparación del *p*-nitrobenzoato del intermediario de reacción.

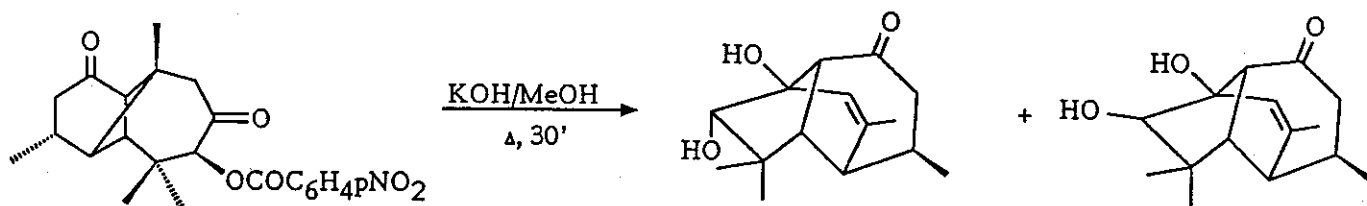


Figura 21. Transformación del *p*-nitrobenzoato a los productos finales.

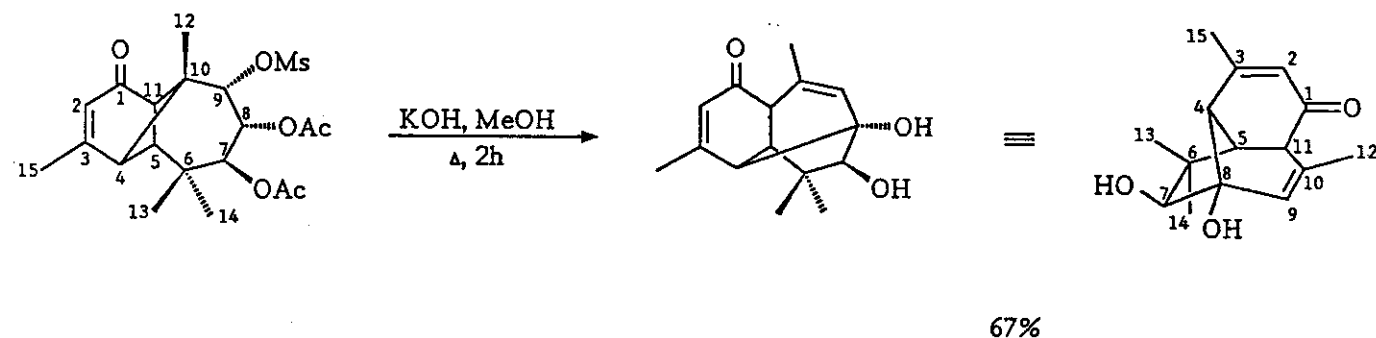


Figura 22. Reacción del análogo insaturado.

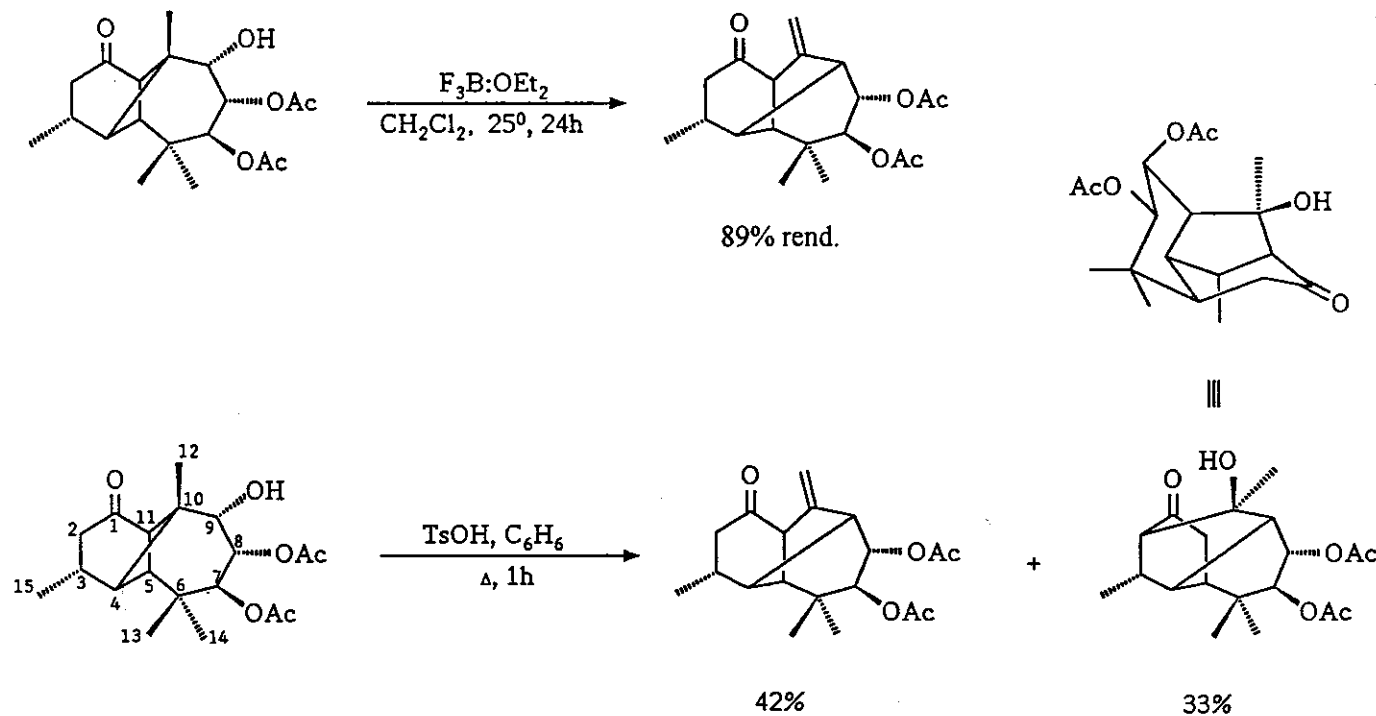


Figura 23. Comparación de productos obtenidos con un ácido fuerte y con un ácido de Lewis.

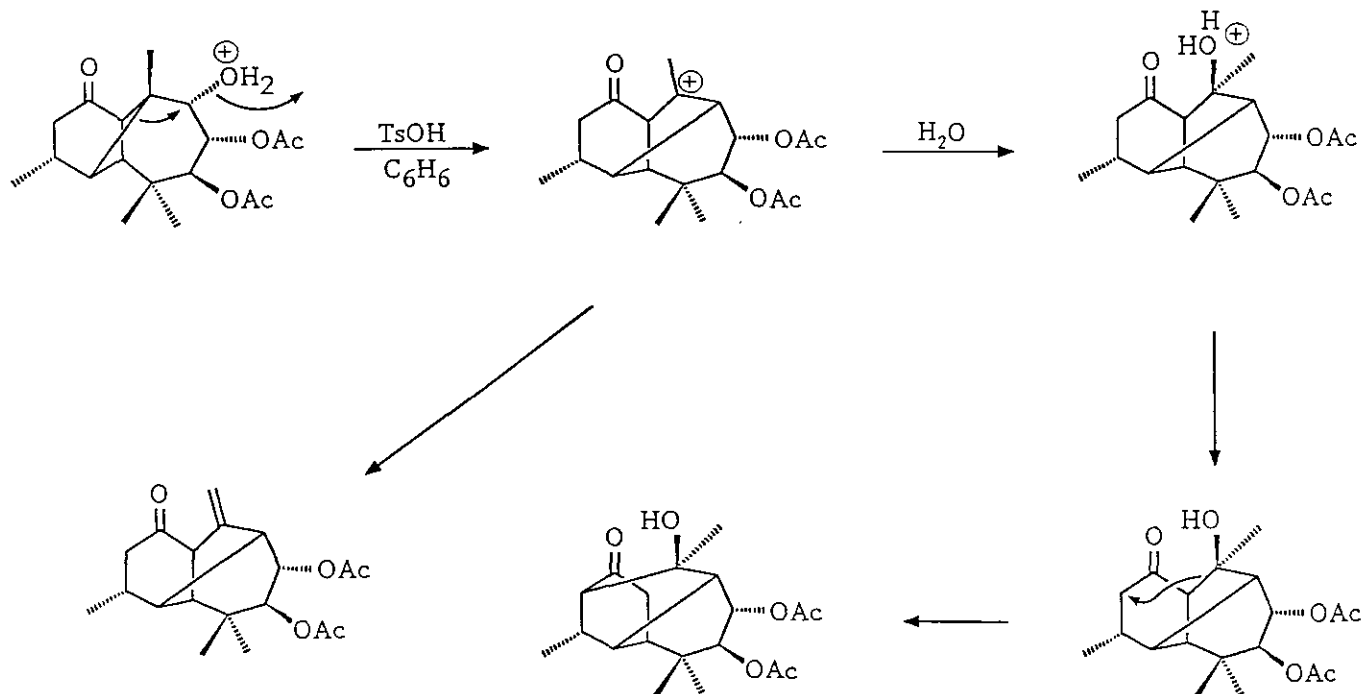


Figura 24. Mecanismo de reacción.

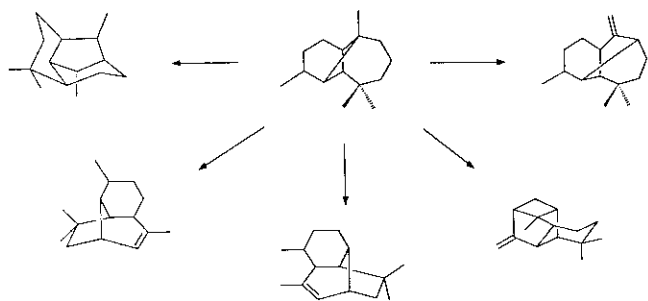


Figura 25. Nuevas anillaciones generadas a partir del esqueleto del longipineno.

de transposición tipo Wagner-Meerwein y 33% de un compuesto con otra anillación diferente, mismo que se origina por la migración del enlace 4-10 a la posición 4-9 y la migración del enlace 10-11 a la posición 2-10. En adición, el producto de la reacción posee un grupo oxhidrilo terciario.

Un mecanismo de reacción factible para explicar esta transformación, se postula en la presente proyección. La protonación del grupo oxhidrilo proporciona los requerimientos moleculares para la migración antiperi-

planar de enlace, para la transposición tipo Wagner-Meerwein que proporciona un ión carbonio terciario. Este ión carbonio puede perder un protón, para proporcionar la molécula que contiene el metileno exocíclico que se ilustra en la parte inferior izquierda de la Figura 24. Alternativamente, este ión carbonio puede atrapar una molécula de agua para proporcionar el hidrato. Posteriormente, el enlace 10-11 que está *alfa* al carbonilo, puede migrar a la posición 2-10 que también está *alfa* al carbonilo. La secuencia exacta de eventos mecanísticos no es conocida en este momento y hay experimentación en proceso para tratar de aclarar el panorama.

En resumen, hasta la fecha hemos sido capaces de generar los cinco nuevos esqueletos moleculares mostrados en la Figura 25. Esto, por supuesto, ha sido posible debido a la tensión molecular presente en el anillo de cuatro miembros del esqueleto molecular del longipineno. En todos los casos la distribución de átomos de las anillaciones nuevas, ha sido verificada por difracción de rayos-X.

Bibliografía

Cerda-García-Rojas, C.M., R.E. del Río, P. Joseph-Nathan, L.U. Román, & J.D. Hernández 1994. Conformational analysis of moreliene derivatives. *J. Nat. Prod.* **57**, (3): 369-375.

- Erdtman, H., & L. Westfelt 1963. α -Longipinene, a sesquiterpene with a new carbon skeleton. *Acta Chem. Scand.* 17, (8): 2351-2352.
- Joseph-Nathan, P., & C.M. Cerda-García-Rojas 1994. Molecular rearrangements in longipinane derivatives. *Pure Appl. Chem.* 66, (10/11): 2361-2364.
- _____, C.M. Cerda, R.E. del Río, L.U. Román, & J.D. Hernández 1986. Conformation and absolute configuration of naturally occurring longipinene derivatives. *J. Nat. Prod.* 49, (6): 1053-1060.
- _____, _____, L.U. Román, & J.D. Hernández 1989. Preparation and characterization of naturally occurring longipinene esters. *J. Nat. Prod.* 52, (3): 481-496.
- Román, L.U. R.E. del Río, J.D. Hernández, C.M. Cerda, D. Cervantes, R. Castañeda, & P. Joseph-Nathan 1985. Structural and Stereochemical studies of naturally occurring longipinene derivatives. *J. Org. Chem.* 50, (21): 3965-3972.
- _____, _____, P. Joseph-Nathan, V. Zabel, & W.H. Watson 1981. Structure, chemistry and stereochemistry of rastevione, a sesquiterpenoid from the genus *Stevia*. *Tetrahedron* 37, (16): 2769-2778.
- _____, _____, J.D. Hernández, C.M. Cerda-García-Rojas, R.M. Domínguez-López, & P. Joseph-Nathan 1992. Molecular rearrangements in the longipinene series. *J. Nat. Prod.* 55, (5): 577-588.
- _____, _____, R.E. del Río, M.A. Bucio, C.M. Cerda-García-Rojas, & P. Joseph-Nathan 1991. Wagner-Meerwein rearrangements of longipinane derivatives. *J. Org. Chem.* 56, (5): 1938-1940.
- _____, M. Loeza-Coria, J.D. Hernández, C.M. Cerda-García-Rojas, E. Sánchez-Arreola, & P. Joseph-Nathan 1993. Preparation of a new longipinane derivative from *Stevia serrata*. *J. Nat. Prod.* 56, (7): 1148-1152.
- _____, L.G. Zepeda, N.R. Morales, S. Flores, J.D. Hernández, C.M. Cerda-García-Rojas, & P. Joseph-Nathan 1996. Mechanistic studies of the longipinane to arteagane rearrangements. *J. Nat. Prod.* 59, (4): 391-395.
- _____, _____, J.D. Hernández, C.M. Cerda-García-Rojas, & P. Joseph-Nathan 1995. Molecular rearrangements of rastevione mesylate into arteagane derivatives. *J. Nat. Prod.* 58, (12): 1808-1816.

CINCUENTA AÑOS DE RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR

por

Juan Crisóstomo Martínez Valderrama*

Resumen

Martínez V., J. C.: Cincuenta años de resonancia magnética nuclear. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 21(80): 335-345, 1997. ISSN 0370-3908.

Se presenta una breve información de los principales desarrollos de la Resonancia Magnética Nuclear durante sus cincuenta años de existencia, ejemplificando con dos casos (HETCOR e INADEQUATE) la aplicación a la determinación estructural de compuestos orgánicos.

Palabras claves: RMN, HETCOR, INADEQUATE, Deducción estructuras.

Abstract

Short information about the main developments of Nuclear Magnetic Resonance during their fifty existence years is presented. Beside two examples of application (HETCOR and INADEQUATE) to the structural determination of organic compounds are described.

Key words: NMR, HETCOR, INADEQUATE, Structural determination.

Introducción

Desde el descubrimiento del fenómeno de la Resonancia Magnética Nuclear (RMN), en forma simultánea e independiente en 1946 por los profesores Purcell y Bloch en los laboratorios de Física de las Universidades de Harvard y Stanford respectivamente, esta técnica ha sufrido un desarrollo excepcional, hasta el punto que se le puede considerar como una disciplina científica madura de amplia utilización. Purcell et al. (1946) trabajaron so-

bre los núcleos de hidrógeno de ceras parafínicas utilizando una radiofrecuencia de 30 MHz con un campo magnético de 7 Kgauss. Bloch et al. (1946) trabajaron sobre una muestra de agua y operando a 7.8 MHz con un campo magnético de 1.8 Kgauss. Estos primeros trabajos fueron de interés para los físicos y estuvieron encaminados a la medida de propiedades nucleares, pero en 1951 Martín Packard y sus colaboradores (Arnold et al. 1951) en la universidad de Stanford publicaron, por primera vez, el espectro de RMN de hidrógeno (RMN¹H) del etanol como era observado en la pantalla del osciloscopio y estaba formado por tres picos con relación en áreas 1:2:3; también dieron los datos de RMN¹H de los cinco primeros alcoholes primarios. Esta comunicación es el punto de partida

* Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490, Santafé de Bogotá, D.C., FAX (57-1)-3681530 E-mail: jumarva@ciencias.ciencias.unal.edu.co

en la aplicación de esta técnica a la elucidación estructural y revolucionó completamente el estudio de la química. Los desarrollos de la RMN fueron amplios y esto llevó a una enorme gama de aplicaciones en la Química Orgánica, Bioquímica, Química de Superficies, Industrias Agroalimentarias, Medicina, etc.

El que varios Físicos y Químicos hayan obtenido el premio Nobel por sus trabajos que tienen relación con la RMN, que se hayan escrito cerca de dos centenares de libros y que se tengan varias publicaciones periódicas de reconocido prestigio científico exclusivamente sobre este tema, da una idea de la enorme importancia y desarrollo de la RMN en sus cincuenta años de existencia. Las cinco revistas más difundidas son: *Journal of Magnetic Resonance* que inició publicando un volumen por año y fue aumentando a cinco volúmenes por año, *Organic Magnetic Resonance* que publica varios volúmenes por año y las publicaciones anuales; *Bulletin Magnetic Resonance*, *Progress in Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* y *Annual Reports on NMR Spectroscopy*. Además, en casi todas las revistas que se publican deducciones estructurales se menciona algo sobre RMN. Como se puede observar, la literatura sobre este tema es muy amplia y con este escrito solamente se pretende dar una idea sobre los principales desarrollos de la técnica y en ningún momento hacer una revisión sobre la misma.

Generalidades

La RMN estudia la interacción de la radiación electromagnética, en la región de radio-frecuencias (rf), con los núcleos atómicos colocados en un campo magnético. Estos átomos a su vez hacen parte del armazón molecular por lo que este tipo de estudios ofrece información detallada sobre el ensamblaje atómico de las moléculas.

Los núcleos de los átomos están compuestos por protones, neutrones y otras subpartículas y asociado al núcleo hay un **número cuántico de espín nuclear (m)**. Los valores que m puede asumir para los diferentes núcleos son variados pero se pueden definir en función del **espín nuclear (I)**. Los valores de I son característicos para cada isótopo y pueden ser iguales a cero o diferentes de cero. Los isótopos están definidos por su número atómico (Z) y por su número de masa (M), y una regla empírica que permiten predecir si el espín nuclear de un isótopo es cero o diferente de cero se basa en estos dos números, así:

El núcleo de un isótopo para el cual los valores de Z y M son ambos pares debe tener un valor de $I = 0$. Ejemplo ^{12}C ($Z=6$, $M=12$), ^{16}O ($Z=8$, $M=16$), ^{18}O ($Z=8$, $M=18$), ^{32}S ($Z=16$,

$M=32$). Este tipo de núcleos no tiene propiedades magnéticas y por tanto no pueden ser detectados por la RMN.

El núcleo de un isótopo para el cual uno o ambos de los valores de Z y M es impar tiene un valor de $I = 0.5$. Los núcleos de aquellos isótopos para los cuales I es diferente de cero tienen un momento angular p y como son cargas giratorias tienen asociado un momento magnético nuclear μ . Estos valores están relacionados por la expresión $\mu = \gamma p$, donde γ es característica de cada núcleo y se conoce con el nombre de constante giromagnética. Ejemplo ^1H ($Z=1$, $M=1$, $I=1/2$), ^2H ($Z=1$, $M=2$, $I=1$), ^{10}B ($Z=5$, $M=10$, $I=3/2$), ^{11}B ($Z=5$, $M=11$, $I=3/2$), ^{13}C ($Z=6$, $M=13$, $I=1/2$), ^{14}N ($Z=7$, $M=14$, $I=1$), ^{15}N ($Z=7$, $M=15$, $I=1/2$), ^{17}O ($Z=8$, $M=17$, $I=5/2$), ^{19}F ($Z=9$, $M=19$, $I=1/2$), ^{31}P ($Z=15$, $M=31$, $I=1/2$). Este tipo de núcleos son detectables por RMN.

Los espines nucleares en ausencia de campo magnético no tienen una orientación preferida, están al azar, pero al ser sometidos a un campo magnético al momento magnético nuclear adquiere $2I+1$ orientaciones preferidas. Así, cuando un núcleo con $I=1/2$ es sometido a un campo magnético externo, H_0 , el momento magnético nuclear se orienta según dos direcciones que corresponden a dos niveles de energía, y estas orientaciones, con relación al sentido del campo magnético aplicado, pueden ser del mismo sentido (paralelas, menor energía) y de sentido opuesto (antiparalelas, mayor energía). A causa de la interacción del núcleo (carga en movimiento) con el campo magnético aplicado, se genera un movimiento precesional del momento magnético nuclear (μ) alrededor de H_0 , tal como se muestra en la figura 1, para un μ orientado en el mismo sentido de H_0 . La velocidad de precesión ν_p (frecuencia) es proporcional al campo magnético aplicado y a la constante giromagnética, según la expresión: $\nu_p = \gamma H_0 / 2\pi$. Puesto que cada isótopo tiene su propio γ , se encuentra que cada núcleo tiene su propia frecuencia de precesión para cada valor de H_0 . Al aplicar un radio frecuencia ν_1 , perpendicular a H_0 , se genera una componente magnética H_1 giratoria en el plano x-y. Cuando el campo magnético generado y la precesión nuclear están rotando a la misma velocidad, el núcleo absorbe la energía y cambia de orientación, ocurriendo el fenómeno de la Resonancia Magnética Nuclear. En otras palabras, cuando ν_1 es igual a la frecuencia de precesión del núcleo se observa la resonancia.

Desarrollo

En la década del 50 empieza a desarrollarse la técnica de RMN ^1H y aparecen en el mercado los primeros espectrómetros comerciales de 40 y 60 MHz que utilizan campos magnéticos bajos (10 y 14.1 Kgauss) y ope-

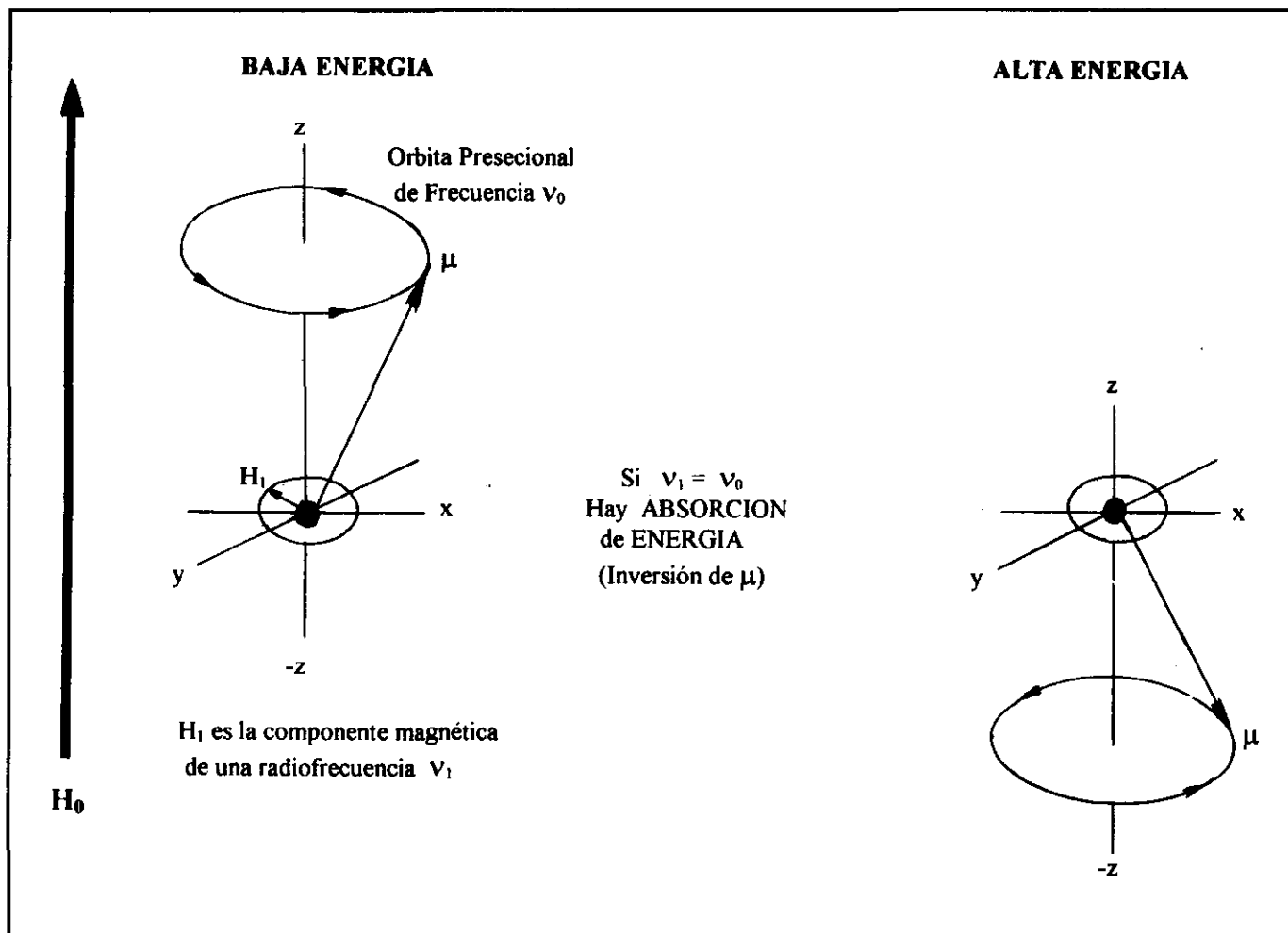


Figura 1. Absorción de la energía en R.M.N.

ran por el método de onda continua. En este tipo de equipos solamente se podían tomar buenos espectros de núcleo cuya detección fuese muy fácil (hidrógeno), mientras que los núcleos de muy baja sensibilidad no fue posible trabajarlos. Para solucionar los problemas de baja sensibilidad se recurrió al sistema CAT (Computer of Average Transients) que son equipos de onda continua y barrido acumulativo. En el sistema CAT el equipo de onda continua es conectado a un computador y a medida que se hace el barrido la señal es almacenada en el computador y se repite el barrido muchas veces, obteniéndose en el computador la suma de varios espectros que al final puede ser registrada en un papel. Puesto que las señales originadas por el ruido electrónico son al azar, ellas varían en intensidad y signo, y se cancelan, mientras que las señales debidas a absorción de RMN que son siempre del mismo signo se refuerzan; de tal manera que al

final de n barridos el aumento de la señal con relación al ruido es igual a raíz cuadrada de n . Con esta técnica se mejoró la sensibilidad pero a expensas de mayor tiempo y no fue suficiente para desarrollar la RMN de núcleos poco sensibles y de interés para la química orgánica, como ^{13}C , ^{17}O y ^{15}N cuyo grado de dificultad de detección con relación al ^1H es de 6000, 95000 y 265000 veces, respectivamente.

En los comienzos de la década del 70 hay un nuevo avance en la instrumentación de RMN, al salir al mercado equipos que, en lugar de utilizar onda continua, trabajan por el método de pulsos y subsecuente transformación de Fourier. En esta técnica se excitan simultáneamente todos los núcleos de interés, para lo cual se aplica un pulso de radiofrecuencia que tiene una duración de 1 a 100 microsegundos y una intensidad alta (de 10 a 100 w),

obteniéndose después del pulso una señal llamada "Free Induction Decay" (FID) que contiene toda la información del espectro (mezcla de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias) y corresponde a un espectro en función del tiempo. Este no puede ser interpretado visualmente, siendo necesario transformarlo en un espectro en función de la frecuencia, lo cual se consigue mediante la transformada de Fourier. Cada FID, que es un espectro, puede ser obtenido en poco tiempo (1 a 5 segundos) y acumulando un gran número de ellos se aumenta enormemente la sensibilidad, en muy poco tiempo, de tal manera que esta técnica permitió el rápido desarrollo de la RMN de núcleos poco sensibles.

En las décadas del 60 y 70 se crearon técnicas experimentales cada vez más refinadas las cuales dieron un enorme avance a la RMN y su utilización para obtener información cada vez más detallada de las moléculas. Dentro de estas técnicas cabe mencionar las irradiaciones múltiples (Jackman & Sternhell 1969), la temperatura variable, el intercambio por deuterio y los reactivos de desplazamiento (Martínez et al. 1980).

Con relación a los campos magnéticos utilizados en la RMN también se presentaron desarrollos que mejoraron la aplicación de la técnica. Inicialmente se emplearon imanes permanentes que producían campos muy bajos (1 a 15 kG), como fueron los usados por Bloch (1.8 kG) y Purcell (7 kG) o los usados en los primeros espectrómetros comerciales de 30 y 60 MHz que corresponden a 7 y 14.1 kG, respectivamente. También se utilizaron electroimanes para operar equipos de 60, 80, 90 y 100 MHz cuya intensidad de campo magnético varía entre 14 y 23.5 kG. El último desarrollo corresponde a la utilización de superconductores que operan a 4.2 °K y producen campos magnéticos del orden de 50 a 150 kG utilizados en los equipos de 200 a 600 MHz. A finales de 1995 fue terminado de construir el equipo de mayor resolución que es de 800 MHz y utiliza un superconductor que produce un campo magnético de 200 kG.

El cambio revolucionario dado en la década del 70, por la introducción de pulsos como forma de excitación, continuó en la década del 80 en forma acelerada. El progreso en la tecnología de superconductores, en el procesamiento de datos y en la automatización instrumental en general, permitió el desarrollo de "nuevos experimentos" que cambiaron la forma en que los Químicos realizan la elucidación estructural. Estos "nuevos experimentos" tienen que ver con las formas o técnicas de generar la información espectroscópica, antes de la adquisición de la señal del FID. Las nuevas técnicas están basadas en combinaciones espe-

cíficas de pulsos, cambios de fases y tiempos de espera, cuyo conjunto se denomina SECUENCIA DE PULSOS. Variaciones en las secuencias de pulsos han permitido desarrollar una gran cantidad de experimentos para el registro de espectros en una, dos y tres dimensiones, de amplia utilización en la elucidación estructural. Dentro de las más utilizadas cabe mencionar las técnicas APT (Attached Proton Test) (Patt 1982), DEPT (Distortionless Enhancement Polarization Transfer) (Sadler 1988, Martínez 1991), COSY (Correlation Spectroscopy) Homonuclear (Turner 1984, Derome 1989), COSY Heteronuclear (Turner 1984, Derome 1989), NOESY (Nuclear Overhauser Effect Spectroscopy) (Bax & Davis 1985, Derome 1989), INADEQUATE-2D (Incredible Natural Abundance Double Quantum Transfer Experiment 2-Dimension) (Bax et al. 1980, Bax et al. 1981), HMQC (Heteronuclear Multiple Quantum Coherence) (Martin & Crouch 1991), HMBC (Heteronuclear Multiple Bond Correlation) (Martin & Crouch 1991).

Hasta principios de la década de los 80, todos los espectros de RMN se tomaban en muestras líquidas o en soluciones y los intentos por examinar muestras en estado sólido daban espectros de baja resolución, con señales demasiado anchas que no permitían extraer ninguna información. Las razones para este comportamiento de los sólidos son dos: a) los efectos de anisotropía son muy grandes y b) las interacciones dipolo-dipolo se manifiestan muy fuertes. Afortunadamente estos inconvenientes fueron solucionados, construyendo equipos especiales en los cuales se trabaja la muestra en estado sólido rotándola a altísimas velocidades (4000 a 5000 revoluciones por segundo) en un ángulo especial con relación al campo magnético externo, que es conocido como "ángulo mágico" ($54^{\circ} 44'$) y en algunos casos usando técnicas de polarización cruzada. Estos espectros son conocidos como técnica CPMAS (Cross-Polarization, Magic Angle Spinning). Este avance instrumental es importante por permitir estudiar la naturaleza de la muestra en el estado sólido, la estructura de los cristales y las interacciones que cambian o desaparecen cuando la muestra es disuelta. Esta técnica tuvo rápida aplicación a la investigación de polímeros, carbones, catalizadores y cristales líquidos.

Otro de los desarrollos más interesantes de la RMN fue su aplicación a la Biología y a la Medicina. En el caso de la Biología se han realizado estudios de los procesos metabólicos en organismos vivos, exponiendo el organismo a un campo magnético y colocándole un pequeño embobinado transmisor-receptor en el sitio que se quiere estudiar, para obtener espectros de los núcleos cercanos a la superficie del embobinado. El núcleo más utilizado ha

sido el ^{31}P , por ser de especial importancia a los Bioquímicos, al hacer parte de muchos compuestos estratégicamente metabólicos (ATP, ADP, fosfocreatinina, etc.).

La aplicación de la RMN a la Medicina se inició a principios de la década del 80 y en un magnífico artículo de Ian Pykett (1982) se lee: "Una nueva técnica destinada a la observación de secciones transversales del cuerpo humano, que no expone al paciente a la acción de radiaciones ionizantes, está llamando a la puerta de la aplicación clínica: nos referimos a la formación de imágenes por resonancia magnética nuclear". Y el mismo autor escribía más adelante: "La formación de imágenes por RMN en medicina se encuentra en su infancia, por lo que hay que acumular un volumen sistemático de datos antes de asegurar su eficacia...". El desarrollo de la técnica conocida como MRI (Magnetic Resonance Imagin) (Andrews et al. 1986) o iconografía por RMN, en los últimos años, fue enorme y revolucionó el diagnóstico en la Medicina, teniendo limitaciones de aplicación solamente en pacientes con marcapasos, con clips vasculares y con prótesis metálicas. El hidrógeno es el átomo visualizado, porque está ampliamente distribuido en el cuerpo humano y porque su señal es fácilmente detectada. Evidentemente, la concentración de este átomo es esencial para la composición de la imagen; esta concentración es nula en el hueso, variable en los tejidos blandos, importante en los lípidos y altísima en el agua.

Ejemplos de aplicación

Dentro de los "nuevos experimentos" hay dos (COSY Heteronuclear e INADEQUATE-2D) sobre las cuales enfocaré la atención mostrando su utilización en la deducción rápida y segura de estructuras de compuestos orgánicos.

HETCOR

La técnica COSY Heteronuclear aplicada a carbono e hidrógeno (conocido como HETCOR) genera el espectro bidimensional que correlaciona ^{13}C y ^1H . En este espectro se observa en un eje el espectro de RMN^{13}C , en el otro eje el espectro de RMN^1H y en el centro las señales de correlación entre los carbonos y los hidrógenos (figuras 2 y 3). La correlación entre estos se busca trazando desde la señal de correlación las paralelas a cada uno de los ejes hasta las respectivas señales en cada uno de los espectros unidimensionales. La información obtenida es sobre el acoplamiento de ^{13}C - ^1H , y dependiendo de los parámetros experimentales utilizados, se pueden obtener correlaciones a una unión ($^1J_{\text{C-H}}$) o a larga distancia ($^2J_{\text{C-H}}$ o $^3J_{\text{C-H}}$) principalmente a tres uniones. Con la ayuda de estos es-

pectros, conocidos como HETCOR normal (correlaciones a una unión) y HETCOR LR (Long Rang, correlaciones a dos o tres uniones), se puede deducir con gran seguridad la fórmula estructural de moléculas orgánicas junto con la atribución inequívoca de las señales, como se muestra en el siguiente ejemplo.

En la figura 2 se muestra el espectro HETCOR normal del compuesto A aislado de las semillas de *Iryanthera laevis*. En el eje x se observa el espectro de RMN^{13}C y en el eje y el espectro de RMN^1H . Estos espectros indican que el compuesto es aromático ($\delta^{13}\text{C}$: señales entre 100 y 170; $\delta^1\text{H}$: señales entre 5.9 y 7.2) además de la presencia de un grupo $\text{C}=\text{O}$ de cetona ($\delta^{13}\text{C}$ 205.1), dos grupos OCH_3 ($\delta^{13}\text{C}$: 56.1 y 55.3; $\delta^1\text{H}$: 3.74 y 3.88). De las señales de los carbonos aromáticos las cuatro que presentan tamaño grande son de carbonos que tienen hidrógeno directamente unido (δ : 91.8, 96.8, 114.5 y 130.1) por presentar señales de correlación, mientras que las seis de tamaño pequeño son de carbonos cuaternarios (δ : 105.7, 134.5, 158.8, 164.5, 165.5 y 168.3) por no presentar señales de correlación y de estas las cuatro ultimas, por su desplazamiento mayor de 150, son de carbonos que tienen oxígeno directamente unido. En este espectro se observan en total ocho señales de correlación que indican las señales de los carbonos que están directamente unidos a hidrógenos y al mismo tiempo cual es la señal de los respectivos hidrógenos, lo cual permite elaborar parcialmente la tabla 1 (columnas 1 y 2). En esta

Tabla 1. Datos de RMN^1H del compuesto A y sus correlaciones con la RMN^{13}C obtenidas de espectros bidimensionales HETCOR

$\delta^1\text{H}$ en ppm	Correlación con ^{13}C a una unión. HETCOR normal (ppm)	Correlación con ^{13}C a dos o tres uniones. HETCOR LR (ppm)
2.87	30.6	130.1, 134.5 y 205.1
3.26	46.9	30.6, 46.9 y 205.1
3.74	55.3	55.3 y 158.8
3.88	56.1	56.1 y 164.5
5.95	96.8	91.8, 96.8, 105.7, 165.5 y 168.3
6.04	91.8	91.8, 96.8, 105.7, 164.5 y 165.5
—	105.7	—
6.82	114.5	114.5 y 134.5
7.15	130.1	114.5, 130.1 y 158.8
—	134.5	—
—	158.8	—
—	164.5	—
—	165.5	—
—	168.3	—
—	205.1	—
13.90	—	96.8, 105.7 y 168.3

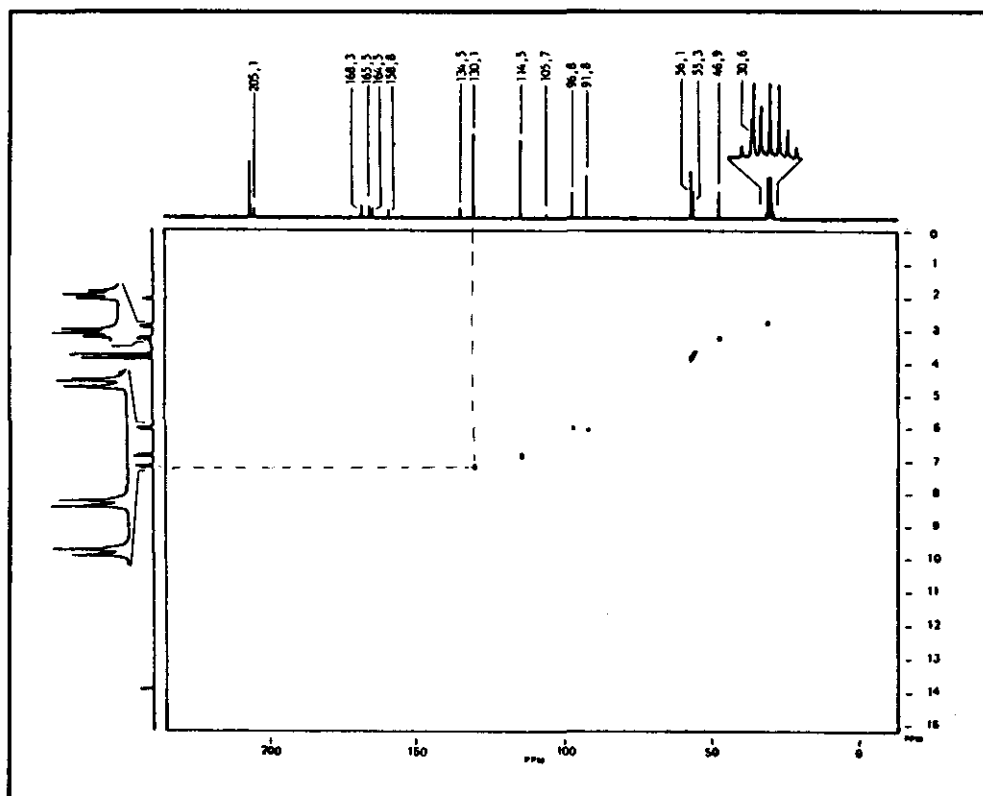


Figura 2.
Espectro HETCOR normal ($^1J_{CH}$)
del compuesto A.

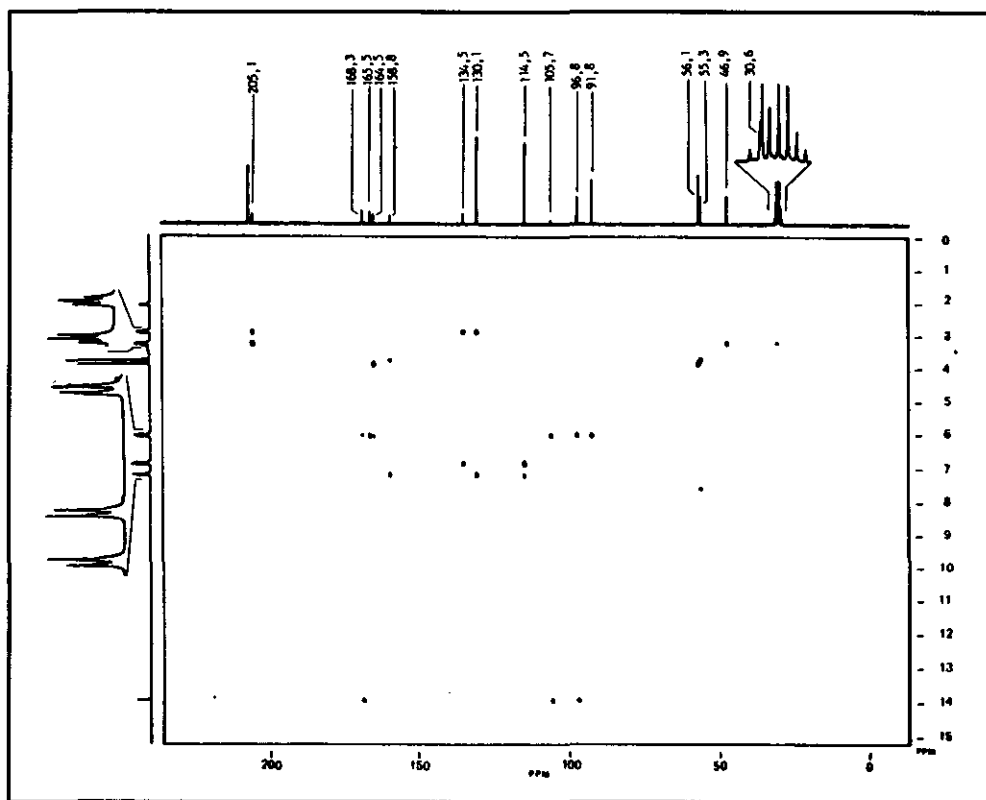
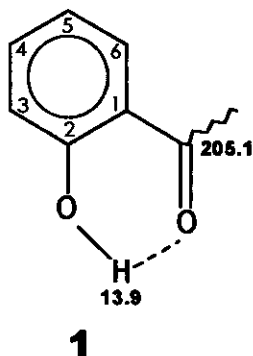


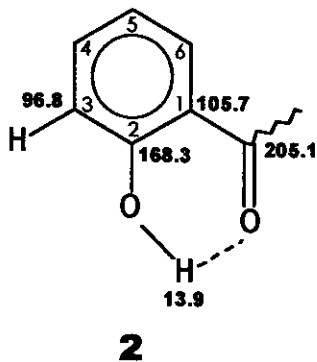
Figura 3.
Espectro HETCOR LR ($^2J_{CH}$ y $^3J_{CH}$)
del compuesto A.

tabla también se muestran las correlaciones tomadas del espectro HETCOR LR (figura 3) las cuales corresponden a los ^1H y los ^{13}C que se encuentran a distancias de dos o tres uniones (en algunos casos se observa señal residual a una unión pero esas se pueden desechar por los datos de la segunda columna de la tabla).

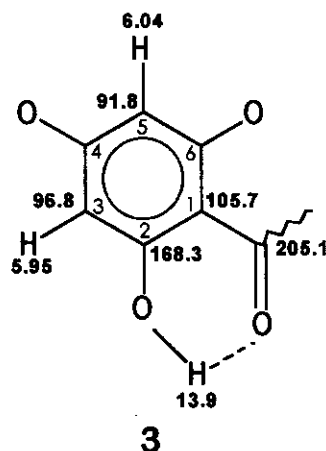
El espectro de RMN^1H indica la existencia de un grupo OH de fenol ($\delta^1\text{H}$: 13.90, no correlaciona a una unión con ningún carbono) que por su desplazamiento debe estar en posición *orto* al grupo carbonilo como se muestra en la fórmula 1.



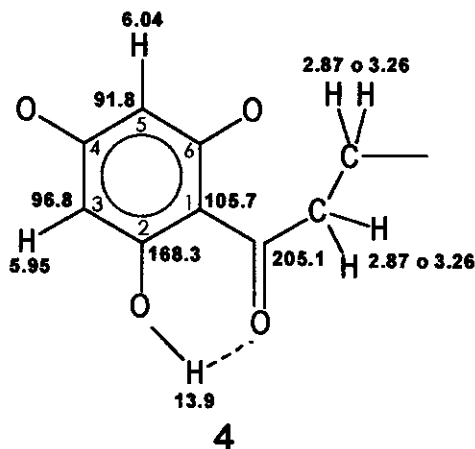
En el espectro HETCOR LR se observa correlación de la señal de ^1H en δ 13.9 con las señales de ^{13}C en δ 168.3, 105.7 y 96.8 las cuales deben corresponder a los carbonos 1, 2 y 3 (distancia entre el H y los carbonos deben ser de 2 o 3 uniones). De estas señales, la de mayor valor de desplazamiento debe corresponder al carbono que soporta el OH (carbono 2), la de 105.7 por ser de carbono cuaternario debe corresponder al carbono 1 y por tanto la de 96.8 es del carbono 3 (carbono con H), tal como se muestra en la fórmula 2.



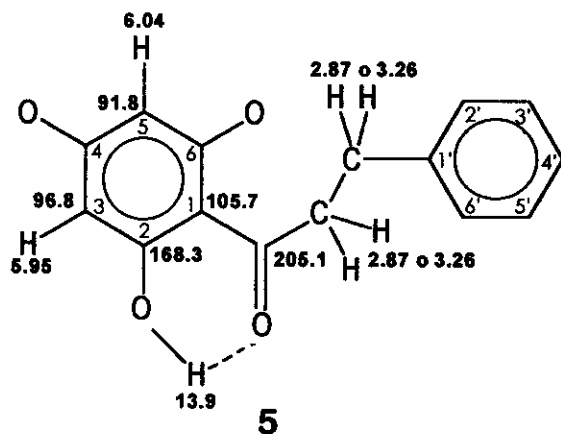
En el espectro HETCOR LR la señal de ^{13}C en δ 205.1 no muestra correlación a 2 o 3 uniones con ningún hidrógeno aromático lo cual indica que en el carbono-6 no hay hidrógeno sino oxígeno y como para el carbono 2 (δ 168.3) solamente se observan correlaciones con las señales de hidrógenos en δ 13.9 (ya atribuido) y en δ 5.95, esta última señal debe corresponder al hidrógeno del carbono 3, lo que está de acuerdo con la tabla 1 por correlacionar a una unión con el carbono en δ 96.8. En el espectro de RMN^1H la señal en δ 5.95 es un doblete con constante de acoplamiento 2 Hz (acoplamiento *meta*) y en ese mismo espectro la única señal con la misma constante está en δ 6.04 lo que indica que esta señal corresponde al hidrógeno del carbono 5 y por tanto en el carbono 4 no hay hidrógeno sino oxígeno. De acuerdo con lo anterior la fórmula 2 se puede expandir para la fórmula 3.



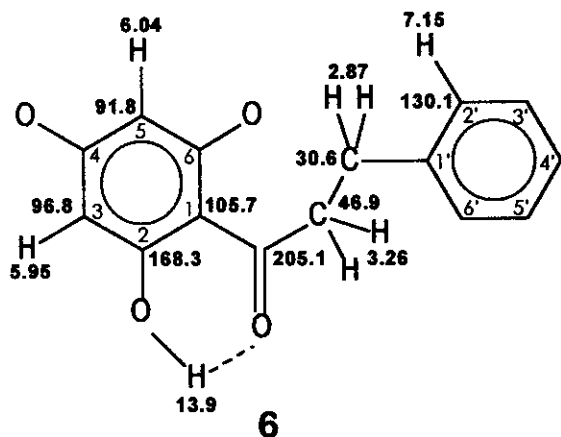
La señal del carbono carbonílico (δ 205.1) únicamente correlaciona a larga distancia (Figura 3) con las señales de ^1H en δ 2.87 y 3.26. Como en el espectro de RMN^1H estas dos señales son tripletes y las únicas que están acopladas en la región alifática, deben corresponder a dos CH_2 directamente unidos y por tanto la fórmula 3 se puede expandir para la fórmula 4.



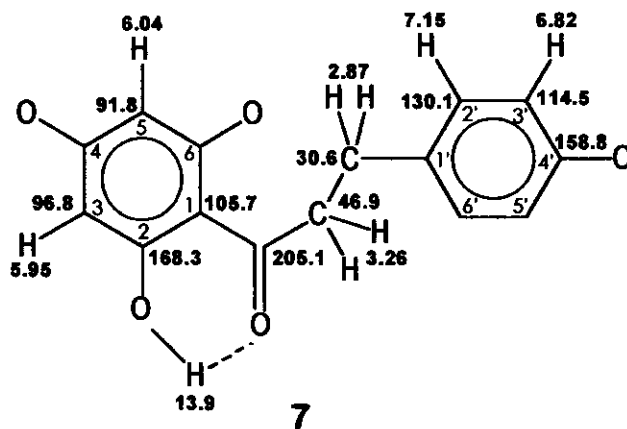
En el espectro HETCOR LR la señal ^1H en δ 2.87 correlaciona con las señales ^{13}C en δ 130.1, 134.5 y 205.1; como las dos primeras son de carbonos de anillo aromáticos y como ninguna de ellas corresponde al anillo de la fórmula 4 es necesario que exista otro anillo unido al CH_2 , como se muestra en la fórmula 5.



La señal de ^{13}C en δ 130.1 según el espectro HETCOR normal es de un carbono con hidrógeno directamente unido (^1H δ 7.15) y para que correlacione a dos o tres uniones con la señal de ^1H en δ 2.87 tiene que ser del carbono 2' o del 6'; por lo tanto la señal en δ 2.87 tiene que ser de los hidrógenos del carbono directamente unido al anillo (carbono β al carbonilo) y la señal en δ 3.26 será de los hidrógenos del otro CH_2 (carbono α). De acuerdo con lo anterior y el espectro HETCOR normal (tabla 1, columnas 1 y 2), la señal del carbono α al carbonilo será la de δ 46.9 y la del carbono β será la de δ 30.5. Las anteriores asignaciones son mostradas en la fórmula 6.

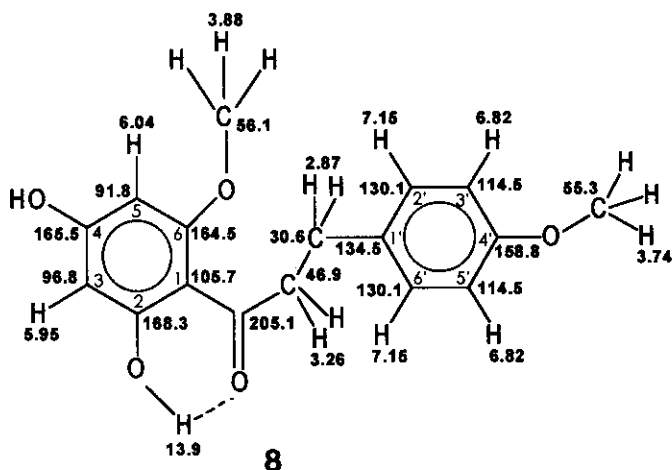


En el espectro de RMN^1H la señal en δ 7.15 es un doblete con constante de acoplamiento 9 Hz (acoplamiento *orto*) y en ese mismo espectro la única señal con la misma constante está en δ 6.82 lo que indica que en el carbono 3' hay hidrógeno y en el carbono 4' no hay hidrógeno. Como la señal de ^1H en δ 7.15 correlaciona a larga distancia con las señales de ^{13}C en δ 114.5, 130.1, 158.8 y como las dos primeras son de carbono con hidrógeno mientras que la última es de carbono con oxígeno, la fórmula 6 puede ser expandida para la fórmula 7 con las asignaciones indicadas.



La señal de ^{13}C en 134.5 correlaciona a larga distancia con las señales de ^1H en δ 2.87 y 6.82 por lo cual necesariamente esta señal debe ser del carbono 1'. En el espectro de RMN^1H y de RMN^{13}C no existen mas señales de hidrógenos y carbonos aromáticos que las ya asignadas por lo que los carbonos 2' y 6' así como 3' y 5' deben ser equivalentes lo mismo que sus respectivos hidrógenos. Finalmente solo faltan por asignar las señales de los dos grupos OCH_3 , ya mencionados (δ ^{13}C : 56.1 y 55.3; δ ^1H : 3.74 y 3.88). En el espectro HETCOR LR se observa que la señal ^1H en δ 3.74 correlaciona con la señal de ^{13}C en δ 158.8, lo cual indica que el carbono 4' soporta ese grupo OCH_3 , mientras que la señal en δ 3.88 correlaciona con la en δ 164.5. El grupo OCH_3 en δ 3.88 puede estar sobre el carbono 4 o sobre el carbono 6, esto se puede saber por las correlaciones a larga distancia teniendo en cuenta que la señal de ^1H en δ 6.04 (H-5) debe correlacionar con las señales de los carbonos 4 y 6 (solo faltan por asignar señales en δ 164.5, 165.5) mientras que la señal en δ 5.95 solamente debe correlacionar con la señal del carbono 4. En el espectro HETCOR LR se observa correlación de la señal en δ 5.95 con la señal en δ 165.5 (no se observa

correlación con señal en δ 164.5), lo que permite atribuir al carbono 4 la señal en δ 165.5 y al carbono 6 la señal en δ 164.5 y por tanto el grupo OCH_3 estará en el carbono 6. Por todo lo anterior la estructura del compuesto A corresponde a la fórmula 8 en la cual se muestran todas las asignaciones de las señales de RMN^1H y RMN^{13}C .



Inadequate-2D

Corresponde a un espectro bidimensional de RMN^{13}C obtenido con base en las interacciones de dos carbonos ^{13}C directamente unidos. Una presentación amplia sobre las bases teóricas y otras consideraciones sobre esta técnica se encuentra en dos publicaciones de Martínez (1986 y 1992). Aquí se presentan únicamente las consideraciones necesarias para entender el uso del espectro en la deducción de una estructura. Mediante el espectro INADEQUATE-2D se pueden obtener las conexiones entre cada uno de los carbonos que forman la molécula y por esto también se conoce con el nombre de espectro CCCP (Carbon-Carbon Connectivity Plots).

En la figura 4 se muestra el espectro CCCP del Cedrol que es un alcohol sesquiterpénico ($\text{C}_{15}\text{H}_{26}\text{O}$) aislado, junto con el Cedreno, a partir del aceite de madera de Cedro (*Juniperus virginiana*). En la parte superior de la figura 4 se encuentran numerados consecutivamente de 1 a 15 algunos de los picos del espectro normal de RMN^{13}C totalmente desacoplado, junto con la indicación de la multiplicidad (s = singlete, d = doblete, t = triplete y c = cuarteto), determinada en un espectro parcialmente desacoplado, las cuales indican el número de hidrógenos que soporta cada carbono así: singlete = C, doblete = CH, triplete = CH_2 y cuarteto = CH_3 . Para la interpretación de este espectro se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

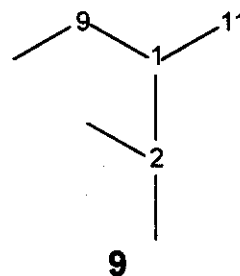
Las señales a tener en cuenta son aquellas que se presentan como dobletes y se encuentran debajo de la señal de cada carbono.

Dos carbonos están directamente unidos cuando sus dobletes caen en el mismo nivel horizontal (tiene la misma frecuencia cuántica doble) y están localizados simétricamente alrededor de la diagonal.

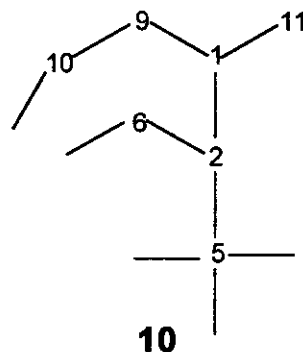
El número de dobletes para un carbono dado (señales en la misma vertical) indican el número de carbonos al cual dicho carbono está unido.

A continuación se muestra, en forma muy sencilla, como se puede deducir rápidamente la estructura del Cedrol utilizando el espectro de la figura 4.

Iniciando con la señal del carbono 1 se observa que tiene tres uniones que son con los carbonos 2, 9 y 11; además se observa que el carbono 2 tiene dos uniones más con carbonos, el carbono 9 tiene una unión más con otro carbono y el carbono 11 solo tiene esa unión. Esto nos permite dibujar la estructura 9 en la que los números representan carbonos.



El carbono 2 está unido a los carbonos 1, 5 y 6, mientras que el carbono 9 está unido a los carbonos 1 y 10 por lo que la estructura 9 se puede expandir para la estructura 10, teniendo en cuenta que el carbono 5 se une a tres carbonos más, y los carbonos 6 y 10 se unen cada uno a un carbono más.



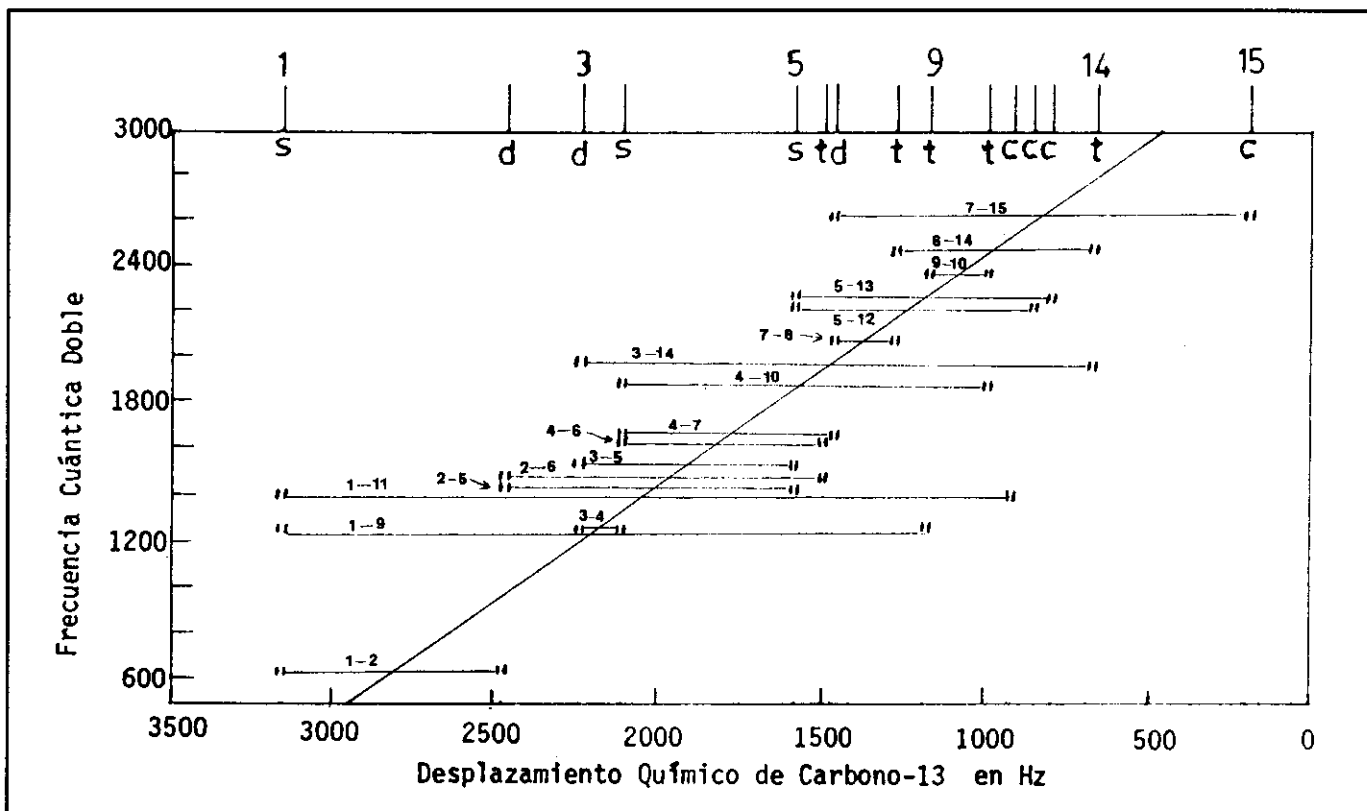
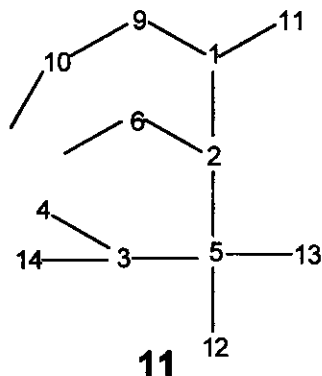
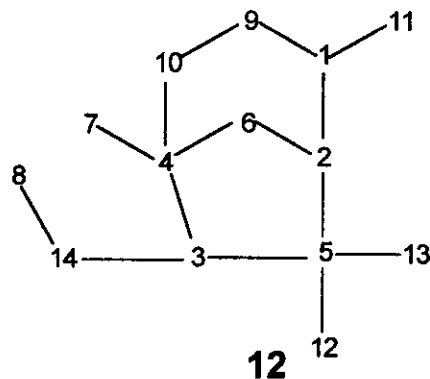


Figura 4. Espectro Inadequate del Cedrol tomado a 50 MHz.

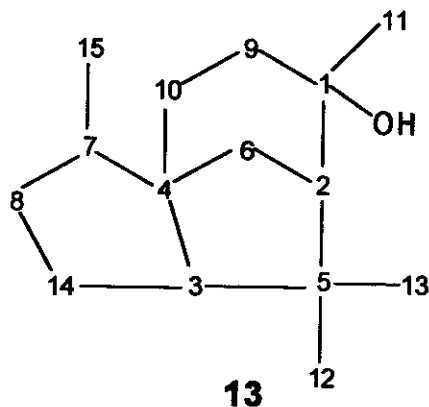
El carbono 5 se une a los carbonos 2, 3, 12 y 13, pero los carbonos 12 y 13 solamente se unen con el carbono 5 mientras que el carbono 3 se une también a los carbonos 4, 5 y 14. Lo anterior permite expandir la estructura 10 para la estructura 11.



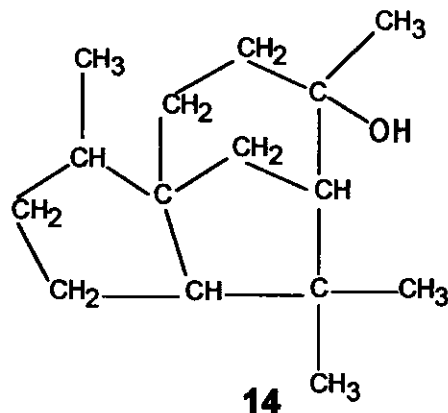
El carbono 4 se une a los carbonos 3, 6, 7 y 10 mientras que el carbono 14 se une al carbono 8 y este último solo tiene una unión con otro carbono más, de tal manera que la estructura 11 se puede expandir ahora para la estructura 12.



El carbono 7 se une a los carbonos 4, 8 y 15, mientras que este último solamente se une con el carbono 7. Como el carbono 1 es cuaternario y solamente se une con tres carbonos la unión de la cuarta valencia debe ser con un heteroátomo y como el compuesto es un alcohol entonces se une con un OH. Con estos últimos datos la estructura 12 se puede expandir para la estructura 13 en la cual ya están consideradas todas las uniones carbono-carbono indicadas por el espectro Inadequate-2D.



Al reemplazar en esta última estructura los números por carbono y colocarle a cada uno de ellos los hidrógenos necesarios para completar las cuatro valencias, se tiene la estructura 14 que corresponde al Cedrol quedando únicamente por definir la estereoquímica.



El Cedreno, que se puede obtener sintéticamente por la deshidratación del Cedrol, fue aislado por primera vez en 1841 y para la determinación de su estructura, por métodos clásicos (degradación e identificación de fragmentos), fue necesario el trabajo de varios grupos de Químicos durante más de cien años. Como se acaba de mostrar en la deducción rápida y sencilla de la estructura del Cedrol, ese arduo trabajo de los Químicos, hoy en día se ha facilitado enormemente con la ayuda de la RMN.

Bibliografía

Andrews, E. R., Young, I.R. & Bydder, G.M. 1986. in "NMR in the Life Sciences" (E. M. Bradbury and C. Nicolini, eds.). Plenum, New York.

- Arnold, J.T., Dharmatti, S.S. & Packard, M. 1951. "Chemical Effects Nuclear Induction Signals from Organic Compounds", *J. Chem. Phys.* 19: 507
- Bax, A. & Davis, D.G. 1985. "Practical Aspects of the Two-Dimensional Transverse NOE Spectroscopy", *J. Magn. Resonance* 63: 207-213
- Bax, A., Freeman, R. & Kempsell, S.P. 1980. "Natural Abundance ^{13}C - ^{13}C Coupling Observed via Double Quantum Coherence", *J. Am. Chem. Soc.* 102: 4849-4851
- _____ & Frenkiel T.A. 1981. "An NMR Technique for Tracing Out the Carbon Skeleton of an Organic Molecule", *J. Am. Chem. Soc.* 103: 2102-2104.
- Bloch, F., Hansen, W.W. & Packard, M. 1946. "Nuclear Induction", *Phys. Rev.* 69: 127
- Derome, A.E. 1989. "The Use of NMR Spectroscopy in the Structure Determination of Natural Products: Two-Dimensional Methods", *Nat. Prod. Reports* 6: 111-141
- Jackman, L.M. & Sternhell, S. 1969. "Applications of Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy in Organic Chemistry", Second Edition, Chapter 2-4 Theory and Applications of Multiple Irradiation, pp 151-157, Pergamon Press, Oxford.
- Martin, G.E. & Crouch, R.C. 1991. "Inverse-Detected Two-Dimensional NMR Methods: Applications in Natural Products Chemistry", *J. Nat. Products* 54 (1): 1-70.
- Martínez V., J.C., Yoshida, M. y Gottlieb, O.R. 1980. "Determinación de la configuración relativa de las Dihidro-mahuba Lactonas, utilizando reactivos de desplazamiento", *Revista Colombiana de Química* 10 (1): 9- 16.
- _____, 1986. "Evolución de los Métodos para la Determinación Estructural de Compuestos Orgánicos", Universidad Nacional de Colombia, pp 111-125, Bogotá, Colombia.
- _____, 1991: "Comportamiento de la Señal del Metilendioxio en la Secuencia de Pulsos DEPT", *Revista Colombiana de Química* 20 (1): 33-38.
- _____, 1992. "Espectroscopia de Satélites de Carbono-13", *Chymeia* 1 (1): 7-22
- Patt, S.L. & Shooley, J.N. 1982. "Attached Proton Test for Carbon-13 NMR", *J. Magn. Reson.* 46: 535-539
- Purcell, E.M., Torrey, H.C. & Pound, R.V. 1946. "Resonance Absorption by Nuclear Magnetic Moments in a Solid", *Phys. Rev.* 69: 37-38
- Pykett, I.L. 1982. "Imágenes por RMN en Medicina", *Scientific American* ed. en Español, julio, 32-43.
- Sadler, I.H. 1988. "The use of NMR Spectroscopy in the Structure Determination of Natural Products: One-Dimensional Methods", *Nat. Prod. Reports* 5: 101-127.
- Turner, C.J. 1984. "Multipulse NMR in Liquids", *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 16: 311-370.

DESCRIPTION OF SOME ACCESSORY STRUCTURES OF THE UROGENITAL SYSTEM IN THE NEOTROPICAL FAMILY *ASTROBLEPIDAE* (PISCES, *SILUROIDEI*)

por

Uriel Angel Buitrago-Suárez*, Germán Galvis**

Resumen

Buitrago-Suárez, U.A. & G. Galvis: Description of some accessory structures of the urogenital system in the neotropical family *Astroblepidae* (Pisces, *Siluroidei*). Rev. Acad. Col. Cienc. **21**(80): 347-352, 1997. ISSN 0370-3908.

Como parte de un estudio relacionado con la biología general de algunas especies del género *Astroblepus*, reportamos el hallazgo de vejiga urinaria y vesícula seminal en los machos de las especies de este grupo. También se describen e ilustran algunos rasgos del dimorfismo.

Palabras claves: Vesículas seminales, testículos, vejiga urinaria y dimorfismo sexual.

Abstract

As a part of a study concerning the general biology of some species of the genus *Astroblepus*, we report the finding of a urinary bladder and a seminal vesicle in males. We also describe and draw some sexual dimorphic features present in this group.

Key words: Seminal vesicles, testes, urinary bladder and sexual dimorphism.

Introduction

The males of the monogeneric astroblepid family have testes, each with a differentiated seminal vesicle. Lau-

zanne & Loubens (1985) implied that astroblepid species are viviparous; in contrast we have arguments to suggest that these species present a probable copulation and a particular kind of internal fecundation that does not lead to viviparism; and hence the eggs are laid under the stones after being fertilized. This study presents some data of anatomy and histology of the reproductive structures in species of this family. Some data concerning the reproductive behavior are also described.

* Permanent address: Calle 66 No. 11-29, Of. 506.
Santafé de Bogotá, D.C.

** ICN-Universidad Nacional de Colombia.

Materials and methods

Fifty males and forty-five females were dissected in order to describe the structure and anatomy of the reproductive organs in both sexes. External dimorphism of the copulatory organ and enlargement of the anal fin were compared and differentiated in males and females. Some specimens were treated by Dingerkus & Uhler's (1977) method to permit observation of differences in bony structure of the anal fins rays between sexes.

Histological slides were made of testes, ovaries, seminal vesicles, urinary bladder and copulating organ. The drawings were made using a stereomicroscope equipped with a camera lucida. The examined specimens were collected throughout the year.

The ninety-five studied specimens are deposited in the Instituto de Ciencias Naturales (ICN) and The Museo de la Salle (MLS), Santafé de Bogotá.

Results

Sexual dimorphism

Astroblepid males are different from females in the following features: 1.) they present a copulatory organ (figs. 1, 3 and 8c), 2.) enlargement of the anal fin represented by connective tissue (compare figs 1 to 4), 3.) the second, third, and fourth anal fin rays are more close set in males than in females; this arrangement is evident in the adult individuals (comp. figs. 5 and 6) and 4.) the third anal fin ray is thick in males (comp. fig. 5 and 6). The last two features are evident in those specimens treated with Dingerkus & Uhler's method.

The cross sections of the copulatory organ show a central mass which is a dense fibroelastic tissue with thin walls (fig. 7a). The orifice of the kidneys (urinary bladder in this case) is in the center of this mass (fig. 7b). Around of the central mass there is also a layer of diffuse tissue with many cavities or channels (fig. 7c); the function of the channels is unknown. Both tissues are joined by connective tissue (fig. 7d). The external region of the copulating organ is covered by epidermis.

Testes

According to the observations, every testis has a posterior gland that will be described later. The testes in astroblepid males, like most of the catfishes, are compacted in a solid gland (fig. 8b). They occupy the posterior region of the coelome and ventrally form a cavity in which the stomach rests at its greatest extension.

Microscopic examination of the histological sections from every portion of the testes revealed many spermatid tubes and tails of spermatozoa in the lumina (fig. 9a). The largest nuclei or spermatid cells developing into sperma-

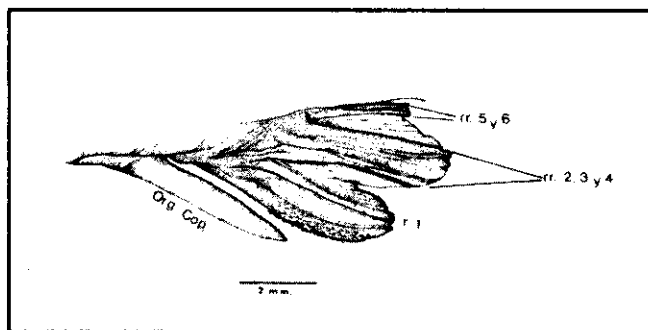


Figura 1. External appearance of the sexual dimorphism in *Astroblepus homodon*. Org. Cop.= copulating organ, r = ray, rr = rays. Compare the external arrangement of rr 2,3 & 4 with figure 3. This feature is present in all adult males of the species of the genus *Astroblepus*.

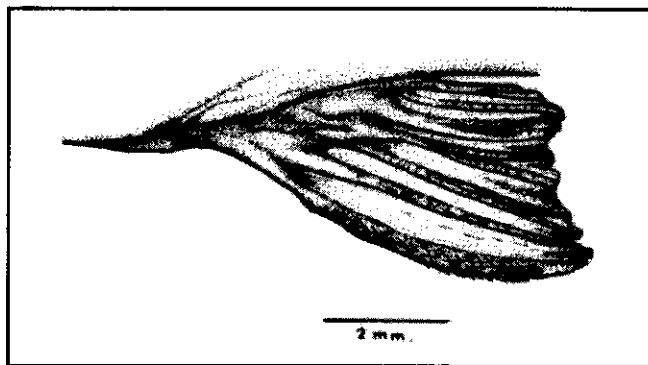


Figura 2. External appearance of the anal fin in females of *Astroblepus homodon*. Females of all species of this genus do not have the special arrangement of the rr 2, 3 & 4. Compare and contrast with figures 1, 3, and 4.

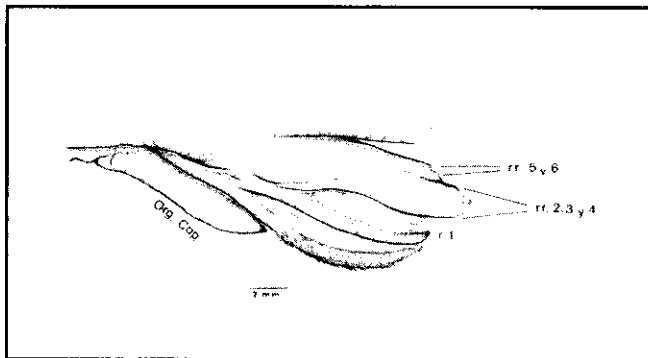


Figura 3. External dimorphism in males of *A. longifilis*. Org. Cop. = copulating organ, r = ray, rr = rays. See explanation in the text and in figure 1.

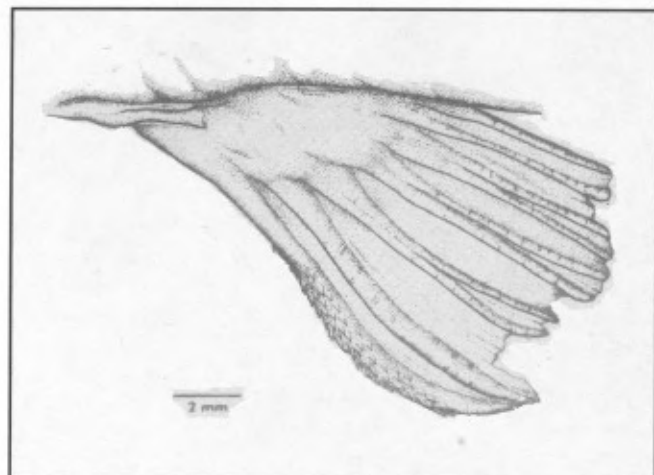


Figura 4. External morphology in females of *A. longifilis*.

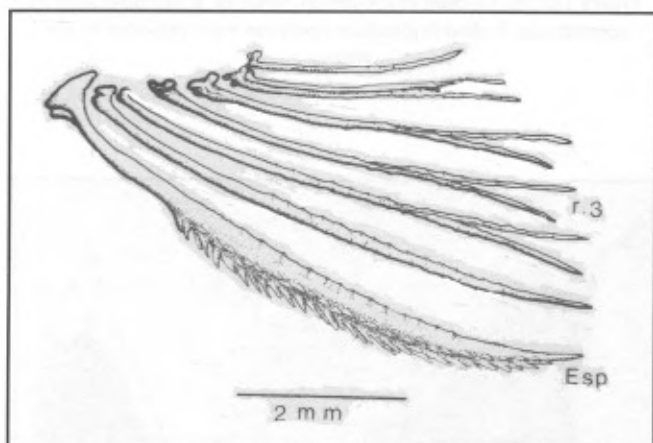


Figura 5. Bony structure of the anal fin in males. Esp = spine. r 3 = ray three. This ray is thicker than the others and considerable greater than ray 3 in females. Even more, these rays are closer in males than they are in females. Compare figures 5 & 6.

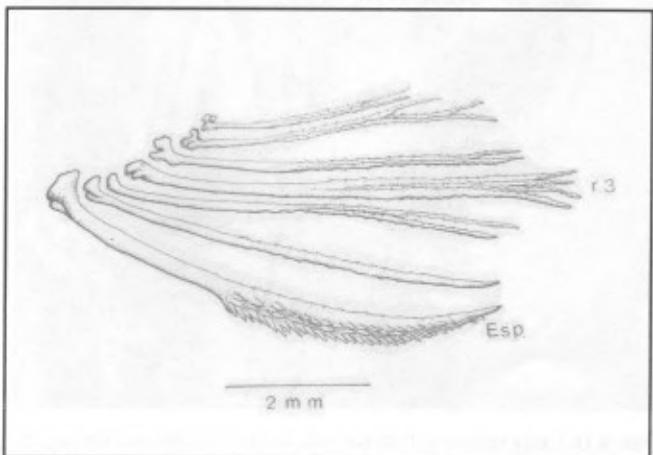


Figura 6. Bony structure in the anal fin in females. See explanations above.



Figura 7. Cross section of the copulating organ. a: dense fibroelastic tissue, the arrows in this region indicate the thin walls. b: orifice. c: channels and d: connective tissue.

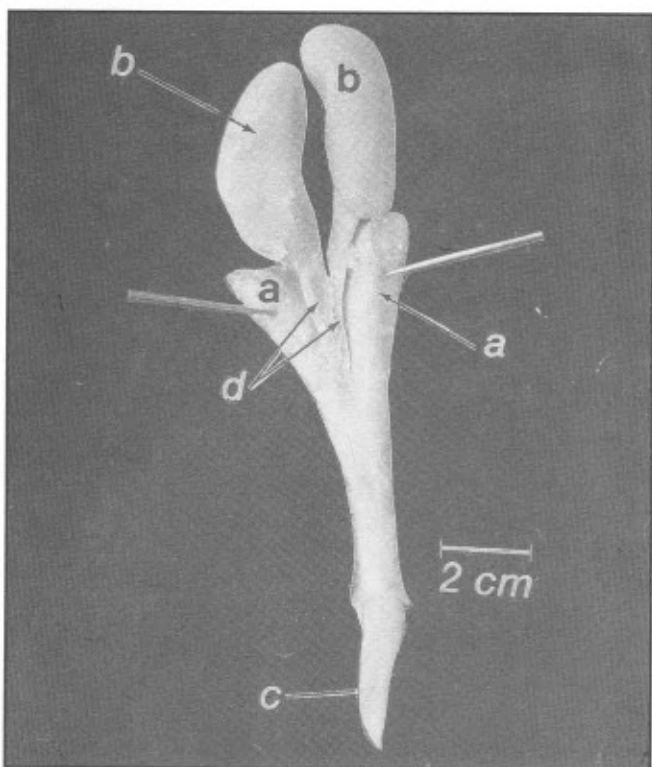


Figura 8. Ventral view of the reproductive anatomy in males. a: seminal vesicles. b: testes. c: copulating organ and d: ducts joining the testes and seminal vesicles.

tozoa surround every tube (fig. 9b); there are also other testicular elements such as cuboidal cells in an earlier stage of division (fig. 9c). Every testis has an epidermis externally as an envelope and in most of the males the left one is smaller than the right one (fig. 8b).

Seminal vesicles

A duct leaves the posterior region of every testis (fig. 8d) and goes to one seminal vesicle (8a). These glands are anteriorly extraperitoneal, and appear sponge-like. Microscopic histology observations demonstrate various crypt-like cavities, whose internal space contains motile spermatozoa (fig. 10a and 11b). A thin wall of connective tissue keeps the seminal vesicles apart (see fig. 11c and 12b). This wall is connected to the wide mesothelium of the urinary bladder. The crypts are bounded by a double glandular epithelium (fig. 10b and 11a). Apparently these epithelia perform a supplemental function as secretory gland of fluids and mucus. Additional studies are needed on this point, especially those to demonstrate the possible glandular secretions.

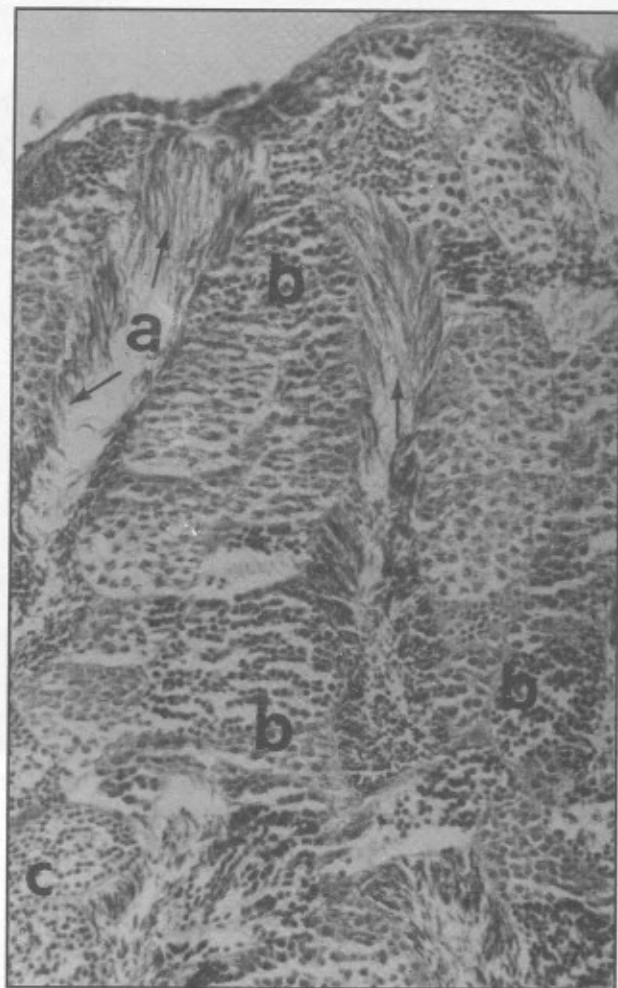


Figure 9. Cross section of the testes. a: spermatic tubes, the arrows indicate the tails of the spermatozoa. b: large nuclei. c: cells in early stage, these are identified here as cuboidal cells.

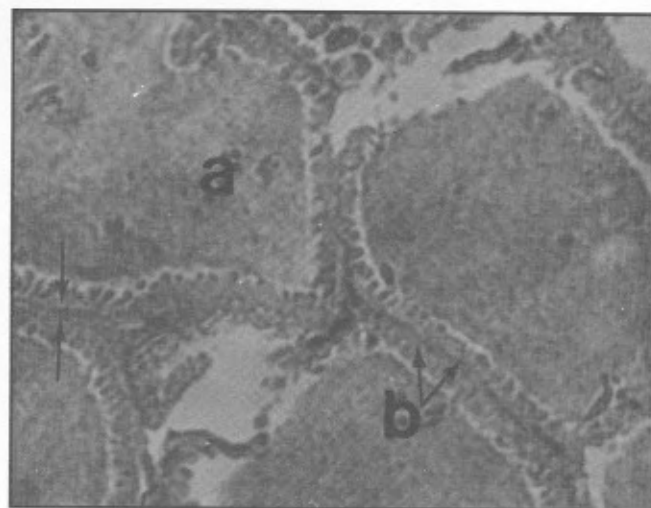


Figure 10. Cross section of the seminal vesicles. a: agglomeration of spermatozoa. b: double glandular epithelium walls indicated by the arrows.

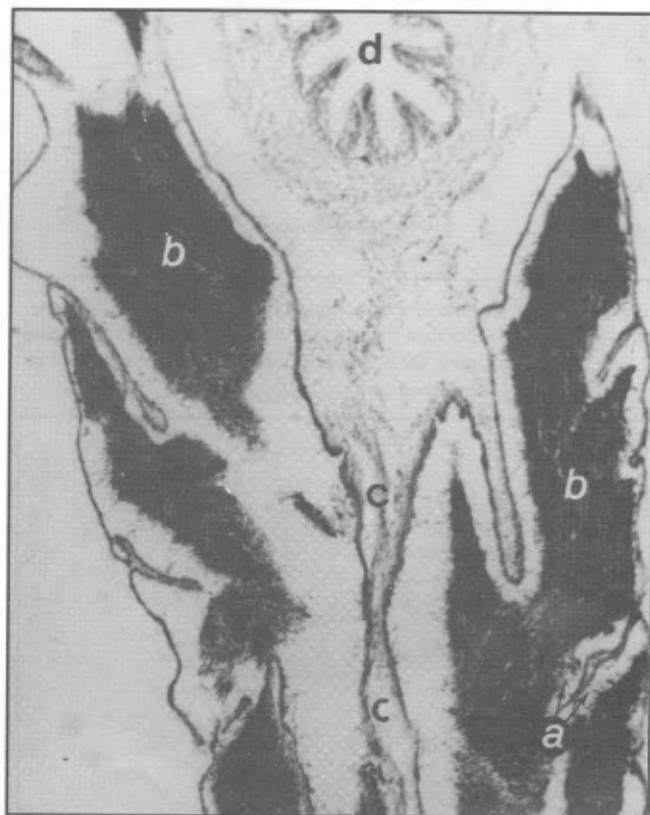


Figure 11. Cross section of both the two seminal vesicles and the urinary bladder. a: double glandular wall surrounding the agglomeration of spermatozoa (b). c: wall which separates the seminal vesicles. d: urinary bladder.

Urinary bladder

In a dorsal position to the seminal vesicle there is a translucent and distensible sac that is totally extraperitoneal. In most of the examined specimens of both sexes, this sac is large (fig. 11d, 12a and 13). According to the histology, the sac is a urinary bladder and the nephric ducts coming from the kidneys enter them anteriorly. In the cross sections, it appears as mucous folds (fig. 13b) with a superficial layer of epithelium (fig. 13a). It also is bound with connective tissue (fig. 13d) with a wide layer that appears to be a mesothelium (fig. 13c).

Discussion

According to the current literature, the presence of seminal vesicles is uncommon in fishes. In siluroideans, it is known that the genus *Trachycorystes* (Ihring 1937) has this structure. Although we have not observed specimens of *Trachycorystes*, the seminal vesicle is not independent of the testes and makes its appearance in periods of reproduction (Burgess 1988). In contrast, once the species of *Astroblepus* develop the seminal vesicles, they remain functional for the rest of the life cycle and are independent of testes. Another group that has been the subject of studies in reproductive anatomy is the genus *Gillichthys* (Weisel 1949). The testes in this marine teleost have an accessory organ that Weisel referred to as a seminal vesicle. He did not consider it a part of the wolffian duct and therefore not homologous with seminal vesicles in mammals. It is not known if the seminal vesicles of *Astroblepus* species are part of wolffian duct.

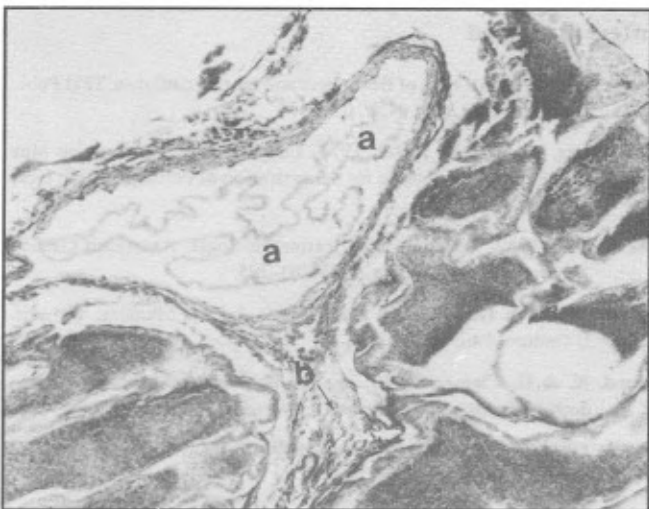


Figure 12. Cross section of a: urinary bladder and b: the wall between the seminal vesicles.

According to Sneed & Clements (1963), the testes in species of *Ictaluridae* are lobate and not compact. They also reported the presence of a sharply demarked portion in the posterior region of the testes. These lobules did not contain testicular elements (op.cit.).

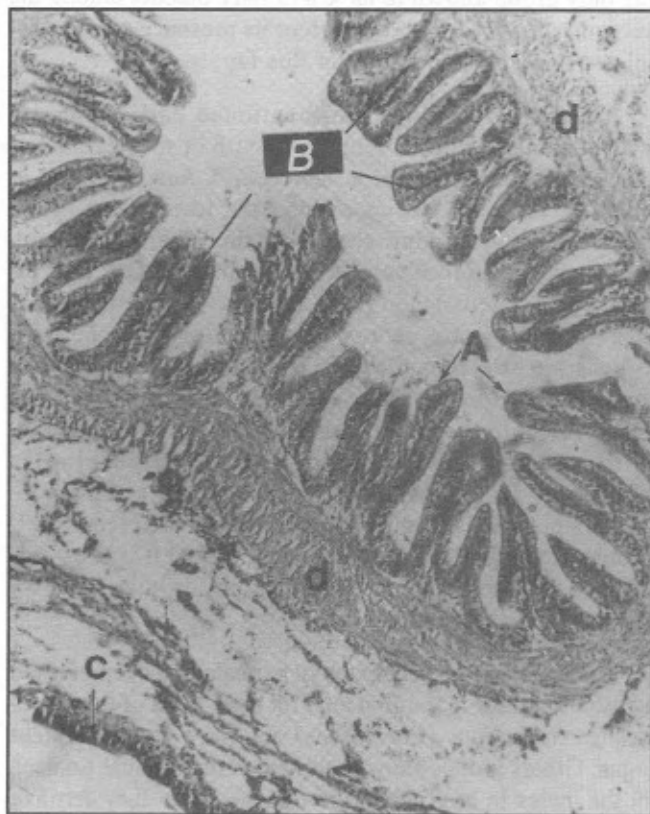


Figure 13. Cross section of the urinary bladder. a: epithelium, b: internal folds, c: mesothelium and d: connective tissue.

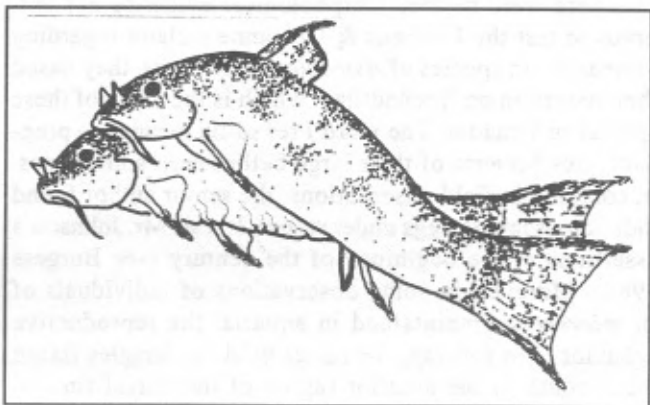


Figure 14. Diagrammatic representation of the reproductive behavior in *Astroblepus micrescens*. This behavior could be common in all species of this genus.

A urinary bladder is uncommon as well; in *Amia*, as in females of the *Elasmobranchi*, each archinephric duct has its own urinary bladder. In species of *Astroblepus*, the two nephric duct drain the kidneys into the same sac. The presence of this structure in separated evolutionary lines could be interpreted as a convergence. However, *Astroblepus* is the only group known to have a urinary bladder among the suborder *Siluroidei*, and therefore its presence can be postulated as a synapomorphy for this family.

The sexual dimorphism mentioned earlier appears when the males reach 35 mm. of length in species such as *Astroblepus micrescens*, *A. vanceae*, *A. homodon* and *A. guentheri*. These species present the lowest size in the genus (50 mm. in adult stage). At this size, i.e. 35 mm, the immature individuals begin to differentiate into either males or females in those species. In the largest species (like *A. chotae*, *A. rosei* and *A. longifilis*) the individuals are still immature around 70 mm in length. The dimorphic features in males (i.e. the copulatory organ, the enlargement in the anal fin and the joining of the second, third and fourth anal fin rays) start to develop in synchrony. By the time the males mature, a third pore appears between the anus and urinary pores in females. It is not detected in immature specimens and it is the genital pore. In studies of internal anatomy in juveniles, we did not find differences between sexes.

Some teleosts present external genital organs represented by modifications in the first anal fin rays. Most of these species are viviparous (*Poeciliidae*) and have an intromittent organ. Others groups show modified rays in anal fin used by the males to hold down the females when they fertilize the eggs. In *Astroblepus* the copulatory organ is well separated from the anal fin. It is unknown if this organ has the same embryological origin of the anal fin.

There were neither morphological evidence nor embryos to test the Loubens & Lauzanne's claim regarding viviparism in species of *Astroblepus*. Perhaps, they based their assertion on "preñadillas" which is the name of these species in Ecuador. The word Preñadilla means the pregnant ones because of their large bellies seen some times. In contrast, in field observations, the senior author found individuals laying eggs under stones. It tests Mr. Johnson's assertions at the beginings of the century (see Burgess 1988). Moreover, in some observations of individuals of *A. micrescens* maintained in aquaria, the reproductive behavior is as follows: the males hold the females fixing their mouth in the anterior region of the dorsal fin and then they (the males) curve their body forward and push the copulatory organ to make a fast contact with the geni-

tal region of the females. These observations are still not direct evidence of actual copulation (fig. 14). Since the species of this genus inhabit streams, it is certainly possible that a copulation is necessary and consequently an internal fecundation might occur.

Males collected in different periods through the year had the testes large. We observed neither seasonal changes in size nor changes in cross sections in testicular elements; they appear to be active or functional during the life cycle. However, these findings need to be tested by further studies in developmental behavior on individual and population levels.

Acknowledgments

We thank the following persons and institutions: Dr. Gloria Arratia (The University of Kansas) for her advice, comments and sending invaluable information. Dr. John Lynch (The University of Nebraska) for his comments on the Spanish manuscript and for making the corrections on the last English draft. Our thanks are also extended to Dr. K. Pharis (Center of English as a Second Language, Southern Illinois University at Carbondale) for his comments on the first English version. We also thank Hno. Roque-Casallas (MLS director) for providing laboratory space and the loan of some specimens. Specials thanks to Eduardo Jurado (The Department of Biology, Universidad Pedagógica Nacional at Santafé de Bogotá) for performing the cross sections. Much of this study was performed in the laboratories of the Fish Division and Herptological Division of the ICN-MHN, Universidad Nacional de Colombia.

Literature cited

- Burgess, W. 1988. An atlas of freshwater and marine catfishes. TFH Publ., Inc. Plaza Nep. City, N. Y. 07753.
- Dingerkus, G. & L. D. Uhler. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained small vertebrate for demonstration of cartilage. Stain tech. 52:229-232.
- Ihering, R. 1937. Oviducal fertilization in South American Catfish *Trachycoryctes*. Copeia. 1937:201-205.
- Lauzanne, L. & G. Loubens 1985. Peces del río Mamore. De edit. L'Orstom. Paris.
- Sneed, K. & H. Clemens 1963. The morphology and accessory reproductive glands of the catfishes (*Ictaluridae*). Copeia, 1963:606-611.
- Weisel, G. 1949. The seminal vesicles and testes of *Gillichthys*, a marine teleost. Copeia. 1949:101-110.

INTRAGENERIC RELATIONSHIPS OF MAINLAND *ELEUTHERODACTYLUS* II. A REVIEW OF THE *ELEUTHERODACTYLUS SULCATUS* GROUP

por

John D. Lynch¹

Resumen

Lynch, J.D.: Intrageneric relationships of mainland *Eleutherodactylus* II. A review of the *Eleutherodactylus sulcatus* group. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21**(80): 353-372, 1997. ISSN 0370-3908.

Se tratan nueve especies dentro del grupo *Eleutherodactylus sulcatus*, incluyendo una nueva especie que se describen. Las ranas de este grupo se encuentran en los bosques nublados de Colombia y Ecuador como en tierras bajas del occidente de la cuenca amazónica (Brasil, Colombia, Ecuador, y Perú) y sobre la frontera de Colombia y Panamá. De un análisis cladístico (basado en morfología craneal), resulta un cladograma casi completamente resuelto. Las especies de los bosques nublados forman un clado dentro del grupo de especies. Todas las parejas de especies hermanas son alopátricas pero alguna paralógia biogeográfica sugiere que la diversificación inicial andina antecede la geografía andina actual.

Palabras claves: Amphibia, Leptodactylidae, biogeografía, cladística, osteología.

Abstract

Nine species are recognized in the *Eleutherodactylus sulcatus* group, including one species described as new. Frogs of this species group are distributed in cloud forests of Colombia and Ecuador as well as at lower elevations in the western Amazon basin (Brasil, Colombia, Ecuador, and Peru) and along the frontier between Colombia and Panama. A cladistic analysis (based on cranial morphology) results in a nearly fully resolved cladogram. The cloud forest species form a clade within the species group. All pairs of sister species are allopatric but some biogeographic paralogy suggests that initial andean diversification of this clade antedates the present Andean geography.

Key words: Amphibia, Leptodactylidae, biogeography, cladistics, osteology.

¹ School of Biological Sciences, the University of Nebraska, Lincoln, Nebraska 68588, U.S.A.

Introduction

Two decades ago, Lynch (1975) reviewed the "broad-headed" eleutherodactylines, then characterized by the possession of heads about 50% as wide as SVL and by the presence of cranial crests, and recognized nine species in two genera (*Amblyphrynus* with two species and the remainder in one species group of *Eleutherodactylus*). The most significant subsequent study was that of Lynch (1986a) who argued that those nine species do not form a monophyletic group but belong to two very different groups with four species (*E. biporcatus*, *E. bufoniformis*, *E. maussi*, and *E. necerus*) being assigned to the subgenus *Craugastor* and the remaining species to the *sulcatus* group of *Eleutherodactylus*. The nominate species of the *sulcatus* group are *E. cadenai* Lynch, *E. cerastes* Lynch, *E. cornutus* (Jiménez de la Espada), *E. helonotus* (Lynch), *E. ingeri* (Cochran and Goin), *E. laticorpus* Myers and Lynch, *E. ruizi* Lynch, *E. sernai* Rivero, and *E. sulcatus* (Cope). *Eleutherodactylus sulcatus* is distributed in the Amazon Basin of western Brasil, southern Colombia, and eastern Ecuador and Peru and *E. laticorpus* occurs on the low serranía separating Colombia and Panama whereas the other species are cloud forest species distributed in the Andes of Colombia and Ecuador. Species descriptions are available for all but one taxon in Lynch (1975, 1981, 1986b), Myers & Lynch (1997), and Rivero (1984); one new species is named herein. Four generic names were proposed for broad-headed taxa (*Strabomantis* Peters, *Limnophys* Jiménez de la Espada, *Ctenocranius* Melin, and *Amblyphrynus* Cochran and Goin). *Strabomantis* is a synonym of the subgenus *Craugastor* Cope and the other three generic names apply to species of the *sulcatus* group. *Ctenocranius* is an objective synonym of *Limnophys* (Myers, 1962).

Frogs of the *sulcatus* group are markedly different from what most people expect of an *Eleutherodactylus* because they are relatively large frogs (adult females 40.0-70.0 mm SVL), whose habitus is robust or stocky, having large, broad, heads and short hindlegs. The coloration is somber (browns or grays with some black and rust pigmentation dorsally) and the skin of the dorsum is beset with conical and subconical tubercles, often coalescing with sharp ridges. The first finger is longer than the second and the fifth toe is shorter than the third. Some species lack digital pads (and discs) on the fingers. These frogs are usually found motionless in the leaf litter although some limited observations suggest that they actively move about the forest floor during the night. Initially (Lynch, 1986a), the *sulcatus* group was defined on the basis of a combination of characteristics: broad heads, cranial crests present, "S"

condition of the mandibular ramus of the trigeminal nerve. None of these features qualifies as a synapomorphy except in the most *ad hoc* of ways (broad heads and cranial crests are probably derived conditions). However, unlike frogs of the *biporcatus* and *bufoniformis* groups (subgenus *Craugastor*), the broad-headed taxa of the *sulcatus* group have the posterior part of the *pars facialis* of the maxilla deepened (Fig. 1B). The plesiomorphic condition is seen in members of the *biporcatus* and *bufoniformis* groups (frogs of the subgenus *Craugastor* having broad heads) as well as in all other *Eleutherodactylus*.

The objectives of the present paper are to summarize additional data for these frogs, to provide a cladogram for the *sulcatus* group, and to present an hypothesis concerning its relationships within the genus *Eleutherodactylus*.

Material and Methods

The primary focus of this paper is to utilize osteological features as evidence of relationships. Skeletons and

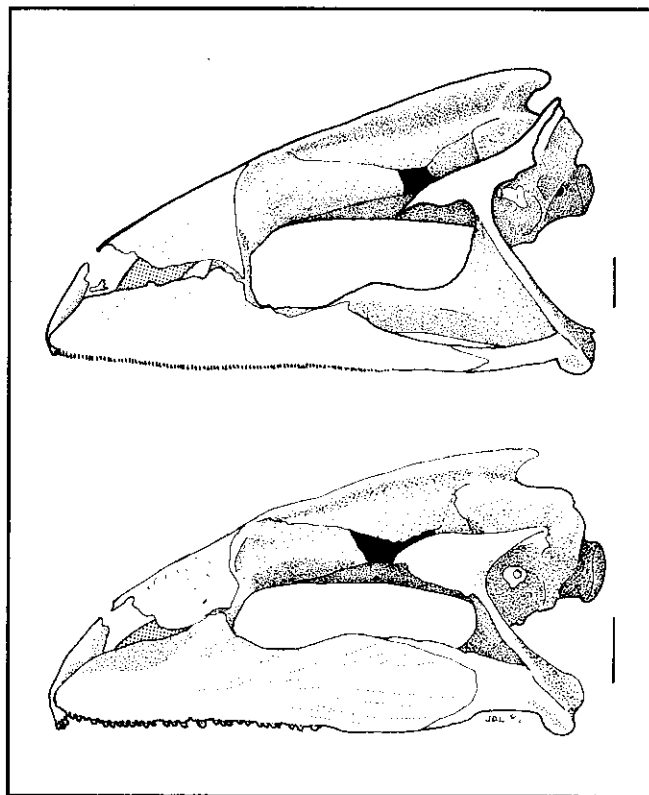


Figure 1. Lateral views of crania of (top) *Eleutherodactylus biporcatus* (KU 113679) and (bottom) *E. cerastes* (ICNMHN 14096) illustrating differences in depth of the posterior part of the *pars facialis* of the maxilla. Scales equals 2 mm.

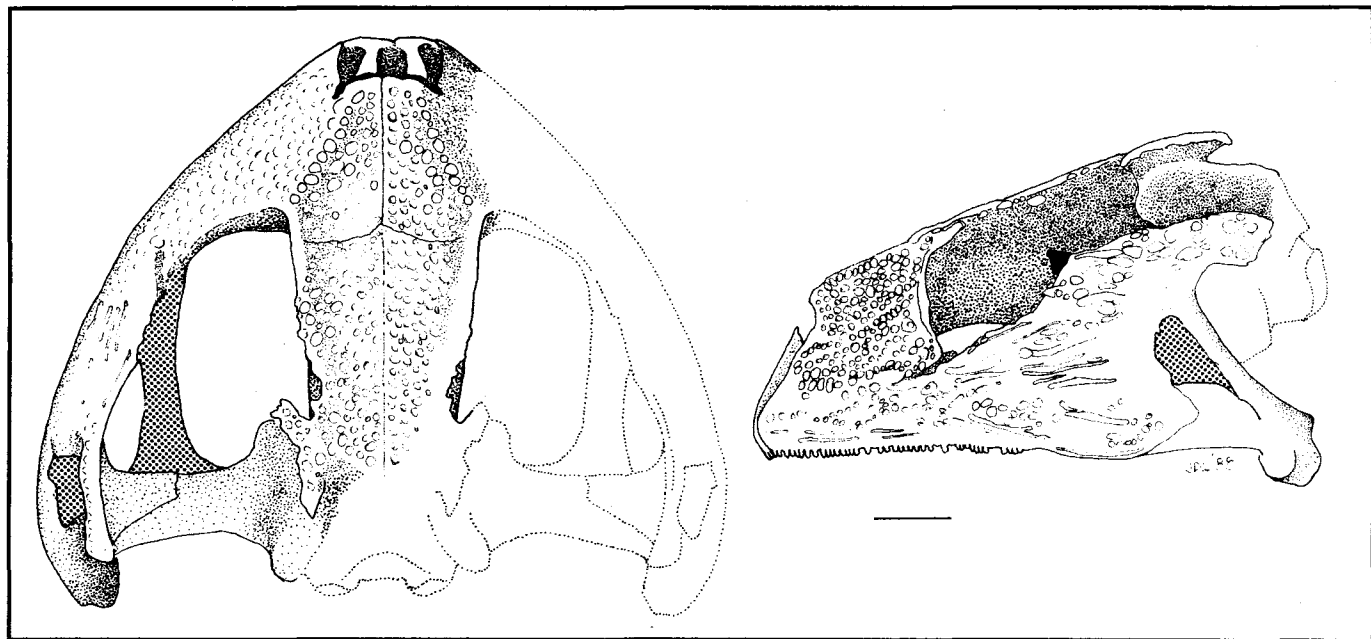


Figure 2. Dorsal and lateral views of cranium of *Eleutherodactylus cadenai* (ICNMHN 13731). Those parts of the cranium obscured by tissue are indicated by dotted lines. Scales equal 2 mm.

crania were prepared in one of two ways: as doubly stained cleared specimens, following Dingerkus & Uhler (1978), or as dry crania, prepared by flensing and then erosion of soft tissues in weak chlorox followed by 12 hr of washing in cold water. Osteological data were obtained as well by reflecting the skin of the head to expose the frontoparietals, nasals, and squamosals. Character polarization was accomplished by use of a strict out-group method,² using approximately 290 other species of *Eleutherodactylus* as the out-group (200 listed in Lynch, 1996) and by reference to juvenile specimens (an ontogenetic criterion). The following abbreviations are used in the text: E-N (distance from nostril to eye), HW (greatest head width), IOD (interorbital distance), and SVL (snout-vent length). Means are reported ± 1 standard error of the mean. Three hundred and eighty-eight specimens were examined and

are identified by the appropriate symbolic code for the museum collection (Appendix 1).

Accounts of Species

Eleutherodactylus cadenai Lynch

Eleutherodactylus cadenai Lynch, 1986b:504 [Holotype. ICNMHN 13731, adult female, Alto de Río Cuevas, carretera Nutibara-La Blanquita, corregimiento de Murri, Municipio de Frontino, Departamento de Antioquia, Colombia, 1900 m.].

This species remains known only from the holotype. The holotype is an adult female, 40.6 mm SVL, and is thus one of the smaller species of the *sulcatus* group. The species is probably sympatric with *E. cerastes* but collecting data are too few to document sympatry. Subsequent collecting in the vicinity of the type-locality revealed only *E. cerastes*. Lynch (1986b) suggested that *E. cadenai* and *E. ingeri* are sister species on the basis of the shared bony cheek (Fig. 2). Although poorly-known, I partially prepared the holotype to reveal some features of the cranium. The bony tubercles on the frontoparietals, nasals, and maxillae are distinctive as is the broad contact between the nasals and maxillae (probably autapomorphies). Other features of the cranium appear to be plesiomorphic (shape

² A strict out-group method requires the initial assumption of monophyly of the in-group. All other taxa, "similar" or not, closely related or not, examined or not, comprise the out-group. The cautious biologist will want to examine more (or all) of the out-group taxa than will the bold biologist but, whether examined or not, any out-group taxon, possessing a particular state, is sufficient to falsify the claim that such and such a character state is derived for the in-group (all states [of a character] seen in both the in-group and the out-group are judged plesiomorphic for the in-group; only a state restricted to the in-group is judged as derived for the in-group).

of the cranial crests, nasal-frontoparietal contact). The other salient features of this species include (1) fingers with small disks and pads, (2) skin of venter smooth, (3) no tarsal fold, (4) one elongate eyelid tubercle, (5) no lateral fringes on the toes, and (6) narrow vomerine odontophores. The distribution of *E. cadenai* and *E. ingeri* is seemingly a biogeographic enigma, especially because the Cordillera Central is occupied by less closely-related species.

Distribution. Known only from the type-locality, in cloud forest at 1900 m on the western flank of the Cordillera Occidental in Departamento de Antioquia, Colombia (Fig. 3).

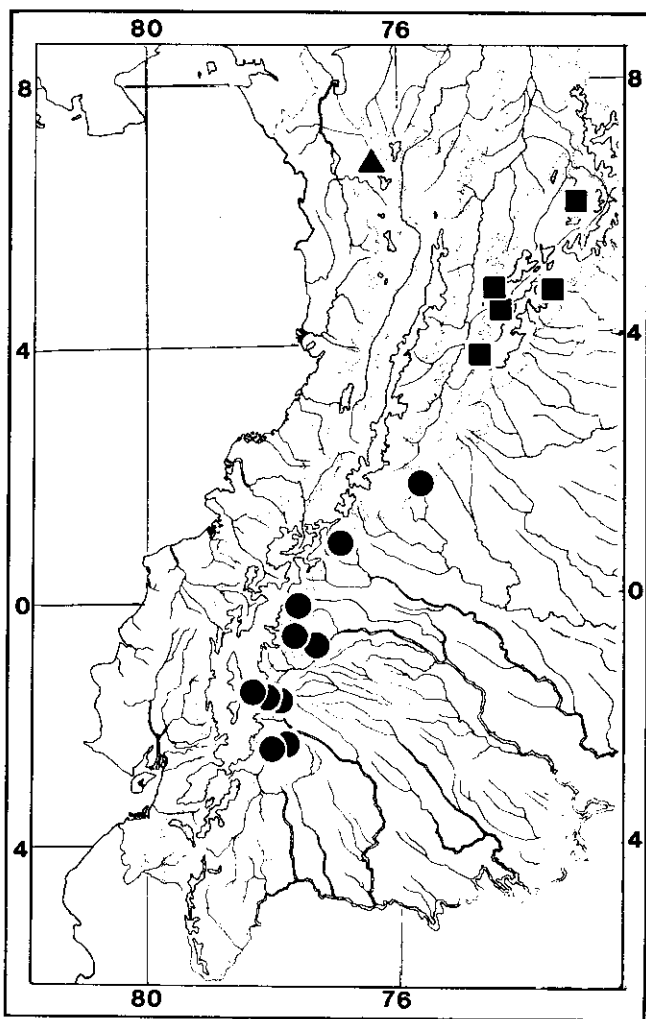


Figure 3. Map of Colombia and Ecuador showing locality records for *Eleutherodactylus cadenai* (triangle), *E. cornutus* (circles), and *E. ingeri* (squares). Areas above 3000 m stippled; 1000 m contour is indicated by dotted line.

Eleutherodactylus cerastes Lynch

Eleutherodactylus cerastes Lynch, 1975:25 [Holotype. USNM 195785, an immature female, Palma Real, Pichincha Province, Ecuador].

Eleutherodactylus sernai Rivero, 1984:101 [Holotype. CSJ 301, immature female, "Pampas", a site at the edge of the Parque Nacional Natural "Las Orquídeas", corregimiento de Calles, Municipio de Urrao, Departamento de Antioquia, Colombia, ca 1500 m]. New synonymy.

Eleutherodactylus cerastes is a small species of the *sulcatus* group (5 males 27.4-33.4 ($\bar{x}$ = 29.8) mm SVL, 9 females 44.4-55.8 ($\bar{x}$ = 47.0 $\pm$ 1.2) mm SVL) having (1) small discs on the fingers and toes, (2) skin of venter smooth, (3) no tarsal fold, (4) one elongate eyelid tubercle, (5) no lateral fringes on the digits, and (6) broad vomerine odontophores. Males lack vocal slits and nuptial pads. Externally, *E. cadenai*, *E. cerastes*, and *E. laticarpus* are very similar because each has a long thin tubercle on the upper eyelid. The skin of the dorsum of *E. cadenai* is much less tuberculate than is that of the other two species and *E. cadenai* has narrow, rather than arched vomerine odontophores.

Rivero (1984) named *E. sernai* on the basis of a specimen from western Depto. Antioquia, Colombia, and contrasted it with *E. cerastes* on the basis of a sharply inclined snout, smaller digital discs, smaller eyelid tubercle, smoother skin of the dorsum, and a groove between the eye and snout. Rivero (1984) also suggested that the two species differ in the development of cranial crests (less distinct in *E. sernai*). Based on the photograph of the holotype in Rivero (1984), the organism appears substantially distinct from *E. cerastes*. However, when I examined the holotype in Medellín in 1985, I discovered that the peculiar head shape was the product of the collector's treatment of the animal (preserved with the mouth open by means of raising the cranium from the horizontal plane). The Colegio de San José has several other specimens collected by the late Marco Antonio Serna and these differ from the holotype in ways that suggest to me that the holotype either died before preservation or was subjected to desiccation soon after preservation. I interpret the smoother skin, the deep facial groove, small eyelid tubercle, and the small discs as post-preservation artifacts. In the absence of any feature that cannot be so interpreted, I here place *Eleutherodactylus sernai* Rivero in the synonymy of *E. cerastes*.

The cranium of *E. cerastes* (Fig. 4-5) closely resembles those of several other species of the *sulcatus* group. The maxilla is deep with pits and small protuberances. The

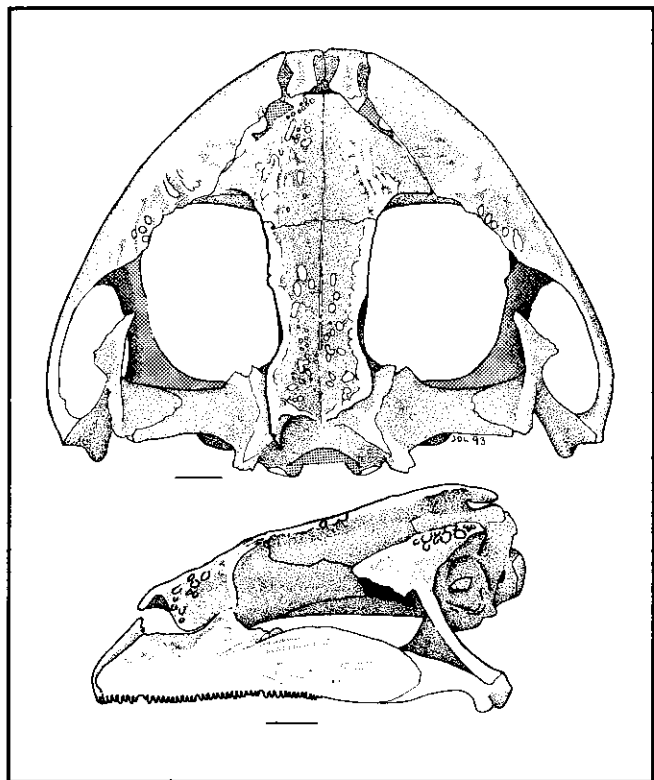


Figure 4. Dorsal and lateral views of cranium of *Eleutherodactylus cerastes* (UVC 8429). Scales equal 2 mm.

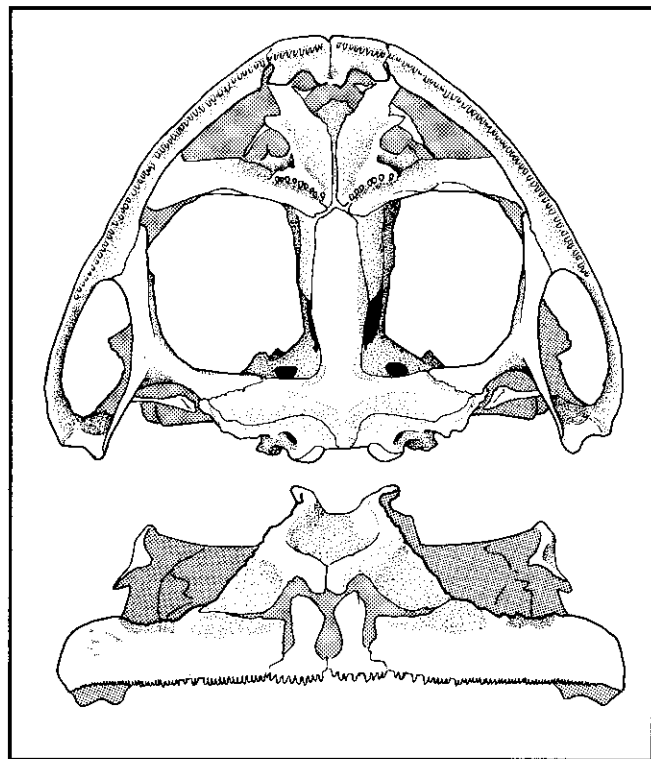


Figure 5. Ventral and frontal views of cranium of *Eleutherodactylus cerastes* (UVC 8429). Scale equals 2 mm.

quadratojugal is deepened anteriorly. The nasals and frontoparietals completely occlude the fontanelles and bear bony crests and low bony tubercles on the crests and in the furrow. The frontoparietals are not fused to the preotics. The squamosal bears an obvious otic shelf extending over the distal 40% of the *crista paroticae*. The otic crest (squamosal crest) is not elevated when viewed frontally (Fig. 5). The zygomatic ramus of the squamosal is deepened and flares laterally. The vomers are large and narrowly separated and bear massive odontophores that nearly meet medially and extend laterally to the middle or lateral border of the choanae.

Variation seen among the several skulls examined is partially ontogenetic. In the smallest specimens, the vomerine odontophores more closely approximate the condition usually described as "triangular". The smallest specimens examined also lack cranial crests. However, among most specimens, there is considerable variation, which I interpret as individual, in terms of the thickness or massiveness of the cranial crests and the presence of bony tubercles (Fig. 6). I interpret the presence of thin crests as an ontogenetic, rather than a phylogenetic, fea-

ture. The crests shown in Fig. 4 are of a large adult whereas those in Fig. 6 include several smaller and sexually immature specimens. In all specimens bearing cranial crests, there is an obvious constriction of the crests in the posterior part of the orbit followed by an increase in the separation of the crests internal to the epiotic eminences. In some specimens, a series of short bony spurs approximates the arrangement seen in *E. laticarpus* (Myers & Lynch, 1997). I am convinced that the similarity reflects ontogeny rather than relationship.

Distribution. *Eleutherodactylus cerastes* is distributed (Fig. 7) between 500 and 2300 m along the length of the Cordillera Occidental of Colombia and into northern Ecuador (Lynch & Duellman, 1997). All records of the species below ca 1200 m are from western Ecuador. Sympatry is anticipated between *E. cadenai* and *E. cerastes* in western Antioquia of Colombia and is known between *E. cerastes* and *E. helonotus* in Provincia de Pichincha of Ecuador. Additionally, *E. cerastes* is sympatric with *E. ruizi* in Depto. Valle del Cauca of Colombia with no apparent ecological distinction between the two species.

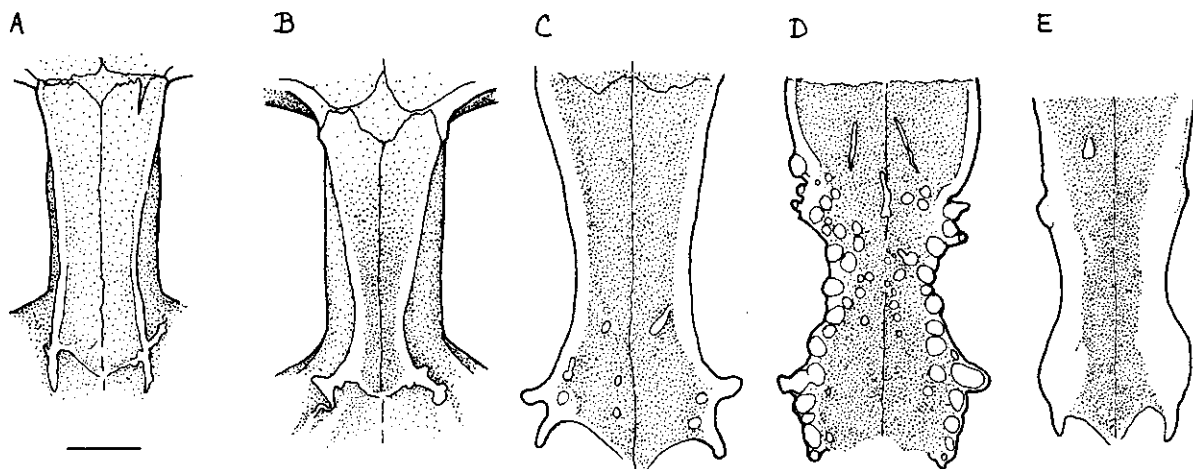


Figure 6. Variation in the expression of cranial crests in *Eleutherodactylus cerastes*. (A) ICNMHN 14096; (B) KU 144992; (C) ICNMHN 19205, juvenile female, 40.5 mm SVL; (D) ICNMHN 29064, juvenile female, 38.0 mm SVL; (E) ICNMHN 16601, adult female, 45.8 mm SVL. Scales equal 2 mm.

***Eleutherodactylus cornutus* (Jiménez de la Espada)**

Limnophrys cornutus Jiménez de la Espada, 1870:60
[Type-locality: Río Suno, San José de Motí, Provincia Napo, Ecuador; holotype apparently lost].

Limnophrys napaeus Jiménez de la Espada, 1870:60
[Type-locality: Río Suno, San José de Motí, Provincia Napo, Ecuador; holotype apparently lost]. Synonymy by Lynch, 1975:28.

Strabomantis cornutus: Jiménez de la Espada, 1872:85.

Hylodes cornutus (part): Boulenger, 1882:220.

Ctenocranius cornutus: Melin, 1941:49.

Eleutherodactylus cornutus cornutus (part): Rivero, 1961:55.

Eleutherodactylus cornutus: Gorham, 1966:66.

Eleutherodactylus cornutus remains a rare species but was confused with several species (Lynch, 1975). The salient features of the species are: (1) fingers and toes bearing small discs, (2) skin of venter smooth, (3) fold along inner edge of tarsus, (4) elongate eyelid tubercle, (5) toes bearing lateral fringes, and (6) broad vomerine odontophores. The skin of the dorsum is prominently tuberculate.

Perhaps the most significant contribution of Lynch (1975) was to distinguish *E. cornutus* and *E. sulcatus*, two species that had been confused completely by Rivero (1961) and Cochran & Goin (1970). The former species has a smooth venter and an elongate eyelid tubercle whereas the latter has areolate skin on the venter and only small eyelid tubercles. The two species are also distinguished easily because the posterior surfaces of the thighs are brown in *E. cornutus* and bear large cream spots in *E. sulcatus*. Lastly, *E. cornutus* is a cloud forest species whereas *E. sulcatus* is a lowland species, and osteological features place *E. cornutus* with the Andean species, not with those of the lowlands.

The cranium (Fig. 8) is slightly wider than long. The individual available for skeletal preparation is not an adult female, but rather an immature (nearly adult) one. Accordingly, some of the features evident in the cranium may reflect ontogenetic rather than systematic features (e.g., the separation of the vomers and lack of ornamentation of the roofing bones). The most important osteological features are (1) that the cranial crests diverge anteriorly-posteriorly, (2) the bicapitate head of the quadratojugal, (3) elevated squamosal crest of the otic ramus, (4) relatively short [compared to *E. ingeri* and *E. sulcatus*] otic shelf of the squamosal, and, possibly, (5) the evident crests over the nasal bones. This last character is only hinted at by the available cranium (Fig. 8) but one must recall that this is a juvenile, not an adult, specimen.

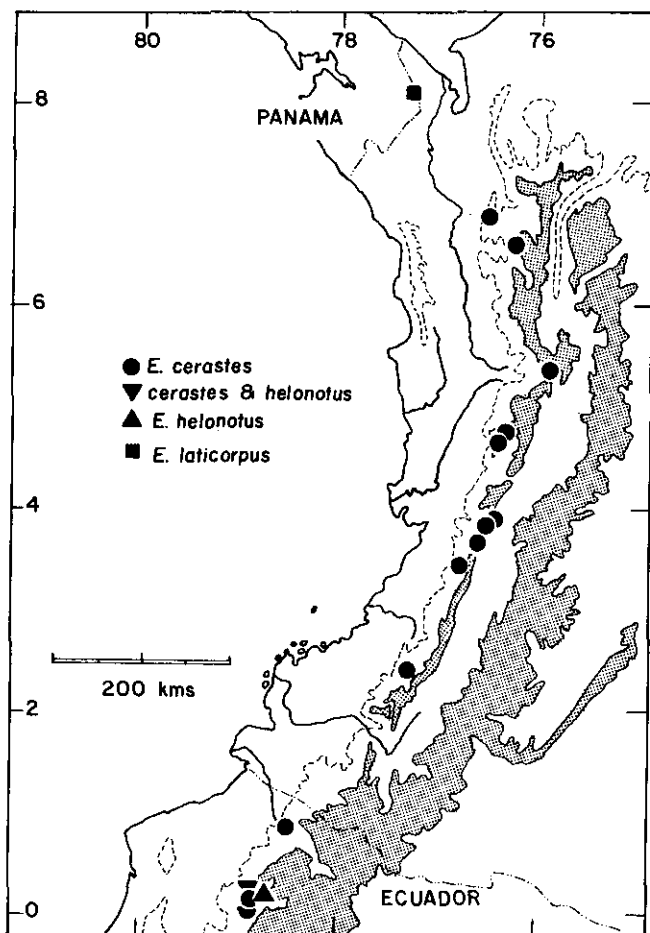


Figure 7. Map of western Colombia and Ecuador showing locality records for *Eleutherodactylus cerastes*, *E. helonotus*, and *E. laticarpus*. Area above 2000 meters is stippled. Dashed line is 500 m contour.

Distribution. Lynch (1975) reported this species from the cloud forests of eastern Ecuador only. In 1990, the author and Pedro Ruiz found *E. cornutus* in extreme western Depto. Caquetá of Colombia. I suspect that the species is distributed farther north along the eastern flank of the Cordillera Oriental but collecting is impossible because of political instability (Fig. 3).

Eleutherodactylus helonotus (Lynch)

Amblyphrynus helonotus Lynch, 1975:19 [Holotype. BMNH 1970.178, an adult female, Río Pitzara, Provincia Pichincha, Ecuador].

Eleutherodactylus helonotus: Lynch, 1981:318.

Lynch (1975) described this species on the basis of two females and no additional specimens have come to

light in spite of considerable additional collecting on the western slopes of the Andes of Ecuador. The holotype is an adult female 69.6 mm SVL whereas the paratype (60.6 mm SVL) is a subadult female. The salient features of the species are: (1) fingers lacking discs [but toes thought to have narrow discs], (2) skin of venter areolate, (3) no tarsal folds, (4) upper eyelid bearing low tubercles, none elongate, (5) toes bearing lateral fringes, and (6) broad vomerine odontophores. Additionally, the species is distinctive because the dorsum bears large, flattened warts.

Because it is known from only two specimens, housed in different museums, osteological information on *E. helonotus* is very limited. Before I described it, I carried out limited dissections of each specimen (such being the one of the advantages of discovery). On the basis of osteological features evident by reflecting the skin of the head and augmented by stereoradiographs, limited osteological information is available (Fig. 9). The capitate end of the quadratojugal is bifurcate as in all other Andean species of the *sulcatus* group but all other osteological features appear to be plesiomorphic within the *sulcatus* group.

Distribution. Known only from two localities in western Ecuador (Fig. 7); the species is probably distributed at elevations between 1000 and 2000 meters in cloud forests.

Eleutherodactylus ingeri (Cochran & Goin)

Hylodes cornutus (part): Boulenger, 1882:220-221.

Eleutherodactylus cornutus (part): Dunn, 1944:26.

Amblyphrynus ingeri Cochran and Goin, 1961:543. [Holotype. FMNH 81915, an adult female, San Isidro, 8 km S Gachalá, Municipio de Gachalá, Departamento de Cundinamarca, Colombia, 2350 m].

Eleutherodactylus ingeri: Lynch, 1981:318.

This very distinctive frog remains quite rare. Two adult males are 33.1-38.0 mm SVL and two gravid females are 49.2-52.5 mm SVL. Salient features are: (1) fingers lacking discs but small discs on toes, (2) skin of venter areolate, (3) inner tarsal fold, (4) upper eyelid bearing one conical tubercle, (5) toes bearing lateral fringes, and (6) vomerine odontophores broad. Contrary to Lynch's (1981) report, males have vocal slits. Lynch (1981) provided a detailed description of the skull of a near-adult female. The availability of a juvenile (Fig. 10) confirms some of Lynch's expectations concerning transformation of characters, most importantly as concerns the closure of the cheek in the adult. Additionally, juveniles lack cranial crests and have narrow vomerine odontophores.

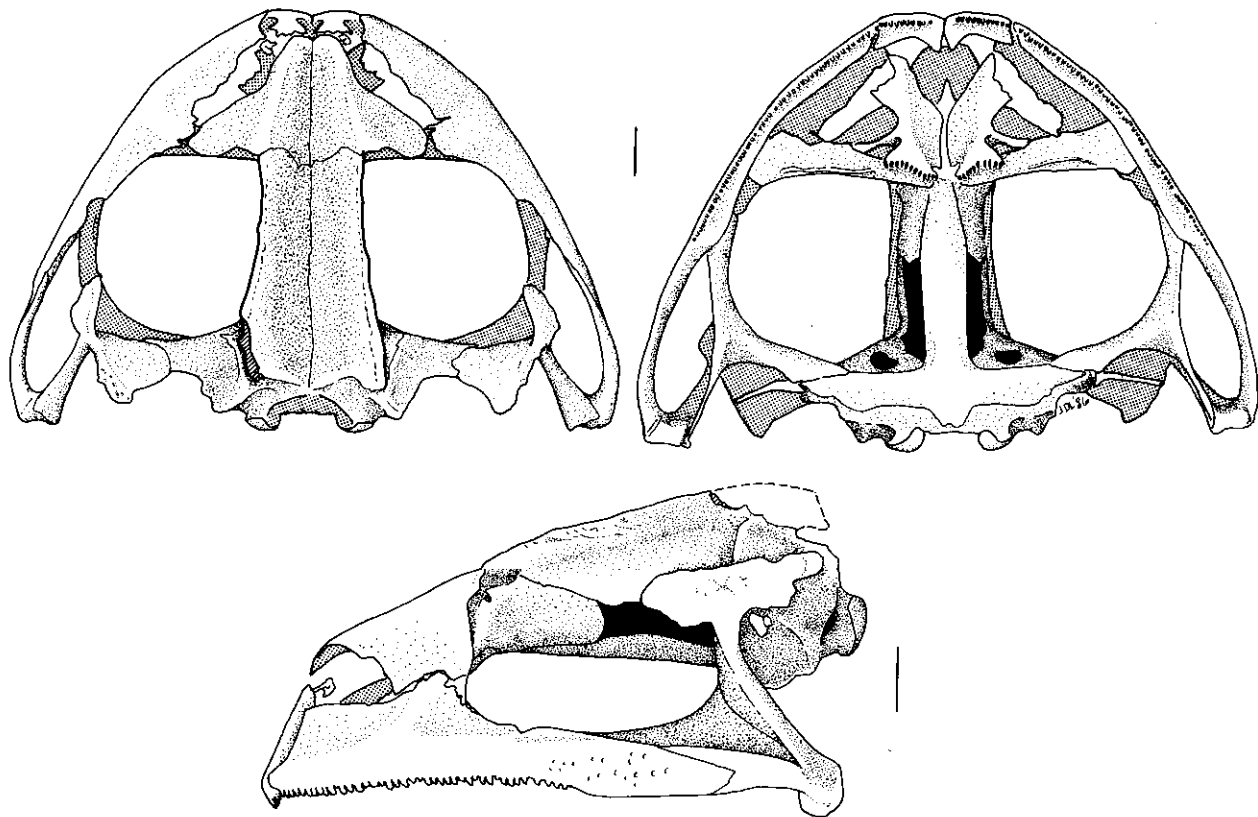


Figure 8. Cranium of *Eleutherodactylus cornutus* (KU 123448). Scales equal 2 mm.

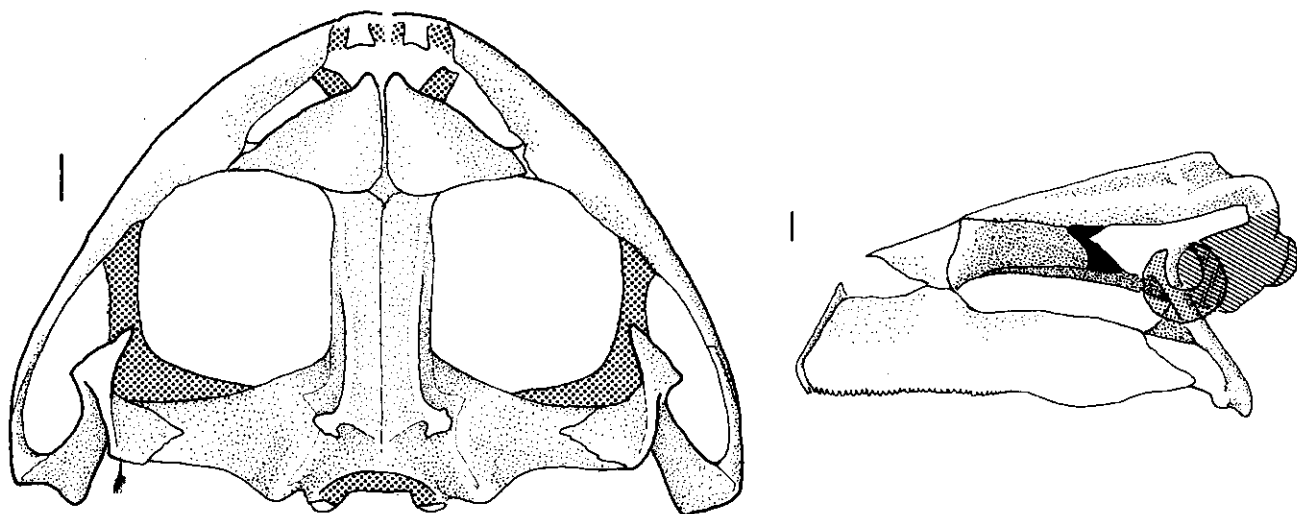


Figure 9. Dorsal and lateral views of crania of *Eleutherodactylus helonotus*. Based on radiographs and limited dissections of the holotype and paratype. Dorsal view based primarily upon USNM 195784; lateral view based primarily upon BMNH 1970.178. However, each drawing is a composite. Stippling in lateral view represents cartilage. Scales equal 2 mm.

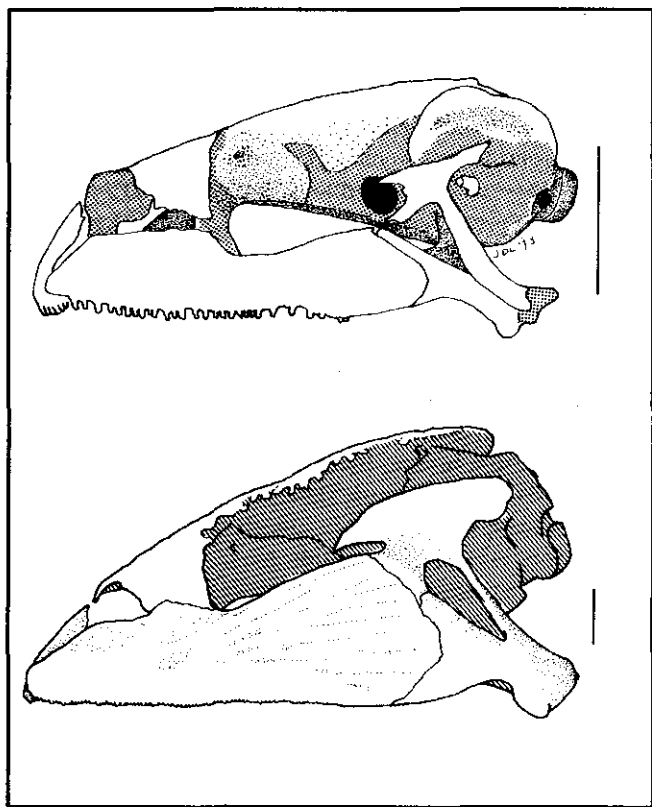


Figure 10. Lateral views of crania of *Eleutherodactylus ingeri* [top: ICNMHN 6173, juvenile female, 17.2 mm SVL (cartilage is stippled). bottom: ICNMHN 2507, adult female]. Scales equal 2 mm.

Distribution. *Eleutherodactylus ingeri* is known from elevations between 1700 and 2300 m on both the eastern and western slopes of the Cordillera Oriental in departamentos Cundinamarca and Santander (Fig. 3). The absence of records from Depto. Boyacá probably represents only failure to collect.

***Eleutherodactylus laticarpus* Myers & Lynch**

Eleutherodactylus laticarpus Myers & Lynch, 1997:4. Holotype. AMNH 100000, an adult female, southwest sector of the Cerro Tacarcuna massif, Darién Province, Panamá, 1590 m.

No additional information is available for this recently-described species except as concerns its relationships (see below). The salient features of this toad are: (1) small discs on fingers and toes, (2) skin of venter smooth, (3) no tarsal fold, (4) upper eyelid bearing one long conical tubercle, (5) toes lacking lateral fringes, and (6) vomerine odontophores broad.

Distribution. Known from two mountains on the frontier between Colombia and Panamá, 1410-1630 m (Fig. 7).

***Eleutherodactylus necopinus* sp. nov.**

Hylodes cornutus (part): Peracca, 1914:107.

Eleutherodactylus cornutus cornutus (part): Cochran and Goin, 1970:444.

Amblyphrynus ingeri (part): Lynch, 1975:15-19.

Eleutherodactylus ruizi (part): Lynch, 1981:319-321

Holotype. ICNMHN 24604, an adult female collected 9 November 1990 by A. Cadena and H. López.

Paratypes. Males: ICNMHN 13969, 32280, 37573, 37575, 37577, 37590, 37604, 37607. Females: ICNMHN 28614, 32284, 37578-81, 37584, 37587, 37592-93, 37596, 37599-603, 37612, IND-AN 5397 (see Appendix 1 for localities).

Type-locality. COLOMBIA, Departamento de Quindío, Municipio Filandia, vereda El Roble, Reserva Forestal Bremen (Buena Quebrada), Quebrada las Cruces, 2050 m.s.n.m.

Etymology. Latin, meaning unexpected; in reference to my surprise at discovering that the frogs from the Cordillera Central could be distinguished from those of the Cordillera Occidental by details of the crania (when externally, they are nearly identical).

Diagnosis. (1) skin of dorsum coarsely tuberculate in small specimens, smoother with sharp ridges and scattered tubercles in larger specimens, that of venter areolate; head width 51-59% SVL; (2) tympanum prominent, round; (3) snout round in dorsal view, sloping in lateral profile; canthus rostralis prominent, concave; lips weakly flared; (4) upper eyelid with 2-4 conical tubercles; (5) prevomerine odontophores median and posterior to choanae, triangular in outline; (6) males with vocal slits but no nuptial pads; (7) first finger longer than second; fingers lacking discs; (8) fingers bearing thick lateral keels; (9) ulnar tubercles subconical; (10) no tubercles on heel or outer edge of tarsus; inner tarsal fold present; (11) two metatarsal tubercles, inner oval, four times size of round outer; numerous supernumerary plantar tubercles; (12) toes bearing lateral fringes, no webbing, narrow toe discs; toe III longer than toe V; (13) gray to brown above with brown or black markings; throat brown with cream flecks, venter cream with modest to dense reticulation of brown; (14) adults large, males 32.0-39.8 ($\bar{x} = 37.1 \pm 1.2$, $n = 7$) mm SVL, females 52.8-67.7 ($\bar{x} = 58.8 \pm 0.8$, $n = 20$) mm SVL.

Eleutherodactylus necopinus is most closely related to *E. ruizi* and is most similar to that species as well (I cannot consistently distinguish the two species externally). At least for specimens 25 mm SVL and larger, the two can be distinguished easily by probing (with a needle) the supratemporal region for the presence of a median otic plate (*E. ruizi*) or its absence (*E. necopinus*).

Description. Head not as wide as body, wider than long; snout round in dorsal view, sloping in lateral profile; nostrils weakly protuberant, directed dorsolaterally; canthus rostralis massive (due to underlying bony ridges), slightly convex; loreal region concave, sloping to lip; lips not greatly flared, even in adult females; eyes small, upper eyelid bearing 2-4 elongate tubercles as well as several shorter ones; large lateral cranial crests produce deep furrow on center of head; crests extending anteriorly to a point just posterior to nostrils, posterior ends of crests end in bosses; skin between crests bearing transverse fleshy folds and small tubercles; supratympanic fold extending behind tympanum, its outline obscured by underlying crest of otic ramus of squamosal; tympanum visible externally, annulus raised at edges, except dorsally; tympanum separated from eye by tympanum length; postictal tubercles moderate in size; skin of sides of head and areas lateral to cranial crests bearing many small tubercles; choanae oblique (long axis 45° from midline), not concealed by palatal shelf of maxillary arch; vomerine odontophores median and posterior to choanae, each size of a choana or slightly larger, broader than long, bearing a row of 7-8 teeth, separated by a distance equal 1/4 width of an odontophore; tongue broadly oval, slightly wider than long, posterior edge not adherent to floor of mouth, bearing slight indication of posterior notch; vocal slits present in adult males.

Dorsum covered with small low warts with scattered larger warts and ridges, more prominent in juveniles (illustrated in photograph, identified as *Amblyphrynus ingeri*, by Lynch, 1975); warts larger on flanks, grading into granular venter; upper surfaces of limbs same as dorsum except with larger subconical warts and short ridges; some enlarged warts along lower edge of lower jaw; discoidal folds prominent, anterior to groin; no anal sheath; ulnar tubercles subconical, flattened anteroposteriorly, more prominent in juveniles than in adults; palmar tubercle bifid, larger than oval thenar tubercle; low supernumerary palmar tubercles; subarticular tubercles round, elevated, distal tubercles only half size of basal tubercles (fingers III-IV); thick lateral keels on fingers; fingers ending in simple tips (no expansion, no grooves); first finger longer than second; no nuptial pads in males.

No enlarged tubercles on heel or notable tubercles along outer edge of tarsus (skin of tarsus bearing subconical tubercles); inner tarsal fold along distal 2/3 - 3/4 of tarsus; inner metatarsal tubercle twice as long as wide, 4 times size of round outer metatarsal tubercle; numerous supernumerary plantar tubercles; subarticular tubercles subconical, slightly longer than wide; toes bearing lateral fringes; tips of toes weakly expanded, bearing circumferential grooves; toe III longer than toe V.

Gray to grayish-brown with black markings along edges of ridges; ridges paler than ground color; cream interorbital bar inside dark brown interorbital blotch; black postnasal blotch and black labial bars separated by cream lines; tympanum brown; black supratympanic blotch and black patch on anteriormost flank; limbs with incomplete thin black bars; inner digits cream; throat brown with tiny cream spots, venter cream with dense to modest reticulum of brown or gray; pale blotches larger on undersides of shank and thighs.

Color in life. Head and anterior trunk pale brown, posterior trunk and limbs lavender-gray; interorbital bar, folds on body and limbs cream with black flecks or spots; fingers and toes cream; groin, axilla, concealed surfaces of limbs spotted with brown (underside of shank barred cream and brown); ventral surfaces reddish-brown with dense flecking of lavender-brown; canthus rostralis and lips marked with black, separated by cream; tympanum black, annulus cream; anterior limbs bear small red spots; iris bronze with brown radii; tongue pale orange, rest of mucosa of mouth cream. (Field notes of P. M. Ruiz, 9 Nov. 1990).

Measurements of holotype in mm. SVL 67.7, shank 32.0, HW 34.8, upper eyelid width 5.8, IOD 8.4, tympanum length 5.6, eye length 7.0, E-N 6.5.

Proportions (10 males, 20 females).— Males: tibia/SVL 51.8-61.3 (55.2 ± 1.0)%; HW/SVL 54.0-59.0 (55.8 ± 0.5)%; eyelid/IOD 75.0-115.2 (95.7 ± 3.6)%; tympanum/eye 78.0-96.3 (87.3 ± 2.1)%; E-N/eye 76.4-100.0 (88.8 ± 2.6)%. Females: tibia/SVL 45.6-53.4 (49.5 ± 0.05)%; HW/SVL 50.8-57.4 (53.4 ± 0.04)%; eyelid/IOD 65.5-98.6 (82.6 ± 2.3)%; tympanum/eye 50.0-84.0 (61.7 ± 2.1)%; E-N/eye 77.6-118.6 (95.7 ± 2.6)%.

Cranial morphology. The mandibular ramus of the trigeminal nerve passes lateral to the *m. levator posterior mandibulae subexternus* (*m. adductor mandibulae externus* of some authors) and the *m. depressor mandibulae* consists of a single muscle with about 60% of the fibers originating from the skull and tympanic annulus and 40% origi-

nating from the dorsal fascia (no "flap" is present). The cranium is notably broader than long (Fig. 11). The alary processes of the premaxillae are directed posterodorsally and relatively broad. The septomaxillae are large and lie just posterolateral to the tips of the alary processes. The *pars facialis* of the maxilla is deep and narrowly separated from the nasal bones. In profile, the maxillae are deep, even posterior to the orbit and broadly contact the quadratojugals. The quadratojugals are expanded anteriorly and on the lingual surfaces of the maxillae demonstrate the two heads, one lying along the dorsal border and one along the ventral border of the maxillae.

The nasals are in median contact except near their posterior edges and are roughly triangular in outline. The nasals bear prominent crests with some pitting and ornamentation (these are continuations of the cranial crests) ending just posterior to the anterior tips of the nasals. The frontoparietals contact the nasals and there is a small rhomboidal surface exposed of the sphenethmoid. The crests of the frontoparietals are markedly elevated above the roof of the braincase and slightly flared laterally. The

crests diverge slightly as one moves posteriorly. The frontoparietals are not fused to the prootics. The occipital condyles are ventrolateral and are not stalked. The dorsal border of the foramen magnum is not extended.

The epiotic eminences are prominent posteriorly but not apparent anteriorly. The *cristae paroticae* are short and broad. The otic shelf of the squamosal extends medially about half the distance between the otic plate and the epiotic eminences. The squamosal crest (of the otic ramus) is elevated (Fig. 11-12, contrast with Fig. 5) and ornamented by pitting and extends slightly toward the braincase (in contrast to the condition seen in *E. ruizi*, the sister-species of *E. necopinus*). The otic ramus of the squamosal is deep as is the zygomatic ramus (Fig. 11) which flares laterally over the belly of the *m. levator posterior mandibulae*.

The palatal shelf of the premaxilla is broad but not dissected. The palatal shelf of the maxilla is relatively narrow and no pterygoid process is developed. The prevomers are large, in contact posteriorly, and bear triangular vomerine

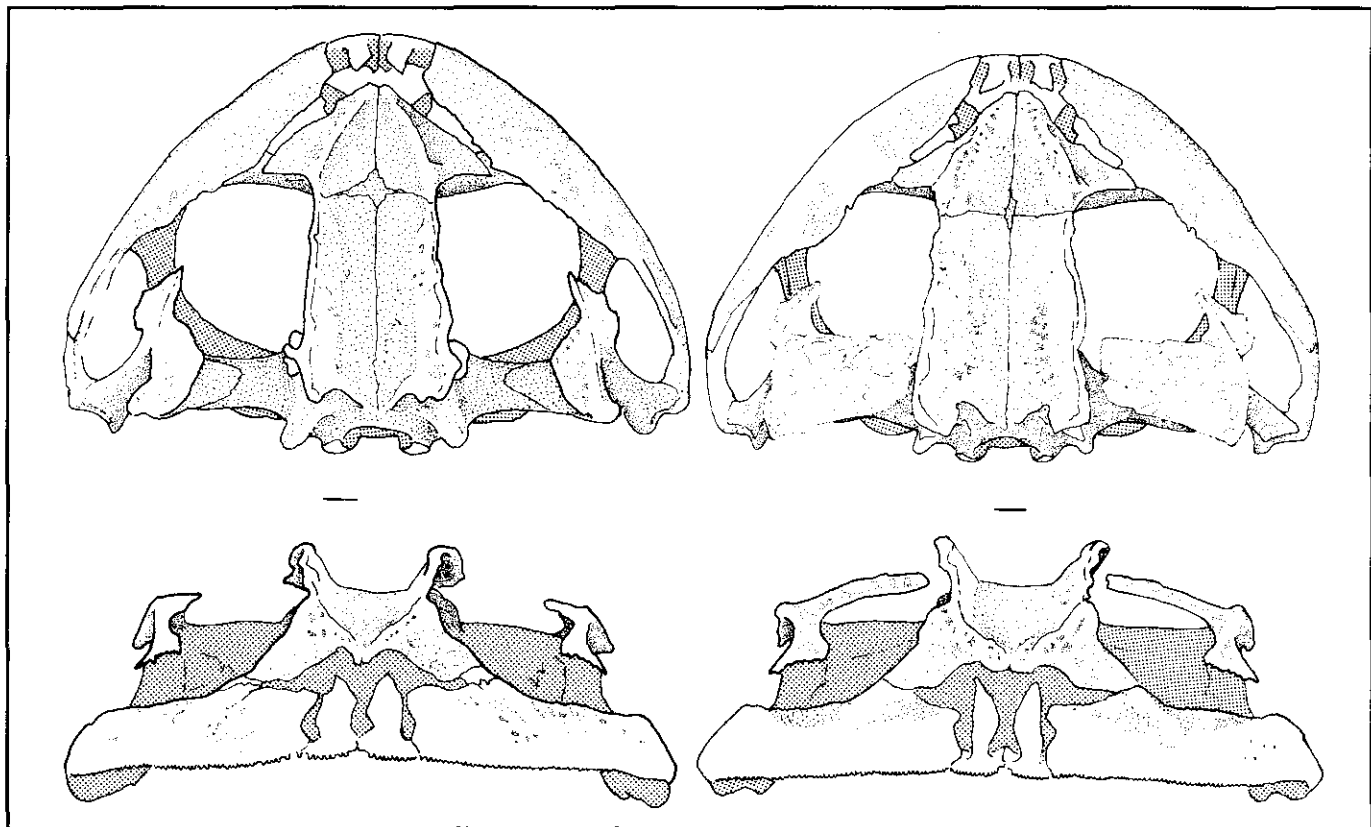


Figure 11. Dorsal and frontal views of skulls of *Eleutherodactylus necopinus* sp. nov. (left, ICNMHN 28614) and *E. ruizi*. (right, UVC 10008). Scales equal 2 mm.

odontophores which touch the neopalatines. The neopalatines are very broad (nearly touching medially) and bear slight ridges along their posteroventral edges. The cultriform process of the parasphenoid extends between the median tips of the neopalatines. The alary processes of the parasphenoid are perpendicular to the axis of the cultriform process and are broadly overlapped by the median rami of the pterygoids (Fig. 12).

The similarities between the crania of *E. necopinus* and *E. ruizi* are obvious (Fig. 11-12) in most details of the skulls. However, the most obvious difference is in the median extent of the squamosal crest which nearly reaches the frontoparietals in *E. ruizi* (Fig. 11). Each species is peculiar in having a posterolateral extension of the otic shelf (Fig. 11), prominent crests on the nasal bones, and frontoparietal crests that diverge slightly posteriorly (the latter characteristic shared as well with *E. cornutus*). The prevomers of *E. ruizi* are in median contact for the full extent of the prevomers whereas in *E. necopinus*, the anterior 3/4 of the bones are separated medially.

Distribution. Because the species is diagnosed on the basis of an osteological feature, identification of juveniles (less than 25 mm SVL) is problematic. However, the distribution appears to be the northern half of the Cordillera Central of Colombia at elevations of nearly 2000 m (Fig. 13).

Eleutherodactylus ruizi Lynch

Eleutherodactylus ruizi Lynch, 1981: 319 (Holotype. ICNMHN 5211, juvenile female from Reserva Forestal de Yotoco, Km. 18 carretera Buga a Loboguerrero, Departamento de Valle del Cauca, Colombia, 1590 m).

This species is nearly indistinguishable externally from *E. necopinus* but is readily distinguishable when crania are available (at SVL of 25 mm or greater). Six male *E. ruizi* are 29.8-45.1 ($\bar{x} = 37.8 \pm 2.2$) mm SVL and two gravid females are 59.7-70.0 mm SVL. The salient features of *E. ruizi* are identical to those of *E. necopinus*: (1) no discs on fingers, small discs on toes, (2) skin of venter areolate, (3) tarsal fold present, (4) conical tubercles on upper eyelid, (5) toes bearing lateral fringes,

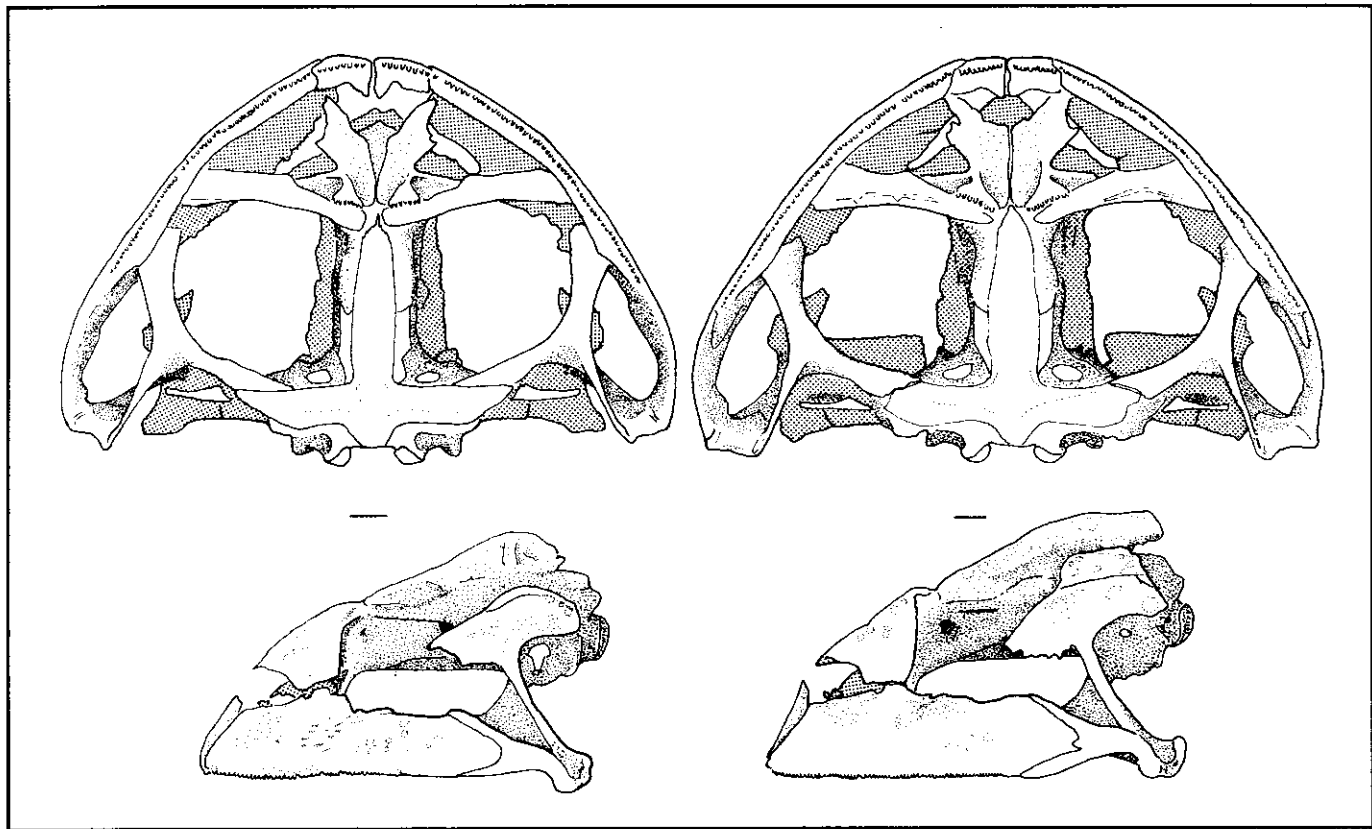


Figure 12. Ventral and lateral views of skulls of *Eleutherodactylus necopinus* sp. nov. (left, ICNMHN 28614) and *E. ruizi*. (right, UVC 10008). Scales equal 2 mm.

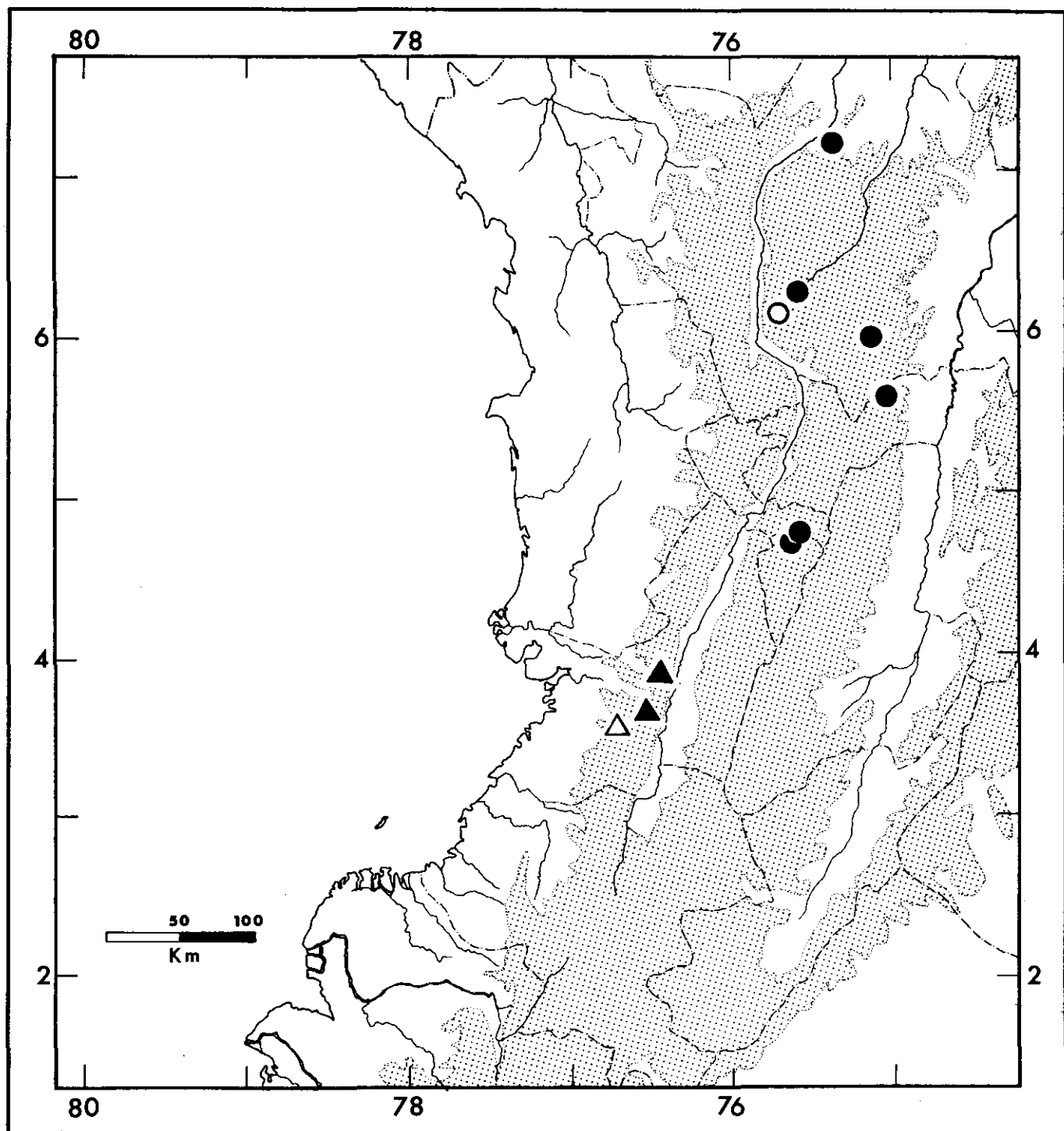


Figure 13. Map of western Colombia, showing locality records for *Eleutherodactylus necopinus* (circles) and *E. ruizi* (triangles). Areas above 1000 meters is stippled. Open symbols are for localities based on literature or photographs (no specimen vouchers).

and (6) vomerine odontophores triangular (not broad). Males have vocal slits but lack nuptial pads.

Distribution. Known only from four localities on the Cordillera Occidental in Depto. Valle del Cauca, Colombia, at elevations between 1500 and 2000 m (Fig. 11).

Eleutherodactylus sulcatus (Cope)

Hylodes sulcatus Cope, 1874:126 (Holotype. ANSP 11385, an adult female from Nauta, Depto. Loreto, Peru)

Hylodes macrocephalus Peracca, 1904:29 (Lectotype. larger of two specimens catalogued as MZS 2930, from Valle Santiago, Morono-Santiago Prov., Ecuador). Synonymy by Lynch, 1975:33.

Ctenocranius koki Melin, 1941:45. (Holotype. GNM 494, from Taracuá, Río Uaupés, Estado Amazonas, Brasil). Synonymy by Lynch, 1975:33.

Lithodytes cornutus (part): Andersson, 1945:45.

Eleutherodactylus macrocephalus: Peters, 1955:348.

Eleutherodactylus cornutus cornutus (part): Rivero, 1961:55.

[*Eleutherodactylus*] *koki*: Myers, 1962:198.

Eleutherodactylus sulcatus: Gorham, 1966:103; Lynch, 1975:33-35.

Lynch's (1975) account of this species remains current except as concerns distribution. Ontogenetic information confirms the expectations that cranial crests are derived and that narrow odontophores are primitive (Figs. 14-15). The salient features of this toad are: (1) fingers lacking discs, small discs on toes, (2) skin of venter areolate, (3) tarsal fold present, (4) small tubercles on upper eyelid, (5) toe fringes present, and (6) vomerine odontophores broad. Males lack vocal slits and lack nuptial pads. Lynch's (1981) assertion that *E. sulcatus* is the sister species of two Andean taxa (*E. ingeri* and *E. ruizi*) is rejected here (see below).

Distribution. *Eleutherodactylus sulcatus* is found in southern Colombia, western Brasil, and eastern Ecuador and Peru at elevations below 1100 m (Fig. 16).

Discussion

Relationships within the *sulcatus* group. Lynch (1975) attempted a cladogram of the species of the *sulcatus* group using externally visible characters but his efforts were flawed in part by viewing two species of *Amblyphrynus* as "more advanced" than the other species of the *sulcatus* group. With the discovery that he had confused two species under the name *Amblyphrynus ingeri*, Lynch (1981) began to employ osteological features to generate a cladogram. However, he persisted in thinking that areolate skin on the venter was a derived (and informative) feature. With the discovery of *E. cadenai*, Lynch (1986b) proposed that *E. cadenai*, *E. ingeri*, and *E. ruizi*

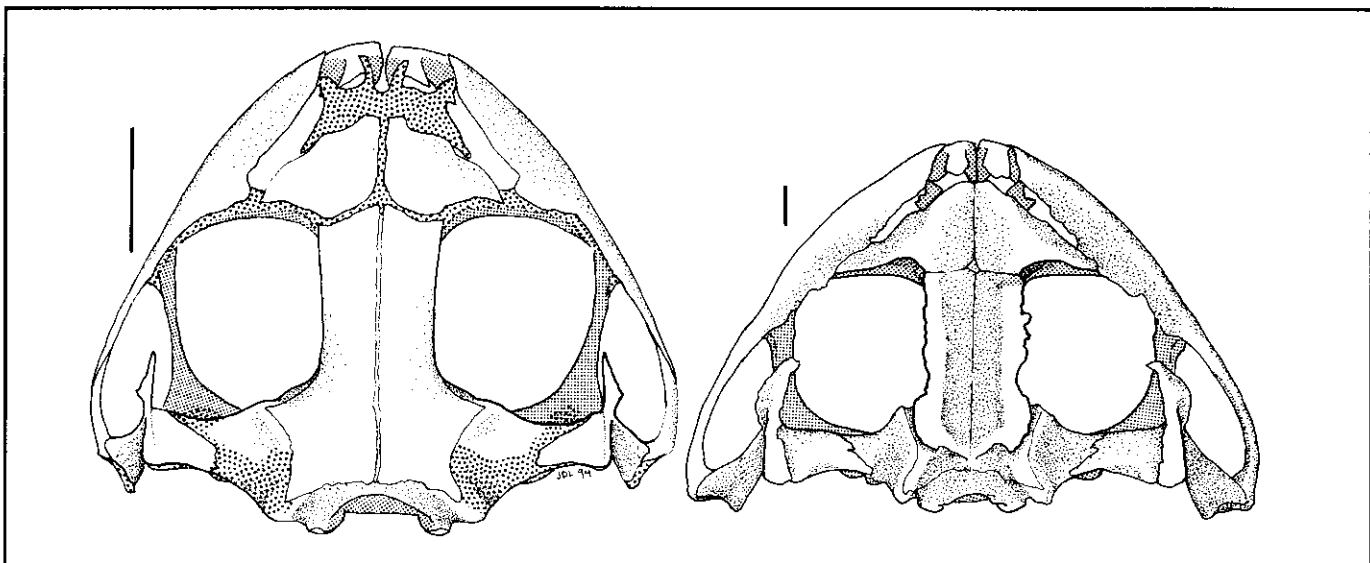


Figure 14. Dorsal views of crania of juvenile (KU 123584, 18.1 mm SVL) and adult (KU 100355) *Eleutherodactylus sulcatus*. Coarse stippling indicates cartilage. Scales equal 2 mm.

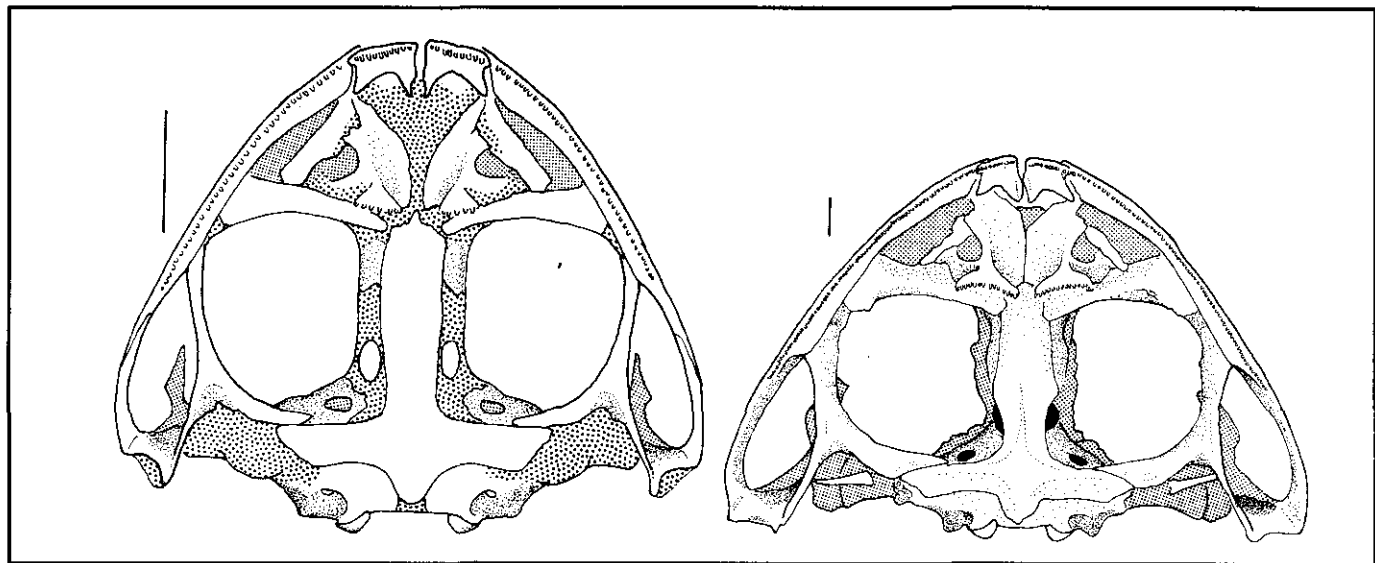


Figure 15. Ventral views of crania of juvenile (KU 123584, 18.1 mm SVL) and adult (KU 100355) *Eleutherodactylus sulcatus*. Coarse stippling indicates cartilage. Scales equal 2 mm.

formed a clade within the *sulcatus* group. This clade was defined on osteological characters. Even then, I wanted to obtain data on the crania of all the species of the group because I had become less enchanted by the match of external characters and character polarization schemes. The discovery that the broad-headed taxa were cleaved by a jaw muscle character (Lynch, 1986a) convinced me that a more careful approach would be necessary to obtain a cladogram of these taxa. One of the most surprising results of my study of the Colombian taxa (Lynch, 1986b) was the seemingly discordant biogeography and relationships of the species of the three Andean cordilleras — sister species (*E. cadenai* and *E. ingeri*) occurred on non-adjacent cordilleras with a less closely-related species (*E. ruizi*) separating them.

Part of my earlier discordant finding (Lynch, 1986b) was resolved with the discovery that the Cordillera Central populations referred previously to *E. ruizi* were a distinct species (*E. necopinus*). When *E. laticarpus* was described (Myers & Lynch, 1997), my survey of skeletons of this group was advanced sufficiently to identify a synapomorphy linking the Andean members of the *sulcatus* group. The osteological characters employed here (and in my previous papers) are summarized below:

(1) deepened posterior *pars facialis* of maxilla: This feature was indicated at the outset of this paper as a synapomorphy shared by all species of the *sulcatus* group and not evidenced elsewhere within the genus.

(2) bifurcate head of quadratojugal: Myers & Lynch (1997) introduced this feature and illustrated it. The plesiomorphic condition has only a dorsal extension of the quadratojugal along the lingual surface of the maxilla. This feature is evident in all species of the *sulcatus* group except *E. laticarpus* and *E. sulcatus*, the two species not distributed in cloud forests of the northern Andes.

(3) elevated squamosal crest: In those *Eleutherodactylus* having a squamosal crest, the crest is low and barely higher than the adjacent *cristae paroticae* (e.g., *E. cerastes*, Fig. 5). However, in *E. cadenai*, *E. cornutus*, *E. ingeri*, *E. necopinus* (Fig. 11), and *E. ruizi* (Fig. 11), the crest is elevated well above the level of the *cristae paroticae*.

(4) bony cheek: In *E. cadenai* (Fig. 2) and *E. ingeri* (Fig. 10), the zygomatic ramus of the squamosal makes articular contact with the posterodorsal portions of the *pars facialis* of the maxilla to enclose the adductors of the mandible behind a bony cheek. The ontogeny of this character is evident in *E. ingeri* (Fig. 10). This character was identified as an autapomorphy by Lynch (1981) and as a synapomorphy by Lynch (1986b).

(5) diverging crests of frontoparietals: most *Eleutherodactylus* having cranial crests have crests which are narrower posteriorly than anteriorly. These crests sometimes widen again posteriorly. *Eleutherodactylus cornutus*, *E. necopinus*, and *E. ruizi* are peculiar in that their crests diverge posteriorly and are narrowest near the anterior ends of the frontoparietals.

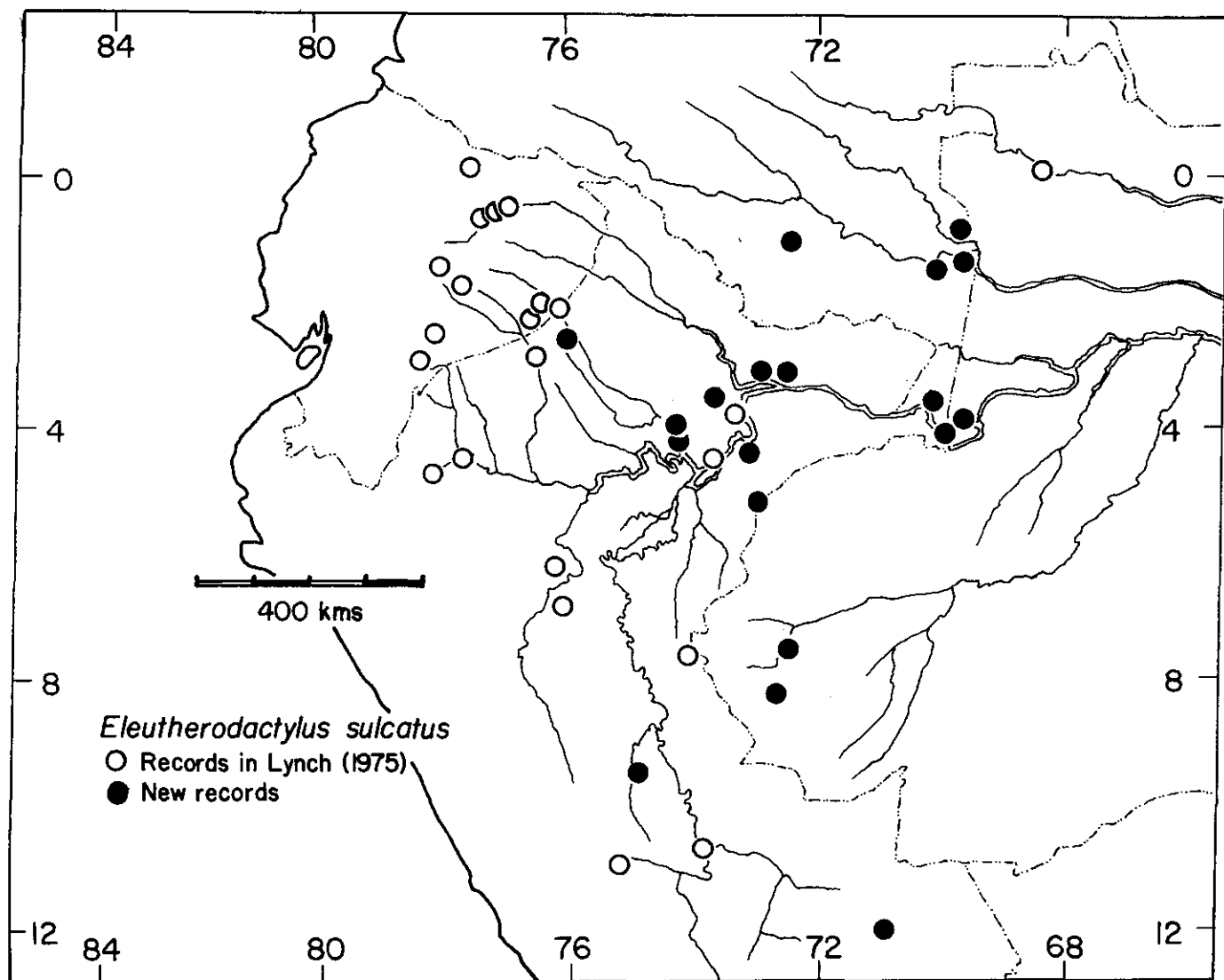


Figure 16. Map of western Amazonia, showing locality records for *Eleutherodactylus sulcatus*.

(6) posterolateral process of otic ramus: In most *Eleutherodactylus*, the otic ramus of the squamosal is parallel to the sagittal plane or it angles toward the sagittal plane posteriorly. However, in *E. necopinus* and *E. ruizi*, the otic ramus flares laterally posteriorly.

(7) median border of choanae angular: In *E. necopinus* and *E. ruizi*, the postchoanal portion of the vomer is straight (not curved) and approximately perpendicular to lateral border of the prechoanal portion of the vomer. The plesiomorphic condition, seen in all other *Eleutherodactylus*, demonstrates a curved lateral border to the choana.

(8) elongate otic shelf: Lynch (1981) noted that *E. ingeri*, *E. ruizi* (then including *E. necopinus*), and *E.*

sulcatus share an elongated otic shelf covering much of the *cristae paroticae* dorsally and argued that the feature was a synapomorphy. Ontogenetic data confirm the polarity (see Fig. 14). This feature is seen as well in *E. necopinus* (here separated from *E. ruizi*) but not in the remaining species of the *sulcatus* group (nor elsewhere among the other 293 species of *Eleutherodactylus* examined by me).

(9) narrow (triangular) vomerine odontophores: Although Lynch (1975) argued that triangular odontophores are plesiomorphic within *Eleutherodactylus*, Lynch (1981) suggested that such processes represented a reversal for *E. ruizi*. The narrow odontophores seen in *E. necopinus* and *E. ruizi* are here treated as a derived condition within the *sulcatus* group. Inspecting juveniles of *E. cerates*, *E.*

Of the eight characters identified above, two (6 and 7) contain exactly the same phylogenetic information content (that *E. necopinus* and *E. ruizi* are sister species). Because those two characters have the same information

content, I am not able to argue that they represent independent estimates of relationships; accordingly, only character 6 is used here. Character 8 is incompatible with characters 2, 3, 4, and 5. It may be that character 8 provides us with useful information but the choice is between viewing character 8 as misinformative or viewing characters 2-5 as misinformative, when each of the five characters provides an independent estimate of relationships. Character 6 (and/or 7) is compatible with each set. Characters 1-6 are combinable to produce a partially resolved hypothesis (Fig. 17). The incompleteness of this diagram is

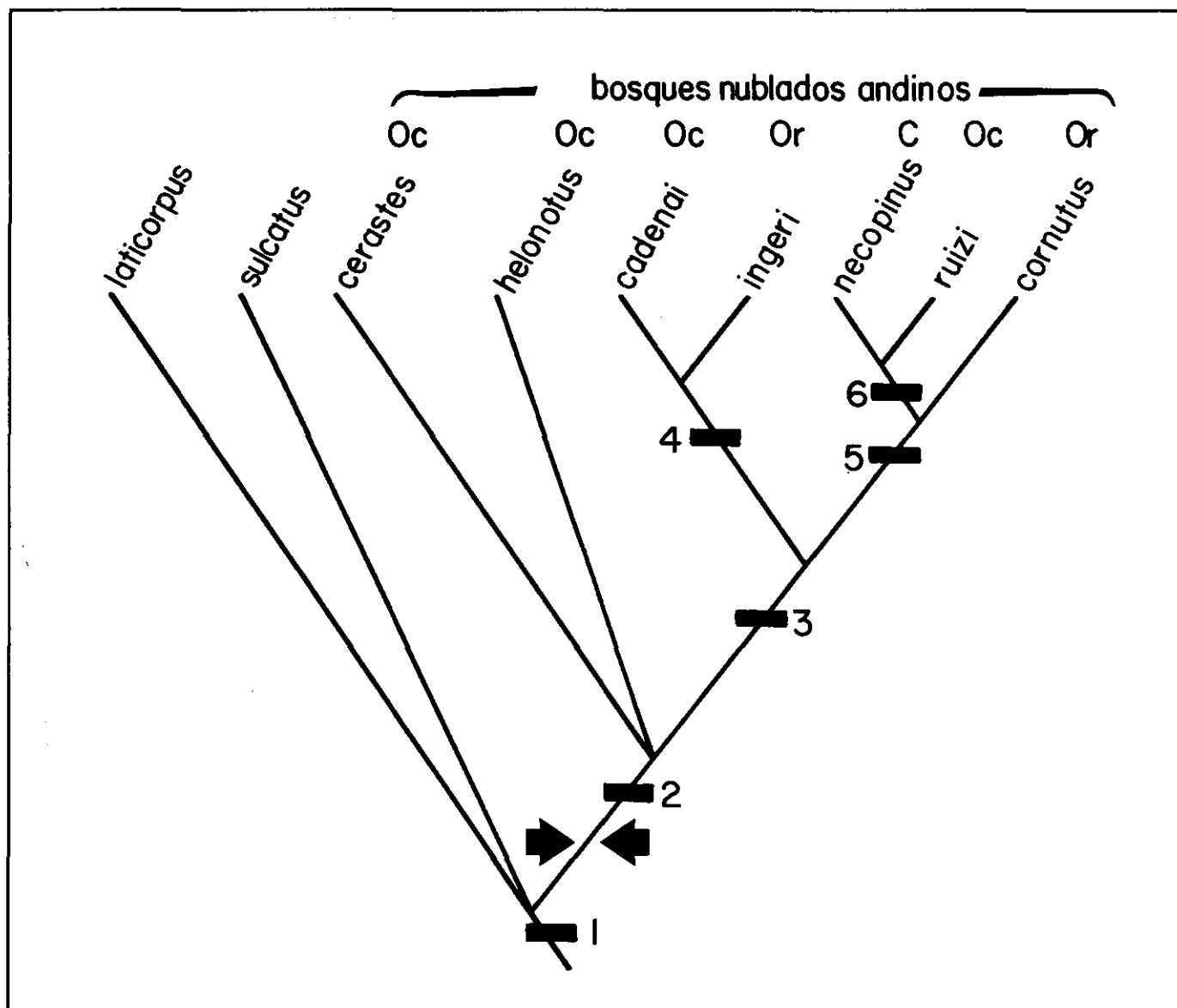


Figure 17. Cladogram of species of the *sulcatus* group. Numbers refer to characters identified in the text. Arrows indicate the optimized entry of this clade onto the Andes. For the andean clade, localities for species are indicated by Oc (Cordillera Occidental), Or (Cordillera Oriental), and C (Cordillera Central).

caused not by too much (conflicting) data, but rather by too little data. No data are available to resolve the trichotomy between *E. laticarpus*, *E. sulcatus*, and the Andean clade or to resolve the trichotomy between *E. cerastes*, *E. helonotus*, and the remaining Andean taxa. I suspect that these shortcomings derive from the dearth of knowledge concerning *E. helonotus* (skeleton known only from radiographs and limited dissection) and *E. laticarpus* (skeleton known only from a single immature female).

Although a fully resolved cladogram would be preferable to that presented in Figure 17, the data are not available and will not be available until those two rare frogs (*E. helonotus* and *E. laticarpus*) are better represented in collections. I have optimized (i.e., mapped) geography upon the cladogram and cloud forest habitats appear to be derived. Nonetheless, the most significant components of the cladogram are (1) that the Andean, or cloud forest, species form a clade within the *sulcatus* group and (2) that the general area cladogram for the Andes is [C. Oriental (C. Central + C. Occidental)], following the method of Nelson & Platnick (1981). If one views the *cadenai-ingeri* clade as a manifestation of the general component (represented by the *ruizi-necopinus-cornutus* clade), a paralogous³ biogeographic relationship is identified. The absence of the first clade in the Cordillera Central can be explained by a postulated extinction (scarcely rejectable) or by inadequate collecting (the *ad hoc* hypothesis I prefer because it is possibly rejectable, i.e., a species not the nearest relative of *E. cadenai* might be found there).

With my prediction (here) of an undiscovered sister-species of *E. cadenai* in the Cordillera Central, we have a repeated set of components (paralogous) – C. Occidental + C. Central and C. Occidental + C. Central + C. Oriental as well as other elements in the cladogram representing the C. Occidental. This paralogy merely indicates that the diversification of the Andean clade of the *E. sulcatus* group antedates those Andean orogenies that produced the present geography.

Relationships of the *sulcatus* group to other *Eleutherodactylus*. Lynch & Duellman (1997) identified the *sulcatus* group as a Series within the subgenus *Eleutherodactylus*, in part anticipating this study. They provided a re-assessment of the general architecture of subgeneric classification of the genus and the convention of "Sections" was employed in anticipation that some additional subgenera would be recognized. The *sulcatus* group is one of several mainland groups exhibiting the plesiomorphic condition of toe lengths within the genus. Plesiomorphic features cannot be viewed as providing evidence of relationships but it was among other groups exhibiting the plesiomorphic condition of toe length that I was inclined to search for the sister group to the *sulcatus* group. The *nigrovittatus* group (Lynch, 1989) is here identified as the possible sister-group to the *sulcatus* group. Initially, such an identification appears remote but I would point out that each has arched vomerine odontophores (uncommon features among *Eleutherodactylus* in general) and that the maxilla of species of the *nigrovittatus* group appears deepened relative to most *Eleutherodactylus* (see illustrations in Lynch, 1989). At present, I suspect that most of the other similarities (at least to me) between frogs of the *nigrovittatus* and *sulcatus* groups represent plesiomorphies. However, such a relationship (sister groups) seems plausible to me at this juncture and deters me from proposing that the frogs of the *sulcatus* group should be recognized as a distinct subgenus of *Eleutherodactylus*. At present, no other species group (phenetic or cladistic) of *Eleutherodactylus* having the fifth toe shorter than the third appears to have any special similarity with frogs of the *sulcatus* group.

Acknowledgments. This study could not have been completed without the consent to prepare skulls and skeletons of a number of rare frogs. For those courtesies, I am grateful to Fernando Castro and, especially, William E. Duellman and Pedro M. Ruiz-C. Barry Clarke and W. Ronald Heyer graciously permitted extended loans of the type specimens of *Amblyphrynus helonotus* until I was able to obtain satisfactory radiographs. Joseph Mendelson III ("Sapo") prepared radiographs for me. Access to specimens and research space was provided by F. Castro, W. E. Duellman, J. V. Rueda, P. M. Ruiz, and the late Marco Antonio Serna. William W. Lamar graciously provided photographs and locality records for *E. sulcatus*, obtained during his explorations of Amazonian Peru. Janalee Caldwell and Claude Gascon loaned me material collected recently in western Brasil. César Román-V., and especially, J. Vicente Rueda-A., made efforts to increase the number of specimens available. Lastly, I am grateful for the companionship and help in fieldwork of María Cristina Ardila, Fernando Castro,

³ In recent years, authors have begun to apply phylogenetic terminology to biogeographic constructs. One such application uses the notion of paralogy (a form of serial homology identified to relate gene duplications) as an analogy in biogeography. Such paralogies have recently been considered a problem (Nelson & Ladiges, 1996) for authors using computer methods to generate area cladograms, on the grounds that paralogies do not represent independent estimates. The quest for "paralogy-free" trees seems to me an unnecessary precaution (as more inclusive groups are analyzed, the extent of paralogy increases to 100%, there being a single planet upon which life is known to occur).

Taran Grant, Jorge Restrepo, and Pedro Ruiz, on various occasions, during the past twenty years when I have searched for frogs of this species group.

Literature cited

- Andersson, L. G.** 1945. Batrachians from east Ecuador collected 1937, 1938 by Wm. Clarke-Macintyre and Rolf Blomberg. *Arkiv för Zoologi*, 37A(2):1-88.
- Boulenger, G.A.** 1882. Catalogue of the Batrachia Salientia s. Ecaudata in the collections of the British Museum. 2nd Edition. 503 pp.
- Cochran, D. M. and C. J. Goin.** 1961. A new genus and species of frog (Leptodactylidae) from Colombia. *Fieldiana, Zool.* 39:543-546.
- _____ and _____. 1970. Frogs of Colombia. *Bull. U. S. Natl. Mus.* (288):1-655.
- Cope, E. D.** 1874. On some Batrachia and Nematognathi brought from the Upper Amazon by Professor Orton. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia*, 26:120-132.
- Dingerkus, G. and L. D. Uhler.** 1978. Enzyme clearing of Alcian Blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Technology* 52:229-232.
- Dunn, E. R.** 1944. Herpetology of the Bogotá area. *Rev. Acad. Colombiana Cienc. Ex. Fís. Nat.* 6:68-81.
- Gorham, S. W.** 1966. Liste der rezenten Amphibien und Reptilien. Ascaphidae, Leiopelmatidea (sic), Pipidae, Discoglossidae, Pelobatidae, Leptodactylidae, Rhinophrynidae. *Das Tierreich*, 85:222 pp.
- Jiménez de la Espada, D. M. X.** 1870. *Faunae neotropicalis species quaedam nondum cognitae*. *Amphibia*. J. Sci. Math., Lisbon, 3:58-65.
- _____. 1872. Nuevos batrachios americanos. *Anales Soc. Español. Hist. Nat.*, 1:85-88.
- Leviton, A. E., R. H. Gibbs Jr., E. Heal, & C. E. Dawson.** 1985. Standards in herpetology and ichthyology: Part I. Standard symbolic codes for institutional resource collections in herpetology and ichthyology. *Copeia* 1985:802-832.
- Lynch, J. D.** 1975. A review of the broad-headed eleutherodactyline frogs of South America (Leptodactylidae). *Occas. Pap. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas* (38):1-46.
- _____. 1981. The systematic status of *Amblyphrynus ingeri* (Amphibia: Leptodactylidae) with the description of an allied species in western Colombia. *Caldasia* 13(62):313-332.
- _____. 1986a. The definition of the Middle American clade of *Eleutherodactylus* based on jaw musculature (Amphibia: Leptodactylidae). *Herpetologica* 42:248-258.
- _____. 1986b. A new species of broad-headed *Eleutherodactylus* from the Cordillera Occidental of Colombia (Amphibia, Leptodactylidae). *Caldasia* 15:503-509.
- _____. 1989. Intrageneric relationships of mainland *Eleutherodactylus*. I. A review of the frogs assigned to the *Eleutherodactylus discoidalis* species group. *Milwaukee Pub. Mus., Contrib. Biol. Geol.* (79):1-25.
- _____. 1996. The relationships of the Hispaniolan frogs of the subgenus *Pelorius* (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae), pp. 141-155, In R. Powell and R. Henderson (eds.), *West Indian Herpetology: A tribute to Albert Schwartz*. *Contrib. Herpetol.* (12), Soc. Study Amph. Rept., Ithaca, N.Y.
- _____ and **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.
- Melin, G.** 1941. Contributions to the knowledge of the Amphibia of South America. *Medd. Götesborgs Mus. Zool., Avdel.*, 88:1-71.
- Myers, C. W. and J. D. Lynch.** 1997. *Eleutherodactylus laticarpus*, a peculiar new frog from the Cerro Tacarcuna area, Panamanian-Colombian frontier. *Amer. Mus. Novitates*, (3196): 1-12.
- Myers, G. S.** 1962. The American leptodactylid frog genera *Eleutherodactylus*, *Hylodes* (= *Elosia*), and *Caudiverbera* (= *Calyptocephalus*). *Copeia* 1962:195-202.
- Nelson, G. and P. Y. Ladiges.** 1996. Paralogy in cladistic biogeography and analysis of paralogy-free trees. *Amer. Mus. Novitates* (3167):1-58.
- Nelson, G. and N. Platnick.** 1981. *Systematics and Biogeography/Cladistics and Vicariance*. Columbia Univ. Press, New York. xi + 567 p.
- Peracca, M. G. Conte de.** 1914. Reptiles et Batrachians de Colombie. *Mem. Soc. Neuchatel Nat. Hist.* 5:96-111.
- Peters, J. A.** 1955. Herpetological type localities in Ecuador. *Rev. Ecuatoriana Ent.-Parsit.* 2(3-4):335-352.
- Rivero, J. A.** 1961. Salientia of Venezuela. *Bull. Mus. Comp. Zool.* 126:1-207.
- _____. 1984. Una nueva especie de *Eleutherodactylus* (Amphibia: Leptodactylidae) cabecón de Antioquia, Colombia. *Caribbean J. Science* 20:101-103.

Appendix 1 (Specimens Examined)

Material reported previously with correct identifications (Lynch, 1975, 1986b; Myers and Lynch, 1997) is not listed here. For *E. sulcatus*, I also include records generously provided by Bill Lamar (those are documented by photographs and specimens deposited in Latin American collections). Institutional identifications follow Leviton et al. (1985). Cleared and stained skeletons for Alizarin only are identified as (A) whereas those stained for cartilage as well are identified as (AA).

Eleutherodactylus cadenai. (1). See Lynch (1986b).

Eleutherodactylus cerastes. (67). See Lynch (1975). COLOMBIA, Depto. Antioquia: Municipio Frontino, corregimiento de Murri, carr. Nutibara a La Blanquita, Alto Cuevas, 1900 m (ICNMHN 14303 AA, 14304), km 16.5-17, carretera Nutibara a La Blanquita, 1900 m (ICNMHN 16601), 1700 m (ICNMHN, VR 3342-45, 3445-46), Municipio Urrao, "Pampas", Parque Nac. Natural Las Orquídeas (CSJ 301, holotype of *Eleutherodactylus sernai*, 328), Río Calles (CSJ 1033, 1049, 1060, 1099-1100, ICNMHN 14096, UVC 8274), vereda Calles, Quebrada de las Canoas, 1770-1870 m (ICNMHN 19205-07), Quebrada El Silencio, 1480-1540 m (ICNMHN 19208). Depto. Cauca: Municipio El Tambo, corregimiento 20 de julio, Fundación Proselva, Hda. El Tambito, 1470-1580 m (ICNMHN 33016, UVC, 1 not catalogued). Dept. Chocó: límite con Valle del Cauca, Municipio San José del Palmer, 26 km del cementerio El Cairo, 5.7 km por camino W Boquerón, 1900 m (ICNMHN 29065). Depto. Risaralda: Municipio Mistrató, vereda Mampay, quebrada Sutu, 1700-1940 m (ICNMHN 30513-14). Depto. Valle del Cauca: Municipio Dagua, corregimiento Queremal, finca San Pedro, 1750 m (UVC 11696-97, 11705-06, 118847-49), Municipio El Cairo, vereda Las Amarillas, Boquerón, 2200-2250 m (ICNMHN 29064), Paso Galápagos, 2000 m (UVC 8029), Municipio La Cumbre, Bosque de San Antonio, ca 2000 m (UVC 5839, 8429), Municipio Yotoco, Bosque Reserva de Yotoco, ca 1600 m (UVC 5837).

Eleutherodactylus cornutus. (46). See Lynch (1975). COLOMBIA, Depto. Caquetá: Municipio Florencia, vereda La Portada, km 37.4 de Florencia hacia Garzón, 1350 m (ICNMHN 24240-41). Depto. Putumayo: 10.3 km W El Pepino, 1440 m (KU 168009). ECUADOR, Prov. Napo: 2 km SSW Río Reventador, 1490 m (KU 165222).

Eleutherodactylus helonotus. (2). See Lynch (1975), as *Amblyphrynus helonotus*.

Eleutherodactylus ingeri. (19). COLOMBIA, Depto. Cundinamarca: "Bogotá", (BMNH 69.7.25.11), Municipio Albán, Granja Padre Luna, ca 2000 m (ICNMHN 2507); Municipio Cabrera, vereda Nuñez, 16 km S Cabrera, 2400-2800 m (ICNMHN 13753); Municipio Gachalí, San Isidro, 8 km S Gachalí, 2350 m (FMNH 81915, holotype); Municipio Tena, [laguna] Pedro Palo, 2000 m (ICNMHN 10507, 10509-10, 13570). Depto. Santander, Municipio Charalá, corregimiento Virolín, vereda Cañaverales, carretera El Olival a El Reloj, ca 1700 m (ICNMHN 4662, 6167-72, 6173 AA, 7380), Cuchilla de Fara, 3.5 km W Cañaverales, 1750 m (ICNMHN 32399, 33168).

Eleutherodactylus laticarpus. (5). See Myers & Lynch (1997).

Eleutherodactylus necopinus. (62). COLOMBIA, Depto. Antioquia: El Clara Creek (AMNH 39978-80), Medellín (AMNH 38639, 38649), Valdivia (FMNH 69742); Municipio Cocorná, autopista Medellín-Bogotá, Km. 65, Quebrada El Bihao, 1900-2000 m (ICNMHN 13967), vereda La Roca, Km. 62, 2000 m (ICNMHN 13968 AA, 13969). Depto. Caldas: Municipio Pensilvania, Km 24 vía Pensilvania a Arboleda, 2000-2150 m (ICNMHN 37573), Municipio Samaná, corregimiento Florencia, Rancho Quemado, 1950 m (ICNMHN 32280, 32284), El Estadero, 1800-2000 m (ICNMHN 37574-96, 37610-11 AA), 1850 m (ICNMHN 37597-608, 37609 AA). Depto. Quindío: Municipio Filandia, vereda El Roble, Reserva Forestal Buena Quebrada, 2050 m, (ICNMHN 24604). Depto. Risaralda: Municipio Pereira, vereda La Suiza, Hda. Suiza, 1950 m (ICNMHN 13724, 28614, 37612, 37613-14 AA, MOM 140-41, 186, IND-AN 5397). Depto. Tolima: Quindío mountains (MCZ 8237-38).

Eleutherodactylus ruizi. (19). COLOMBIA, Depto. Valle del Cauca: Municipio Dagua, Atuncelas, 1000-1400 m (UVC 6896, 10449), Municipio La Cumbre, vereda Chicoral, corregimiento Bitaco, 1800 m (UVC 10008, 21566), Hda. Himalaya, El Silencio, 1900 m (UVC 10906); Municipio Restrepo, Río Calima, Quebrada Las Ollas, 1180 m (ICNMHN, not catalogued, jhr 2573), Municipio Yotoco, Reserva Forestal Yotoco, 1590 m (KU 181992-93, ICNMHN 4933, 4961-62, 5211, 35086-87, UVC 5834-36, 5838, 5902).

Eleutherodactylus sulcatus (168) (See Lynch, 1975). No data (KU 100355, 124227 A). BRASIL, Edo. Acre: 5 uncatalogued specimens, Univ. Oklahoma Mus. Nat. Hist. Edo. Amazonas: Igarapé Belém, near Río Solimões (AMNH 97043-48), headwaters of Río Juruá (3 uncatalogued specimens, INPA, records courtesy of Claude Gascon). COLOMBIA, Depto. Amazonas: 50 km N La Chorrera (ICNMHN 3462), La Pedrera, 240 m (ICNMHN 36461-62), Puerto Nariño (MCZ 93642, 96856). Depto. Vaupés: Pamopetá, caño T' (W. Lamar, pers. comm.), Serranía Taraica, 240 m (ICNMHN 33662), Timbó (IND-AN 637). ECUADOR, Prov. Morona-Santiago: Cusuime, Río Cusuime, 320 m (AMNH 93657-67), Macuma (UIMNH 63075-76), Río Pastaza watershed (FMNH 36700), between Río Santiago and Río Pastaza, south of Macas, and the mouth of the Río Marañón (FMNH 42527). Prov. Napo: Avila, Río Napo (CAS-SU 5042), 30 km downriver (Río Napo) from Coca, 250 m (MCZ 95439), Lago Agrio, 330 m (KU 125937, 126172-76), Limón Cocha (UIMNH 90804), Puerto Libre, Río Aguarico, 570 m (KU 124128 AA), Santa Cecilia, 340 m (KU 123584AA, 126169-71AA, 146120, 148982, MCZ 58014). PERU, Depto. Huánuco: Río Lullapichis, 4-5 km upstream from Río Pachitea, finca Panguana (KU 171849-51), S slope Serranía Sira, "Pata Rojo", 1100 m (KU 154800). Depto. Loreto: Colonia (MNH 1979.38-44), Caño Cocha, Río Momón (W. Lamar, pers. comm.), Explorama, vicinity of Yanamono (W. Lamar, pers. comm.), ExplorNapó, Río Sucusari (W. Lamar, pers. comm.), Monteverde, Río Tigre (W. Lamar, pers. comm.), Nuevo Horizonte, Río Tahuayo (W. Lamar, pers. comm.), Paujil, Río Gálvez (W. Lamar, pers. comm.), 1.5 km N Teniente Lopez, 310-340 m (KU 222032), veintiocho, Río Nahaupa (W. Lamar, pers. comm.), Yagua village, headwaters of Río Loretoyacu (AMNH 96331-38), junction Río Yanamono and Río Amazonas (KU 220358, 220450). Depto. San Martín: 28 km NE Tarapato (KU 209478).

UNA NUEVA ESPECIE DE *GASTROTHECA* (AMPHIBIA: ANURA: HYLIDAE) DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL DE COLOMBIA

por

Pedro M. Ruiz-Carranza, María Cristina Ardila-R.*,
John D. Lynch** & Jorge Humberto Restrepo***

Resumen

Ruiz-Carranza, P.M., M.C.Ardila-R., J.D.Lynch & J.H.Restrepo: Una nueva especie de *Gastrotheca* (Amphibia:Anura:Hylidae) de la Cordillera Occidental de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **21** (80): 373-378, 1997. ISSN 0370-3908.

Se nomina y describe una nueva especie de *Gastrotheca* roja de los bosques nublados de la parte norte de la Cordillera Occidental de Colombia. La especie nueva parece ser muy afín con *G. bufona* y *G. guentheri* pero se distingue fácilmente por su coloración roja *in vivo*, un parche blanco-azuloso sobre el párpado inferior, y su concavidad frontoparietal profunda. La especie nueva presenta desarrollo directo y es simpátrica con la especie más grande, *G. guentheri*, en algunas localidades al noroccidente de Colombia.

Palabras claves: Amphibia, Anura, Hylidae, *Gastrotheca*, nueva especie, taxonomía, Cordillera Occidental, Colombia.

Abstract

A new species of red *Gastrotheca* is named from the cloud forests of the northern part of the Cordillera Occidental of Colombia. The new species appears to be very closely related to *G. bufona* and *G. guentheri* but is readily distinguished by the red coloration in life, the red throats of males, a blue-white patch on the lower eyelid, and its deep frontoparietal furrow. The new species exhibits direct development and is sympatric with the larger *G. guentheri* at some localities in northwestern Colombia.

Keys words: Amphibia, Anura, Hylidae, *Gastrotheca* new species, taxonomy, Cordillera Occidental, Colombia.

* Profesores, Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

** Professor School of Biological Science, University of Nebraska-Lincoln, 68588, USA.

*** Biólogo Universidad del Valle, Cali, Colombia.

Introducción

Trabajo de campo de los últimos diez años en las cordilleras de Colombia han dado como resultado el descubrimiento y estudio de numerosas especies de Anura. En la presente contribución presentamos una especie de *Gastrotheca* que habita en los bosques nublados de la mitad norte, flanco occidental, Cordillera Occidental.

Por la presencia de apéndices dérmicos superciliares y en los talones así como el cráneo coosificado, la especie aquí descrita se relaciona con *G. bufona* y *G. guentheri*.

Gastrotheca antomia sp. nov. (Figs. 1-4)

Holotipo. Macho adulto depositado en la colección batracológica del Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, número ICN 18331 (número de campo PR 10942), coleccionada por Pedro M. Ruiz-C. & Vicente Rueda, julio 21 de 1987.

Localidad típica. COLOMBIA, Departamento de Antioquia, Municipio de Frontino, km. 21 carretera entre los corregimientos de Nutibara y Murri (=La Blanquita), flanco occidental de la Cordillera Occidental, 6° 44' latitud N, 76° 23' longitud W de Greenwich; 1140 m.s.n.m.

Paratipos. Departamento de Antioquia, Municipio Urrao, vereda Calles (P.N.N. Las Orquídeas), quebrada Canoas, 1770-1870m., macho adulto: ICN 18330 cols. J.D. Lynch, R. Sánchez, mayo 25 de 1988. Departamento de Chocó, límites con Valle del Cauca, carretera El Cairo-Las Amarillas, sitio «El Boquerón», 1900-2250m., machos adultos: ICN 28019, 28021-22, 28201-28206, 28208-28210, hembras adultas: 28215-28218, 28220-28221, 28223, 28225-28226, 38075 Cols. J.D. Lynch, J.H. Restrepo, P.M. Ruiz-C., R. Sánchez, junio 22-24 de 1991, julio 14 de 1995. Departamento Risaralda, Municipio Pueblo Rico, vereda Tatamá, ca. Río Tatamá, 1820m., hembra adulta ICN 30740, Col. M.C. Ardila-R., septiembre 20 de 1991. Departamento Valle del Cauca, Municipio Dagua, quebrada La Esperanza, 1960-2060m., hembras adultas ICN 38076-38077, Col. J.D. Lynch, julio 14 de 1995.

Etimología. El epíteto específico de la nueva especie alude al espíritu maligno o diablo creado por *Caragabi*, el creador que hizo al hombre entre la tribu indígena de los Emberá, región donde fue descubierta la especie y al aspecto que toman los ejemplares al ser molestados.

Diagnosis. Una especie del género *Gastrotheca* reconocible por la siguiente combinación de caracteres:



Figura 1. *Gastrotheca antomia* sp. nov. Holotipo, macho adulto ICN 18331 (LRC= 53.0mm).



Figura 2. *Gastrotheca antomia* sp. nov. Holotipo, macho adulto ICN 18331 (LRC= 53.0mm).

1) adultos de tamaño moderado (longitud rostro-cloaca hasta 57.2mm en machos adultos y hasta 58.2mm en hembras adultas; 2) piel epicraneal con fuerte coosificación en región medial, *canthi rostralis*, y región loreal; 3) párpados superiores con apéndice cónico, carnoso, grande y 1-2-3-4-5 tubérculos cónicos, subcónicos a redondos pequeños adicionales; 4) talón con un proceso interno dérmico cónico de tamaño mediano y uno menor externo; 5) dedo manual I ligeramente menor que el II cuando están adpresos; 6) piel dorsal lisa, sin pliegues transversos y sin borde occipital transverso, tronco y miembros con gránulos y tubérculos cónicos o subcónicos diseminados, región timpánica y rictal, con abundantes tubérculos cónicos; 7) cabeza más ancha que

larga; 8) tímpano muy reducido, orientado postero-lateralmente al plano mayor del cuerpo, verticalmente subovoide; 9) desarrollo directo, embriones con dos branquias en forma de campana y pedúnculos largos; 10) dientes mandibulares ausentes; 11) palmeaduras vestigiales sólo entre los dedos pediales III y IV; 12) *canthi* rostrales agudos con borde muy prominente y con serraciones óseas cónicas; 13) región interorbital ampliamente cóncava en sentido bilateral y anteroposterior limitada lateralmente por un levantamiento angosto pero muy pronunciado; 14) rama horizontal del escamoso con fuerte exóstosis formando una cresta muy prominente provista de ornamentación ósea con serraciones cónicas; 15) espinas neurales de las primeras 5 vértebras troncales prominentes demarcándose muy notoriamente a través de la piel; 16) saco vocal muy grande, medial, subgular; 17) rostro redondeado en vista dorsal, en vista lateral truncado en las hembras, truncado pero ligeramente inclinado hacia adelante en los machos; 18) músculos *submentalis* arráfcico, adyacente al *intermandibularis* éste con dos porciones separadas por una amplia aponeurosis medial central; 19) coloración *in vivo* cabeza, tronco, gula, pecho rojo, café vináceo o rosado; codo, brazo distal, antebrazo, mano, 1/2 brazo lateral proximal amarillo intenso; flancos café con 1-2 bandas horizontales paralelas café oscuro; miembros posteriores expuestos oliva oscuro, canela, con barras contrastantes opacas difusas; vientre negro; apéndices dérmicos de los talones crema; los miembros anteriores en vista ventral naranja cadmín con puntos negros; párpado inferior verde a azul pálido verdoso; lengua y revestimiento de la cavidad oral naranja; en etanol 70% dorsal general café oscuro, los miembros anteriores más claros.

Tres especies de *Gastrotheca* comparten los caracteres de coosificación craneal, la presencia de apéndices dérmicos superciliares y en el talón: *G. antomia*, *G. bufona*, *G. guentheri*.

G. antomia se diferencia de *G. bufona* por su tamaño menor (LRC 58.2mm vs 68.7mm), por su coloración, por la piel dorsal lisa vs granulosa, por la región loreal cóncava vs vertical, por presentar barras largas horizontales en el talón vs uno, por presentar barras largas horizontales en flancos troncales, paralelas café oscuro sobre café vs varias cortas de dirección oblicuas posteroventral negras sobre café más claro, por tener el labio superior e inferior indistinguible de los flancos vs blanco, por tener el vientre negro vs café oscuro con manchitas difusas crema, si bien el ejemplar macho juvenil ICN 38084 es crema con retículo café, el color de la gula rojo vs más oscura que el vientre.

Gastrotheca antomia se diferencia de *G. guentheri* por la ausencia de dientes mandibulares vs presentes, el tamaño (LRC 58.2mm vs 82.0mm) y por el colorido café rojizo-vináceo vs verde a negro con o sin manchas castaño o naranja.

Descripción. Cuerpo de moderado tamaño; cabeza más ancha que larga; anchura cefálica equivalente al 40.7-44.9% ($x=43.2\%$, $S=1.292$, $N=7$) de la longitud rostro-cloacal (LRC) en los machos y al 39.7-44.2% ($x=4.8\%$, $S=1.575$, $N=8$) en las hembras; rostro corto, redondeado en aspecto dorsal, muy truncado en perfil lateral en hembras, truncado e inclinado anteroventralmente en machos; *canthus rostralis* muy prominentes, angulares, agudos, desde su punto de convergencia desciende una carina roma hasta el labio superior; región loreal con una concavidad pequeña profunda, desciende abruptamente vertical, finamente ornamentada con exóstosis y la piel fuertemente adherida a ella; labio superior abultado; narinas muy ligeramente protuberantes, aberturas dirigidas diagonalmente de arriba hacia atrás, distancia ojo-narina equivalente al 57.1-65.2% ($x=61.3\%$, $S=3.285$, $N=7$) del diámetro anteroposterior de la órbita en los machos y al 54.6-65.3% ($x=59.8\%$, $S=3.796$, $N=8$) en las hembras; región medial de la cabeza ampliamente cóncava por elevación de los frontoparietales cuyos bordes forman crestas definidas con densas ornamentaciones granulares y serraciones pequeñas; distancia interorbital equivalente al 25.6-35.5% ($x=29.1\%$, $S=3.276$, $N=7$) de la anchura cefálica en los machos y al 29.1-31.7% ($x=30.4\%$, $S=0.752$, $N=8$) en las hembras; tímpano de tamaño mediano, verticalmente subovoide con un plano superficial orientado casi perpendicularmente al plano longitudinal del cuerpo y colocado bajo el tercio posterior de la cresta horizontal del escamoso y protegido anteriormente por la parte posterior de la rama ídem del escamoso, pliegue supratimpánico ausente, pliegue dérmico delgado, fuerte, latero-dorsal, que se inicia en el ángulo posterior de la cresta horizontal del escamoso y se extiende hasta el nivel correspondiente al borde posterior de la supraescápula.

Brazo delgado, antebrazo algo robusto, borde ventro-lateral externo ulnar con hilera de tubérculos cónicos pequeños, distanciados entre sí; mano grande, dedos relativamente largos con finos ribetes dérmicos, discos manuales ca 1.6 veces la anchura de la parte media del dígito correspondiente, circulares a truncados, con reborde dérmico; tubérculos subarticulares distales aplanados de contorno trapecoide a redondeados de contorno circular; 1-2 hileras de 5-6 tubérculos supernumerarios grandes, aplanados de contorno irregu-

lar; tubérculo tenar elíptico, aplanado, relativamente grande; tubérculo palmar grande, entero algo cordiforme, o conjunto de 2-3 tubérculos total o parcialmente separados, tubérculo prepolical grande, ovoide, dos veces más largo que ancho sostenido por un solo elemento óseo triangular angosto; palmeadura manual vestigial entre los dedos II-III-IV; excrescencia nupcial en los machos glandular, pequeña, plana, irregular, crema, en algunos ejemplares es de color café.

Miembros posteriores relativamente delgados, longitud de la tibia equivalente al 59.5-65.5% ($x=62.1\%$, $S=2.277$, $N=7$) de la longitud rostro-cloacal en los machos y al 60.1-64.4% ($x=61.8\%$, $S=1.414$ $N=8$) en las hembras; tubérculo metatarsal interno pequeño, ovalado, externo ausente; superficie plantar y la de la base de los dedos con tubérculos circulares, algo levantados, redondeados, no hay

tubérculo plantar; tubérculos subarticulares distales y basales de tamaño similar, redondos pero de diámetro algo menor que los manuales; un apéndice dérmico cónico de mediano tamaño se sitúa en el ángulo externo del talón con uno menor interno; tubérculo metatarsal interno ovoide, plano, diámetro transversal ca. $1/2$ de su longitud; palmeadura pedial muy reducida entre los dedos I-II-III, menos entre los dedos III-IV-V; todos los machos adultos de la serie típica presentan excrescencias nupciales glandulares de color crema, planas, como parches, de forma irregular en la superficie posterodorsal del preplex.

Piel de las superficies dorsales lisa, tronco y muslos con algunos tubérculos cónicos, subcónicos o redondos bajos, la superficie postorbital lateral, región rictal con abundantes tubérculos cónicos; rodilla, superficie dorsal de la pierna, tarso y metatarso con tubérculos cónicos, pungentes, bajos; gula y pecho muy finamente granular, superficies ventrales de brazo, antebrazo, y tarso granulares, vientre y superficie posteroventral de los muslos marcadamente areolares; región cloacal con tubérculos cónicos grandes y pequeños, talón con un proceso interno dérmico cónico de tamaño mediano y uno menor externo. Tímpano con gránulos finos.

Saco vocal grande, medial, sencillo, subgular; hendiduras vocales largas y anchas dirigidas desde el borde ventrolateral medio de la lengua hacia la articulación mandibular; lengua cordiforme con borde posterior libre no escotado; narinas internas grandes, ovoides, no cubiertas por la porción palatal del arco maxilar; procesos dentígeros vomerinos muy prominentes, totalmente transversos, situados inmediatamente atrás de las coanas y algo separados o en contacto en la línea media, con 10-14 ($N=7$) dientes.

Coloración *in vivo*. La serie examinada es muy homogénea; cabeza, tronco, gula, pecho rojo, café vináceo o rosado; codo, brazo distal, antebrazo, mano, $1/2$ brazo lateral proximal amarillo intenso; flancos café con 1-2 bandas horizontales paralelas café obscuro; miembros posteriores expuestos oliva obscuro, canela, con barras contrastantes opacas difusas; vientre negro; apéndices dérmicos de los talones crema; los miembros anteriores en vista ventral naranja cadmín con puntos negros; párpado inferior verde a azul pálido verdoso; lengua y revestimiento de la cavidad oral naranja; iris café con retículo y tinte cobrizo. Párpado inferior verde pálido, crema o azuloso; discos digitales manuales I y II, pediales I a III naranja. Superficie excavada anterior cefálica amarilla con diseño café.

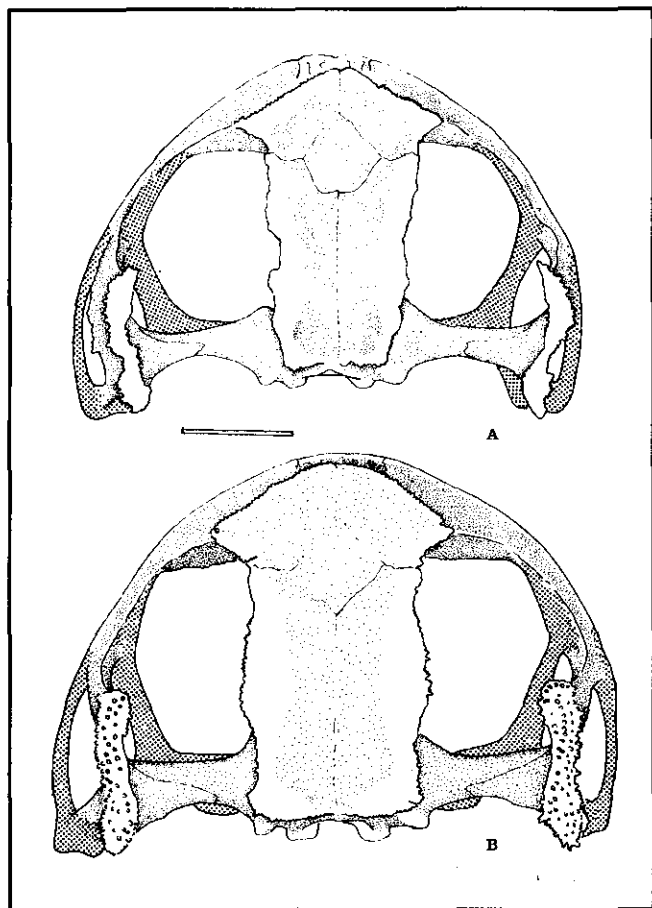


Figura 3. Vistas dorsales, sin la textura de coosificación, de los cráneos de: A.- *Gastrotheca antomia* sp. nov. hembra adulta ICN 18187 (LRC=58.7mm); B.- *G. bufona* macho adulto ICN 38085 (LRC=68.7mm). Escala= 5mm.

Coloración en etanol 70%. Dorsalmente café oscuro, los miembros anteriores algo más claros, los flancos con barra café poco contrastante sobre café claro. Gula crema con puntos café. Vientre negro.

Dimensiones del holotipo. Longitud rostro-cloacal 53.0, longitud cefálica 20.5, anchura cefálica 23.4, diámetro anteroposterior de la órbita 7.3, distancia ojo-narina 4.6, anchura interorbital 8.3, anchura del párpado superior 5.0, longitud de la tibia 34.7, longitud del pie 27.3mm.

Distribución y aspectos ecológicos. Conocida de los bosques andinos densos frecuentemente nublados del flanco occidental de la Cordillera Occidental a alturas entre los 1140 y los 2500m., en los Departamentos de Valle del Cauca, Risaralda, Chocó y Antioquia; la especie vive sobre ramas y hojas a 1-250m. del piso escondida en la vegetación, cerca a quebradas o ríos.

Discusión

Por carecer actualmente de información publicada sobre las características osteológicas que sirvan para la definición de grupos dentro del género *Gastrotheca*, se dan a continuación algunas particularidades comparadas del cráneo de algunas especies con ilustración novedosa del cráneo de *G. bufona* y *G. antomia* (Figs. 3A-B, 4A-B)

- I. La tabla ótica es corta en *Gastrotheca argenteovirens* (ICN 7543), *G. aureomaculata* (ICN 2894) *G. marsupiata* y *G. riobambae* (Duellman & Fritts, 1972), esta condición es sólo primitiva, la tabla ótica es larga en *G. andaquiensis* (ejemplar de Inderena), *G. antomia*, *G. bufona*, *G. cornuta* (Duellman, 1970) y *G. nicefori* (ICN 4772) y es muy larga en *G. guentheri* (IND-AN 1561).
- II. Hay dos condiciones en la longitud del proceso cultriforme del paraesfenoides, corto, no llega hasta el nivel de los palatinos como en *Gastrotheca cornuta* (Duellman, 1970), se encuentra la misma condición en *G. andaquiensis*, *G. argenteovirens*, *G. aureomaculata*, *G. nicefori* mientras que *G. antomia*, *G. bufona* y *G. guentheri* el proceso es más largo y más angosto, llega a nivel de los palatinos, supuestamente ésta es una condición derivada.
- III. La unión entre el proceso zigomático del escamoso y la *pars facialis* de la maxila en *G. antomia*,

G. bufona y *G. cornuta* (Duellman, 1970) la *pars facialis* sube casi la mitad del puente escamoso-maxilar (ver Fig. 2) mientras que en las demás especies *G. andaquiensis*, *G. aureomaculata*, *G. nicefori*, el puente está constituido casi completamente por la rama zigomática y apenas se muestra un proceso zigomático de la maxila.

- IV. Dentro de las especies con coosificación craneal, los frontoparietales no se extienden posteriormente en *Gastrotheca antomia*, *G. bufona* y *G. guentheri*, en *G. nicefori*, *G. weinlandi* y *G. trachyceph* hay una considerable extensión que cubre todos los músculos adductores mandibulares y con una sutura frontoparietal-escamoso, supuestamente esta es una condición derivada.

Gastrotheca antomia, *G. bufona* y *G. guentheri* parecen estar bien relacionadas y constituir un subgrupo por la forma de la cabeza, rostro muy corto, un cráneo levantado dorsoventralmente, las condiciones de coosificación craneal, la cresta supratimpánica, la forma del proceso

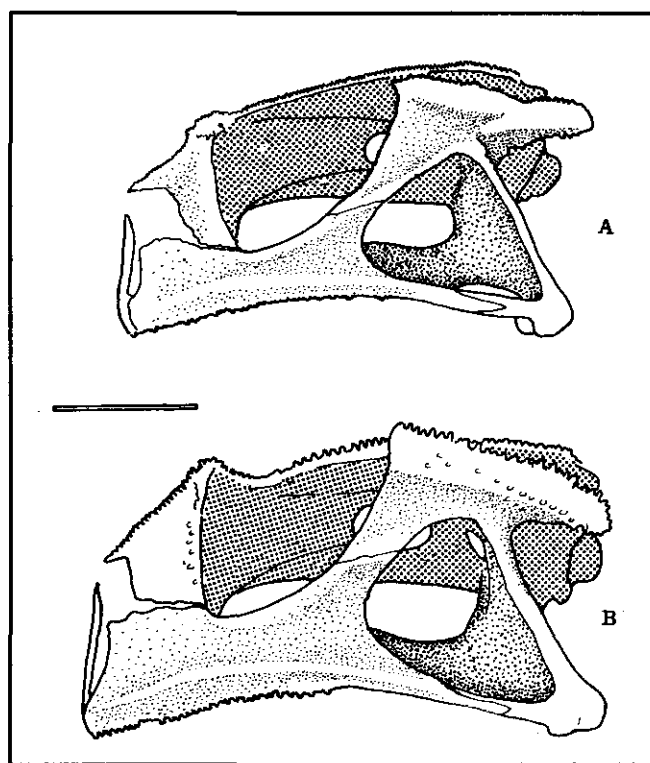


Figura 4. Vistas laterales de los cráneos de: A.- *Gastrotheca antomia* sp.nov. hembra adulta ICN 28225 (LRC= 55.3mm); B.- *G. bufona* macho adulto ICN 38085 (LRC=68.7mm). Escala= 5mm

zigomático del escamoso y la forma y disposición de los tubérculos dérmicos.

Este subgrupo parece estar dentro de un conjunto más inclusivo que contenga *Gastrotheca andaquiensis*, *G. cornuta*, *G. dendronastes* entre otras.

De otra parte pensamos que la coosificación craneal de *Gastrotheca nicefori*, *G. trachyceps*, *G. weinlandi* podría ser el resultado de una convergencia.

Materiales referidos. Departamento de Antioquia, Municipio Ur Rao, vereda Calles (P.N.N.Las Orquídeas), quebrada Canoas, 1770-1870m., juvenil: ICN 18329 cols. J.D.Lynch, R. Sánchez, mayo 25 de 1988. Departamento del Chocó, límites con Valle del Cauca, carretera El Cairo-Las Amarillas, sitio «El Boquerón», 1900-2250m., juveniles ICN 28019, 28021-22, 28201-28206, 28208-28211, hembras juveniles: 28020, 28212-28214, 28219, 28222, 28224, Cols. J.D.Lynch, J.H.Restrepo, P.M.Ruiz-C., R.Sánchez, junio 22-24 de 1991, julio 14 de 1995; Municipio San José del Palmar, 20.5-22.5 Km. de El Cairo, 2150-2200m., juveniles ICN 38078-38081, Col. J.D.Lynch, julio 20 de 1995. Departamento Risaralda, Municipio San Antonio, vereda El Campamento, 2300m., juvenil ICN 33745, Col. M.Morales, noviembre 22 de 1991; Municipio Pueblo Rico, vereda Tatamá, ca. Río Tatamá, 1820m., juvenil ICN 30739, Col. M.C.Ardila-R., septiembre 20 de 1991.

Agradecimientos

Los materiales del presente estudio fueron obtenidos con fondos de la Facultad de Ciencias y Colciencias dentro de los proyectos Centrolenidae de Colombia y Estudio del género *Phrynopus* de Colombia, del Programa Fauna de Colombia, de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional, Bogotá. Igualmente dentro del Convenio con la Corporación Regional de Risaralda (CARDER) y la Universidad Nacional (ICN-MHN).

Bibliografía

- Dingerkus & L.D.Uhler. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. *Stain Tech.*, 52 (4): 229-231
- Duellman, W.E. 1970. The hylid frogs of Middle America. *Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas, Monogr.* 1. 1-753pp.
- . 1973. Descriptions of new hylid frogs from Colombia and Ecuador. *Herpetologica*, 29 (3): 219-227
- . 1989. Lista anotada y clave de los sapos marsupiales (Anura: Hylidae: *Gastrotheca*) de Colombia. *Caldasia* 16 (76): 105-111.
- . & T.H. Fritts. 1972. Review of the southern marsupial frogs (Hylidae: *Gastrotheca*). *Occ. Pap. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas*, (9): 1-37.
- . & D.M. Hillis. 1987. Marsupial frogs (Anura: Hylidae: *Gastrotheca*) of the Ecuadorian Andes: resolution of taxonomic problems and phylogenetic relationships. *Herpetologica*, 43: 141-174.

VIDA ACADEMICA

REACTIVAMOS UNA VIEJA E IMPORTANTE SECCION DE ESTE ACAPITE CON LA SIGUIENTE CARTA RECIBIDA POR LA DIRECCION DE LA REVISTA

“Santafé de Bogotá, el 9 de junio de 1997

Señor profesor
D. Santiago Díaz Piedrahita
Director
Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Presente

Respetado profesor Díaz Piedrahita:

En el No. 77 (Volumen XX, 1996) de la Revista de la Academia apareció el trabajo de la profesora Dra. Olga Restrepo Forero, titulado *Bibliografía sobre ciencias en la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1936-1955*. Creo que este trabajo estaba en mora de hacerse y que también la metodología empleada parece la adecuada. Mi interés en esta comunicación no es hacer una revisión crítica total del documento en cuestión. Más bien, sin el ánimo de restar méritos a lo ya hecho, ella se encamina a **señalar la posibilidad de cometer errores en la clasificación de un trabajo sobre historia de una ciencia cuando se desconocen los rudimentos de ella**, cosa que he señalado y recalcado muchas veces en diversas ocasiones. Esta posibilidad aumenta en el caso de la historia de la matemática cuando ella se cuenta no sólo en palabras sino en símbolos y fórmulas. En este caso (es decir, ante la presencia de fórmulas y símbolos) los profanos tienden a clasificar un trabajo histórico como uno de mera matemática. Esta es la muy probable razón que haya conducido a la omisión por parte de la autora de uno, entre otros (de los cuales no me ocuparé hoy), de los trabajos sobre la historia de la ciencia más eruditos y hermosos publicados en nuestra Revista. *Esto a pesar de su título*. Se trata del trabajo *Sobre las geometrías no euclidianas. Notas históricas y bibliográficas* (1946, 63-81), del Académico venezolano, correspondiente de nuestra Academia, D. Francisco J. Duarte (†). Señalamos que este trabajo está seguido de una *Nota de la Dirección*, escrita por el Académico D. Jorge Alvarez Lleras, la cual curiosamente también parece se omitió (las otras notas por este Director parece que aparecen todas). Cabe anotar que éste es el único trabajo publicado por D. Francisco J. Duarte en la Revista, en el cual, con su característica erudición, nos pasea por la historia del quinto postulado de Euclides hasta llegar al paradigmático cambio de premisas, que no revolución, en la geometría elemental hecho por Gauss, Lobachévski y Bólyai en el siglo XIX. El trabajo termina con un análisis de los estudios del señor profesor D. Julio Garavito Armero sobre las geometrías no euclídeas, en el cual señala los errores de raciocinio cometidos por este último en su deseo de demostrar que los resultados obtenidos por los autores mencionados y otros no podían ser. El profesor Alvarez Lleras en su nota nos informa que se trata de la reproducción de un trabajo publicado antes en Caracas, y que lo publica previa solicitud hecha al autor, a pesar de no compartir sus opiniones sobre el profesor Garavito Armero y *promete* refutar las críticas que el Académico Duarte le hace a sus trabajos.

Aprovecho la ocasión para mencionar que la erudicción de D. Francisco J. Duarte se basaba no sólo en su brillante mente analítica, sino también en una de las bibliotecas de libros curiosos y clásicos de la matemática más notables que hayan existido en el continente americano, y que sus trabajos, aún hoy, son fuente de información e inspiración para los matemáticos e historiadores de la matemática. Una muestra de ello es la opinión de Charles R. Hadlock (*Field Theory and its Classical Problems*. The Mathematical Association of America, Carus Monographs No. 19, 1978, págs. 3-4): "For a fascinating history of many false solutions to this problem (la trascendencia de π y e) (including a variety of methods - mathematical, religious, etc.), it is well worth searching out a copy of the book by F. J. Duarte, Monografía sobre los números π y e (Estados Unidos de Venezuela, Bol. Acad. Ci. Fís. Mat. Nat., 11 (1948), no. 34-35, 1-252; *Math. Reviews*, 11-501)."

Sin otro particular, reciba mis sentimientos de consideración y respeto.

Víctor Albis
Académico Numerario