

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XX

NOVIEMBRE DE 1996

NUMERO 78

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Nota Editorial (Editorial)	431	(Remembering paillter Salvador Rizo 180 years after his sacrifice) <i>Luís Carlos Mantilla</i>	519
Botánica (Botany) Sucesos en <i>Pentacalia</i> (Asteraceae, Senecioneae). Una novedad y claves para las especies colombianas. (Events in <i>Pentacalia</i> [Asteraceae-Senecioneae]: One novelty and keys to Colombian species) <i>Santiago Díaz-Piedrahita</i>	435	Constituciones del Colegio Universitario de Mompox: un modelo para la enseñanza ilustrada. (The constitutions of the University College of Mompox: A model of illustrated teaching) <i>Diana Soto Arango</i>	527
Hallazgo de la familia Hamamelidaceae en Suramérica y descripción de una nueva especie de <i>Matudaea</i> de Colombia. (The discovery of Hamamelidaceae in South America. Description of a new species of <i>Matudaea</i> from Colombia) <i>Gustavo Lozano-Contreras</i>	443	Matemáticas (Mathematics) Matemáticas, explicar y comprender. (Mathematics, to explain and to understand) <i>Lillis Moreno Armella</i>	539
Ecología (Ecology) Los manglares del Caribe Colombiano: síntesis de su conocimiento. (The Mangroves of the Colombian Caribbean region: a synthesis of the current state of knowledge) <i>Ricardo Alvarez-León & Jaime Polanía</i>	447	Zoología (Zoology) Análisis de factores ambientales que influyen en la distribución de los Simuliidae (Diptera : Insecta) en el Cono Austral de América del Sur. (Analysis of environmental factors influencing the distribution of Simuliidae [Diptera : Insecta] in the southern cone of South America) <i>Sixto Coscarón, Ramiro Sarandón, Cecilia Coscarón-Arias y Edmundo Drago</i>	549
Síntesis de los cambios antrópicos ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga de Santa Marta (Colombia). (A synthesis of anthropic changes in the Ciénaga de Santa Marta [Colombia] during the last 40 years) <i>Leonor Botero & José Ernesto Mancera -Pineda</i>	465	Histología, histoquímica y estructura fina de la glándula mentoniana de dos especies de <i>Hyla</i> grupo <i>bogotensis</i> y del antebrazo de <i>Phrynoplls adenobranchius</i> (Histology, histochemistry and fine structure of the mentonian gland in two species of <i>Hyla bogotensis</i> group, all of the forearm of <i>Phrynopus adenobranchius</i>) <i>Gloria Romero de Pérez & Pedro M. Ruiz-Carranza</i>	575
Los bosques de <i>guandal</i> del delta del río Patía (Colombia) (The "Guandal" forests of the Patía River delta [Colombia]) <i>Jorge Ignacio del Valle</i>	475	Vida Académica (Academic Life)	585
Física (Physics) Non linear time series analysis of the EEG during steep. <i>David H. Campos</i>	491	Índice general del volumen XX (General Index for Volume XX)	597
Modelo logístico: un paradigma en la teoría del caos. (Logistic model: a paradigm of the chaos theory) <i>Diógenes Campos Romero</i>	503	Constitución de la Academia (Members of the Academy)	601
Historia de la Ciencia (History of Science) Recordación del pintor Salvador Rizo 180 años después de su sacrificio.			

Sucesos en *Pentacalia* (Asteraceae - Senecioneae). Una novedad y claves para las especies colombianas.

por

Santiago Díaz-Piedrahita¹

Resumen

Díaz-Piedrahita, S.: Sucesos en *Pentacalia* (Asteraceae, Senecioneae). Una novedad y claves para las especies colombianas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **20**(78): 435-442. ISSN 0370-3908.

Se describe una nueva especie proveniente de la Serranía de Perijá en el extremo norte de la Cordillera Oriental de Colombia. La misma, afín a *P. americana* H.B.K., es ubicable en el subgénero *Pentacalia* y dentro del grupo de los arbustos con ramas divergentes. Se presentan claves para diferenciar las especies colombianas tanto del subgénero *Pentacalia* como de *Microchaete*.

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

Abstract

A new species of *Pentacalia* from Serranía de Perijá in the northern tip of Eastern Cordillera, Colombia is described. This species is closely related to *P. americana* H.B.K. and is placed in subgenus *Pentacalia* as part of the group of shrubs with divergent branches. Keys to recognize the colombian species of subgenera *Pentacalia* and *Microchaete* are provided.

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

***Pentacalia* cuatrecasana** Díaz sp. nov.

Arbuscula ramis ultimis alternis teretibus leviter sulcato-striatis plus minusve flexuosis sparse tometosis vel villosis. Folia alterna petiolata coriacea. Petiolus 2.0 - 2.5 cm longus dense tomentosus basi paulo dilatatus. Lamina 9.5 - 17.0 x

Fig 1.

3.5 - 8.0 cm elliptica basi truncata vel leviter cordata apice acuta breviter acuminata, margine dentata et anguste revoluta; adaxiale viridis glabrata superficie bullata costa impressa; abaxiali tomentosa costa prominenti nervis secundariis 10-12 utroque latere prominentes ascendentes prope marginem arcuatis anastomosatisque nervis minoribus ipsis prominentibus.

Synflorescentia terminalis paniculata circa 14 cm alta 20 cm ampla, axi ramis ramulis pedunculisque teneris,

¹ Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural, Apartado 7495, Santafé de BOGOTÁ, Colombia.

ramusculis circa 25 capitula pedicellata ferentibus. Pedicelli saepe graciles 4 - 6 mm longi bracteolati. Bracteae subtendentes lineares tomentosae 3 - 5 mm. Capitula radiata 10 - 11 mm alta. Involucrum campanulatum. Phyllaria herbacea obovata obtusa valde inaequalia 8 in capitulo exteriora 4.0 - 4.5 mm longa 1.8 - 2.1 mm lata extus tomentosa intus glabra, interiora margine late scariosa dorso incrassato extus tomentosa apice ciliato. Calyculum 3 bracteolis linearibus acutis dense villosis 3.0 - 4.3 mm longis 0.4 - 0.9 mm latis.

Flores marginales feminei ligulata radiantes 4 - 5 in capitulo. Corolla 11.0 - 13.0 mm longa, tubo 2.5 - 3.0 mm

angusto pallido; lamina lutea elliptica vel obovata 8.4 - 10.5 mm longa, 2.3 - 3.2 mm lata 4 - nervia apicem attenuata et minute 3 - denticulata. Stylus valde exertus; ovarium oblongum 1.6 - 2.6 mm longum, pappus albus 5.0 - 6.5 mm latus pilis scabriusculis. Flores disci hermaphroditi 11 - 12 in capitulo. Corolla lutea glabra tubulo 2.5 - 3.0 mm, limbo campanulato, lobis 1.3 - 1.9 x 0.8 - 1.0 mm triangulare-oblongis acutis. Ovarium glabrum 2.0 - 2.6 mm longum. Pappus albo 6.0 - 6.5 mm long.

Tipo: COLOMBIA, Departamento del Cesar, Cordillera Oriental, municipio de Robles (La Paz), Corregimiento de Manaure. Bosque antes de llegar al páramo. Alt. 2000 - 2400 m. marzo 7 de 1959. "Arbusto muy ramoso. Flores amarillas, tomento blanquecino". R. Romero-Castañeda 7495 (Holotypus COL 81059).

Por sus caracteres, *Pentacalia cuatrecasana* Díaz se ubica claramente en el subgénero *Pentacalia* dentro del grupo de las especies de porte arbustivo y con ramas divergentes y a veces péndulas. Muestra su mayor afinidad con *P. americana* H.B.K. de la que se separa fácilmente por el porte, presentando ramas relativamente cortas comparadas con las ramas largas y flexuosas de *P. americana*; difiere igualmente por la lámina foliar bullada, con retículo prominente por el envés y con indumento de tipo tomentoso - viloso que contrasta con los pelos canescentes de *P. americana*. Afines son también *P. ocanensis*, separable por las hojas con margen entera, *P. reflexa*, diferenciable por las hojas y tallos glabros y *P. sotarensis*, distinguible fácilmente por la forma de la lámina, el tipo de indumento y la forma de los dientes marginales.

La nueva especie está dedicada con profundo afecto al entrañable amigo y maestro, Don José Cuatrecasas Arumi (Marzo 19 de 1903 - Mayo 13 de 1996), notable sinantrólogo con quien veníamos realizando la revisión de la tribu Senecioneae para Colombia. En los próximos meses esperamos publicar en la "Flora de Colombia" la primera monografía correspondiente a esta tribu con la revisión del género *Pentacalia* Cassini, el cual cuenta en el país con ochenta y cinco (85) especies, de ellas cuarenta y cinco (45) ubicables en el subgénero *Pentacalia* y cuarenta (40) pertenecientes al subgénero *Microchaete*. En esta oportunidad presentamos las claves que permiten determinar las especies registradas para el territorio colombiano.

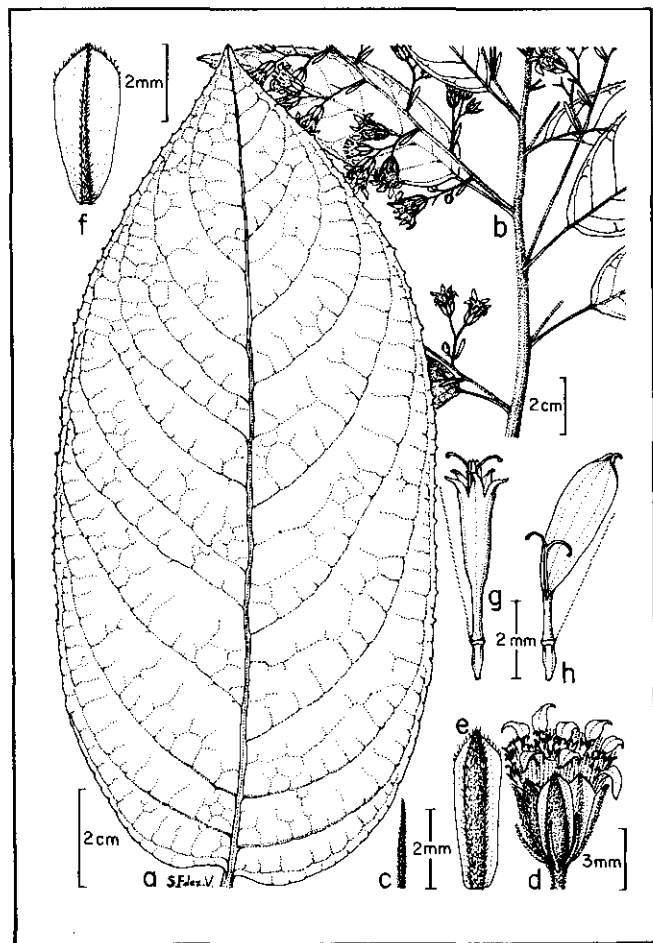


Figura 1. *Pentacalia cuatrecasana* Díaz sp. nov. a.- Hoja; b.- Fragmento de la sinflorescencia; c.- bráctea del calículo; d.- Capitulo; e.- Filaria exterior; f.- Filaria interior. Ilustración de Silvio Fernández tomada del ejemplar tipo R. Romero C. 7495.

CLAVE PARA DIFERENCIAR LOS SUBGENEROS DE *PENTACALIA*

- 1- Frútices con tallo aéreo, a veces en parte subterráneos (criptofrútices), tallos y ramas frecuentemente escandentes, a veces erguidas. *Pentacalia* subgen. ***Pentacalia***
- 1'- Árboles, frútices o frutículos erectos, a veces postrados. *Pentacalia* subgen. ***Microchaete***

CLAVE PARA LAS ESPECIES COLOMBIANAS DEL GENERO *PENTACALIA* Subgen. *PENTACALIA*.

- 1- Sinflorescencias racemiformes axilares ***P. uribei***.
- 1'- Sinflorescencias tirsoideas o corimbiformes.
- 2- Sinflorescencias tirsoideo-paniculadas.
- 3- Capítulos claramente radiados, flores femeninas con lígulas bien desarrolladas.
- 4- Arbustos con ramas divergentes más o menos péndulas.
- 5- Margen foliar entera, pecíolos levemente decurrentes ***P. ocanensis***.
- 5'- Margen foliar dentada.
- 6- Envés foliar glabro, hojas elípticas, acuminadas y con base redondeada o truncada. ***P. reflexa***.
- 6'- Envés foliar tomentoso.
- 7- Haz foliar con retículo bullado, indumento del envés viloso ***P. cuatrecasana***
- 7'- Haz foliar con el retículo impreso, envés canescente o aracnóideo
- 8- Indumento canescente denso, base foliar cordada ***P. americana***
- 8'- Indumento aracnóideo laxo, base foliar cuneada ***P. sotarensis***
- 4'- Frutículos escandentes con ramas flexuosas.
- 9- Hojas con la margen dentada
- 10- Grandes bejucos con hojas mayores de 20 cm. long ***P. vallecaucana***
- 10'- Bejucos menores, hojas hasta de 15 cm. long.
- 11- Base foliar obtuso-cuneada, hojas membranáceas menores de 10 cm. long ***P. archeri***
- 11'- Base foliar redondeada o truncada, cordada o subcordada, hojas gruesas, coriáceas mayores de 10 cm. long ***P. kleinoides***
- 9'- Hojas con la margen entera.
- 12- Envés foliar densamente aracnóideo lanuginoso y de color ferrugíneo-cinereo, base foliar cuneada ***P. popayanensis***
- 12'- Envés aparentemente glabro, apenas pubérulo por la presencia de pelos crespos finos, deciduos y esparcidos ***P. magnusii***
- 3'- Capítulos sub-discóideos o discóideos.
- 13- Capítulos sub-discóideos, flores femeninas tubulosas y lobuladas.
- 14- Hojas con la margen entera
- 15- Capítulos grandes (10-15 mm alt.) pedúnculos y pedicelos con abundantes brácteas incurvadas y rígidas, cálculo formado por 8-12 bractéolas duras e incurvadas ***P. urbani***
- 15'- Capítulos menores (9-10 mm. alt) pedúnculos y pedicelos ebracteados, cálculo formado por 2-5 bractéolas flojas y rectas ***P. breviligulata***
- 14'- Hojas con la margen dentada

16- Sinflorescencias cortas hasta de 15 cm. alt., flores del disco 9-10, hojas cartáceas y con la base redondeada. **P. hachana**

16'- Sinflorescencias largas de 20-40 cm. alt, flores del disco 12-23, hojas rígidas y con base cordada o subcordada **P. barkleyana**

13'- Capítulos totalmente discóideos, todas las flores hermafroditas.

17- Filarias 5-6 flores 5-6 por capítulo, hojas crasiúsculas y glabras **P. sonsonensis**

17'- Filarias 13, flores ca. 50 por capítulo, hojas pubescentes **P. favillosa**

2'- Sinflorescencias corimbiformes.

18- Capítulos radiados.

19- Arbolitos con sinflorescencias terminales grandes, hojas sésiles largamente cuspidadas **P. munchiquensis**

19'- Frutículos bejucosos con ramas flexuosas.

20- Hojas opuestas o subopuestas, crasiúsculas, membranáceas de 5-7 cm. long. **P. suboppositifolia**

20'- Hojas claramente alternas.

21- Involucro formado por 8 filarias.

22- Hojas marcadamente obovadas (4-7.5 cm. long. x 1.3-1.8 cm. lat) rígidas, obtusísimas y largamente cuneadas **P. haughtii**

22'- Hojas elípticas.

23- Involucros cortos, filarias de 4-6 mm. long.

24- Hojas de 2-4.5 cm. long. elíptico lanceoladas, agudas o acuminadas y crasiúsculas.

25- Flores verde amarillentas, hojas con 4-5 nervios conspicuos **P. ullucosana**

25'- Flores blancas que enrojecen al madurar, hojas con nervios inconspicuos **P. velezi**

24'- Hojas de 7-12 cm. long. angosto - elípticas y agudas **P. scortifolia**

23'- Involucros largos, filarias de 5.5-9 mm. long.

26- Capítulos de 10-15 mm alt. filarias de 7-9 mm. long.

27- Hojas con dientes marginales esparcidos y diminutos, lámina foliar 9.5-14 cm. long **P. scaphiformis**

27'- Hojas enteras, lámina foliar 3-10 cm. long.

28- Hojas cartáceas y frágiles en seco, corolas de las flores femeninas 7-11 mm. long **P. ellipticifolia**

28'- Hojas crasiúsculas, coriáceas o membranáceas.

29- Flores hermafroditas 17-21 por capítulo, corola de las flores femeninas 9-10 mm. long. lámina foliar 6.5-10 cm. long. **P. tomasiana**

29'- Flores hermafroditas 9-16 por capítulo, corola de las flores femeninas 12-33 mm. long. lámina foliar 3.2-7.5 cm. long. **P. sylvicola**

26'- Capítulos de 7-10 mm. alt. filarias 5.5-9 mm. long.

30- Pedúnculos y pedicelos con indumento blanquecino lanuginoso, fino y cespilloso, hojas de 3.2-4.2 cm. long. **P. haticoensis**

30'- Pedúnculos y pedicelos con indumento hirsuto, pelos rígidos, pátulos y de base cónica, hojas de 5-9.5 cm. long. **P. huilensis**

21'- Involucro formado por 13 filarias.

31- Flores femeninas 5-9 por capítulo, lámina foliar mayor de 7 cm. long.

32- Lámina angosto-elíptica, aguda 7.8-11 cm. long. peciolos de 5-10 mm. long. corola de las flores femeninas de 8-13 mm. long. **P. supernitens**

32'- Lámina ovado-elíptica atenuado aguda u obtusa, 11-16 cm. long. corola de las flores femeninas 5-9 mm. long. peciolos de 15-20. **P. silvascandens**

31'- Flores femeninas 13 por capítulo, lámina foliar de 3.5-7 cm. long. **P. danielis**

18'- Capítulos discoideos.

33- Hojas con la margen entera y sinuosa

34- Hojas auriculadas en la base, sinflorescencias con aspecto de cincino.

35- Lámina foliar lisa **P. genuflexa**

35'- Lámina foliar rugosa **P. rugosa**

34'- Hojas no auriculadas en la base, sinflorescencias de otro tipo.

36- Tallos glabros, hojas elípticas, glabras en ambas caras **P. decomposita**

36'- Tallos tomentosos, hojas ovadas con indumento al menos en el envés **P. antioquiensis**

33'- Hojas con la margen dentada.

37- Ramas totalmente glabras.

38- Hojas glabras en ambas superficies, lámina lanceolada, margen sinuado-dentada **P. lophofila**

38'- Hojas con el envés tenuemente pubérulo, lámina ovado-redondeada margen subentera a repando denticulada **P. cadiriensis**

37'- Ramas pubérulas o densamente tomentosas.

39- Hojas generalmente con la base truncada o subredondeada (rara vez cuneada)

40- Lámina oblongo-elíptica, margen aserrada, hojas de 6 o más cm. long. ápice agudo, ramas hirsútulas **P. ricoensis**

40'- Lámina ovada u ovado-elíptica, margen repando-mucronulada-dentada, hojas hasta de 4.5 cm. long., ápice redondeado u obtuso, ramas densamente tomentosas **P. weinmannifolia**

39'- Hojas generalmente con la base aguda o ligeramente cuneada

41- Retículo venoso bien marcado en el envés.

42- Nervios secundarios divergiendo en ángulo recto o casi recto, tallos con poco indumento, hojas ovadas **P. arborea**

42'- Nervios secundarios divergiendo en ángulo de 70°-80°, tallos con abundante indumento.

43- Apice foliar obtuso-mucronado, envés pulverulento acanelado, hojas de 2-4 cm. long **P. chaquiroensis**

43'- Apice foliar agudo o rostrado, envés glabro o casi glabro, hojas de 3.5-8 cm. long. **P. trianae**

41'- Retículo venoso poco evidente en el envés.

44- Hojas elípticas u obovadas 3-7 cm. long., ápice agudo, lámina no decurrente en la base **P. theaeifolia**

44'- Hojas ovadas o subovadas 2-4 cm. long., ápice obtuso o redondeado, base ligeramente decurrente **P. diamantensis**

CLAVE PARA LAS ESPECIES COLOMBIANAS DEL GENERO *PENTACALIA* SUBGEN. *MICROCHAETE*

- 1- Capítulos con flores radiadas.
 - 2- Hojas claramente pecioladas.
 - 3- Pecíolos carentes de aurículas.
 - 4- Filarias 13 por capítulo.
 - 5- Capítulos terminales solitarios, a veces formando pseudocorimbos hasta de 5 capítulos, hojas ovadas o angosto elípticas con base redondeada o truncada.
 - 6- Hojas angosto-elípticas, fuertemente revolutas, margen enrollada lateralmente cubriendo la casi totalidad del envés ***P. peruviana***
 - 6'- Hojas ovado-elípticas, margen entera o apenas revoluta, nunca cubriendo el envés.
 - 7- Flores femeninas 8-12 por capítulo, ápice foliar agudo, hojas de 0.5-1.4 cm. long. x 0.3-0.8 cm. lat. .
..... ***P. arbutifolia***
 - 7'- Flores femeninas 12-16 por capítulo, ápice foliar obtuso, hojas de 1.6-1.8 cm. long. x 0.9-1.1 cm. lat.
..... ***P. befarioides***
 - 5'- Capítulos dispuestos en corimbos policéfalos, hojas obovadas o angosto-obovadas y con base cuneada
..... ***P. polymera***
 - 4'- Filarias 15-21 por capítulo.
 - 8- Lámina lanceolada, aguda y brevemente peciolada, indumento aracnoideo ***P. subaracnoidea***
 - 8'- Lámina elíptica o elíptico-oblonga, indumento de otro tipo.
 - 9- 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. juajibioi***
 - 9'- 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***
 - 3- Pecíolos auriculados en la base ***P. schultzei***
 - 2'- Hojas sésiles. ***P. harrietae***
- 1'- Capítulos con flores discoideas.
 - 10'- Hojas sésiles o con pecíolos muy cortos, (generalmente menores de 3 mm. long.).
 - 11- Hojas angostas y alargadas, al menos seis veces más largas que anchas.
 - 12- Filarias 8-13 por capítulo.
 - 13- Hojas aciculares, tallos glabros ***P. abietina***
 - 13'- Hojas oblongo-lanceoladas, tallos con tomento denso blanco al menos cerca del ápice ***P. elatoides***
 - 12'- Filarias 13-17 por capítulo, hojas lineares frecuentemente recurvadas, ramas lanoso-tomentosas hacia el ápice
..... ***P. lindenii***
 - 11'- Hojas no alargadas, a lo sumo tres veces mas largas que anchas.
 - 14- Hojas carentes de aurículas en la base.
 - 15- Hojas adultas glabras en ambas caras.
 - 16. Frútiles pequeños de ca. 25 cm. alt. hojas angosto-elípticas 4-8 mm. long ***P. cleefii***
 - 16'- Frútiles desde 50 cm. hasta 4 m. alt. hojas obovadas o elípticas.
 - 17- Ramas jóvenes cubiertas de abundantes pelos complanados y contortos (ramentosos).

- 18- Hojas ovadas abruptamente acuminadas, base truncada y margen ciliada. **P. ramentosa.**
- 18'- Hojas angosto-elípticas a angosto obovadas, acuminadas, base cuneada, margen no ciliada
..... **P. trichopus.**
- 17'- Ramas jóvenes glabras.
- 19- Hojas elípticas, ovadas u obovadas con base redondeada o truncada, filarias 7-9.
 - 20- Vaina foliar ciliada, hojas de 7-12 mm. long. **P. flosfragrans.**
 - 20'- Vaina foliar carente de cilios, hojas de 11-18 cm. long. **P. stuebelii**
- 19'- Hojas obovadas u oblanceoladas y con base cuneada, filarias 8-15.
 - 21- Hojas generalmente lustrosas, crasiúsculas y con nervio medio poco marcado, ápice con acumen muy pronunciado, hojas 1.5 cm. long. x 0.4-2.2 cm. lat. **P. vaccinioides**
 - 21'- Hojas generalmente membranáceas, opacas y con nervio medio claramente prominente.
 - 22- Apice foliar agudo, lámina estrecha oblongo-lanceolada, vaina estrecha, hojas 1-3 cm. long. x 0.2-0.8 cm. lat, receptáculo siempre desnudo **P. corymbosa**
 - 22'- Apice foliar obtuso y cortamente apiculado, lámina oblonga, vaina foliar ensanchada, hojas 1-6 cm. long. x 0.4-1.4 cm. lat. receptáculo frecuentemente con escamas . **P. pulchella**
- 15'- Hojas adultas con lámina tomentosa al menos en una cara.
 - 23- Haz foliar completamente glabra y lustrosa, envés densamente tomentoso.
 - 24- Lámina foliar elíptica o angosto-elíptica, base cuneada o redondeada.
 - 25- Margen entera o tenuemente revoluta, pecíolo ensanchado en una vaina amplexante, filarias con dorso tomentoso **P. iguaquensis**
 - 25'- Margen calloso dentada y revoluta, pecíolo sin vaina amplexante filarias glabras **P. andicola.**
 - 24'- Lámina foliar ovado-triangular y con la base truncada o cordada.
 - 26- Filarias 8-11 por capítulo.
 - 27- Filarias dorsalmente glabras o apenas pubérulas cerca de la base. Frútiles grandes de 1-3 m. alt.
 - 28- Hojas estrechas 0.9-1.8 cm. long. x 0.3-0.7 cm. lat. margen fuertemente revoluta que cubre totalmente el envés. **P. vernicosa**
 - 28'- Hojas anchas, 1.4-3 cm. long. x 0.7-1.6 cm. lat. margen apenas revoluta, envés descubierto
..... **P. nitida.**
 - 27'- Filarias densamente tomentosas en el dorso, frútiles pequeños hasta de 60 cm. alt **P. summapacis**
 - 26'- Filarias 13 por capítulo.
 - 29- Filarias glabras en el dorso, ramas jóvenes glabras, lámina elíptica 1.2-1.8 cm. long. x 0.3-0.7 cm. lat, ápice obtuso **P. gelida**
 - 29'- Filarias densamente tomentosas, ramas jóvenes cubiertas de indumento blanco-grisáceo, lámina ovada 0.8-1 cm. long. x 0.4-0.8 cm. lat., ápice agudo **P. viridi-alba**
- 23'- Tanto la haz como el envés cubiertos por tomento.
- 30- Base foliar claramente cordada y amplexante.
 - 31- Filarias 8-11 por capítulo, hojas angosto-oblongas, ápice agudo y mucronado, base decurrente, indumento lanuginoso **P. reissiana**
 - 31'- Filarias 13 por capítulo, hojas ovado-trianguulares base no decurrente, indumento hirsuto y erizado
..... **P. guicanensis.**

- 30- Base foliar cuneada o truncada, nunca amplexante.
- 32- Receptáculo hirsuto por la presencia de abundantes pelos finos flexuosos y erectos **P. almorzana**
- 32'- Receptáculo desnudo o apenas con pequeñas escamas casi imperceptibles.
- 33- Hojas sésiles, a veces pseudopecioladas.
- 34- Margen foliar entera y revoluta, lámina oblonga.
- 35- Hojas angosto-oblongas, fuertemente revolutas, margen cubriendo totalmente el envés, indumento denso blanco **P. albipanquei**
- 35'- Hojas oblongas, obtusas en ambos extremos, la margen no cubre el envés, indumento diluido y esparcido verde pálido **P. cacaosensis**
- 34'- Margen foliar dentada, no revoluta, lámina obovada, base cuneada, haz casi glabra, envés densamente lanoso **P. hammeni**
- 33'- Hojas cortamente pecioladas, no revolutas.
- 36- Hojas rígidas elíptico oblongas, base cuneada tomento lanuginoso blanco grisáceo, lámina 1.2-2 cm. long. x 0.3-0.6 cm. lat. **P. novolanata**
- 36'- Hojas coriáceas elíptico-lanceoladas, base truncada, tomento seríceo cinéreo adpreso o subadpreso, lámina 0.7-2.8 cm. long. x 0.3-0.8 cm. lat **P. ledifolia**
- 14'- Hojas con base auriculada, a veces sin aurícula pero con pseudopecíolo ensanchado, lámina linear-lanceolada. **P. carrikeri**
- 10'- Hojas claramente pecioladas, peciolo generalmente mayores de 5 mm. long.
- 37- Hojas glabras o aparentemente glabras, pelos inconspicuos diminutos o decíduos.
- 38- Filarias 8 por capítulo.
39. Hojas de 3-12 cm. long. x 1.3-3.5 cm. lat., margen perfectamente dentada, nervios ca. 18 por lado, flores 18-30 por capítulo **P. taironae**
- 39'- Hojas de 4-4.6 cm long. x 1.6-2.2 cm. lat. margen denticulada, nervios ca. 9 por lado, flores 10-12 por capítulo **P. prunifolia**
- 38'- Filarias 13 por capítulo, hojas elípticas a abovadas, dentadas, 6.5-10 cm. long. x 1.3-4.3 cm. lat. concóloras .. **P. perijaensis**
- 37'- Hojas con el envés densamente tomentoso.
- 40- Ramas y ramillas con pelos hirsutos, pábulos, rígidos y submembranáceos acanelados **P. guadalupe**
- 40'- Ramas y ramillas tomentosas, pelos flojos y flexuosos.
- 41- Hojas con la base truncada y obtusa, generalmente con los lóbulos desiguales, margen claramente dentada, indumento del envés denso y amarillento **P. colombiana**
- 41'- Hojas con la base cuneada, margen sinuoso denticulada, indumento del envés laxo y de color verde grisáceo **P. tolimensis**

HALLAZGO DE LA FAMILIA HAMAMELIDACEAE EN SURAMERICA Y DESCRIPCION DE UNA NUEVA ESPECIE DE *MATUDAEA* DE COLOMBIA

por

Gustavo Lozano-Contreras*

Resumen

Lozano-Contreras, G.: Hallazgo de la familia Hamamelidaceae en suramérica y descripción de una nueva especie de *Matudaea* de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **20** (78): 443-445, 1996. ISSN 0370-3908.

Se señala el hallazgo de la familia Hamamelidaceae en Sudamérica con el descubrimiento en la cordillera Oriental de Colombia de una especie nueva asignable al género *Matudaea*, la cual se describe, se ilustra y se compara con la única especie reconocida del género *M. trinervia* Lundell, originaria de Méjico y Costa Rica.

Palabras claves : Hamamelidaceae, *Matudaea*, Andes, Colombia.

Abstract

A new species of *Matudaea*, from Cordillera Oriental in Colombia, confirms the presence of this family in South America. The new species is described, illustrated and compared with *M. trinervia* Lundell from Mexico and Costa Rica.

Key words : Hamamelidaceae, *Matudaea*, Andes, Colombia.

La familia Hamamelidaceae está representada en América por cuatro géneros: *Distylium*, *Liquidambar*, *Matudaea* y *Molinadendron*, de los cuales *Matudaea* y *Molinadendron*, tienen distribución únicamente en América, los otros dos géneros también se encuentran presentes en Asia.

En Sudamérica hasta el presente no hay una publicación que indique con certeza la presencia de esta familia

con citación de ejemplares de individuos nativos coleccionados en algún país de esta región ; apenas se conocen por comunicaciones transmitidas por el autor y consignadas por Gentry (1993) y Cleef & Chaverri según Ulloa & Jorgensen (1993) sobre la presencia de esta familia en Colombia.

Los trabajos realizados por diferentes investigadores y el aumento de herborizaciones realizadas cuidadosamente por botánicos dedicados a la sistemática han permitido encontrar una gran afinidad entre la flora de Colombia y Costa

* Profesor Titular, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia Santafé de Bogotá. A.A. No 7495.

Rica, no solo cuando se comparan las regiones de páramo, sino también cuando se analiza la composición florística de los bosques "Andinos" y "Subandinos". Muchos géneros hasta hace pocos años desconocidos en Sudamérica como *Chione* de las Rubiaceas (Murillo & Lozano, 1989); *Alfaroa* de las Juglandaceae (Lozano, Hernandez & Espinal, 1982) y más recientemente *Oreomunnea* de esta misma familia (Lozano, Gonzalez & Ruiz, 1994) ratifican con este nuevo registro, la estrecha relación existente entre la flora de estos dos países, a pesar de la distribución discontinua que aún hoy se encuentra.

Con la descripción de la nueva especie propuesta a continuación, se agrega una familia más de plantas, a la gran diversidad que presenta la flora colombiana, considerada por muchos especialistas como la segunda más rica del mundo.

Matudaea colombiana G. Lozano-C., sp. nov. (figura 1)

Tipo: COLOMBIA: Departamento de Cundinamarca, Guaduas, vereda La Campeona, camino La Cabaña-Cordillera Montefrío-Chaguani, Alt. 1700 msnm., nov 1986, E. Linares 1647, fl (Holótipo e Isótipo COL)

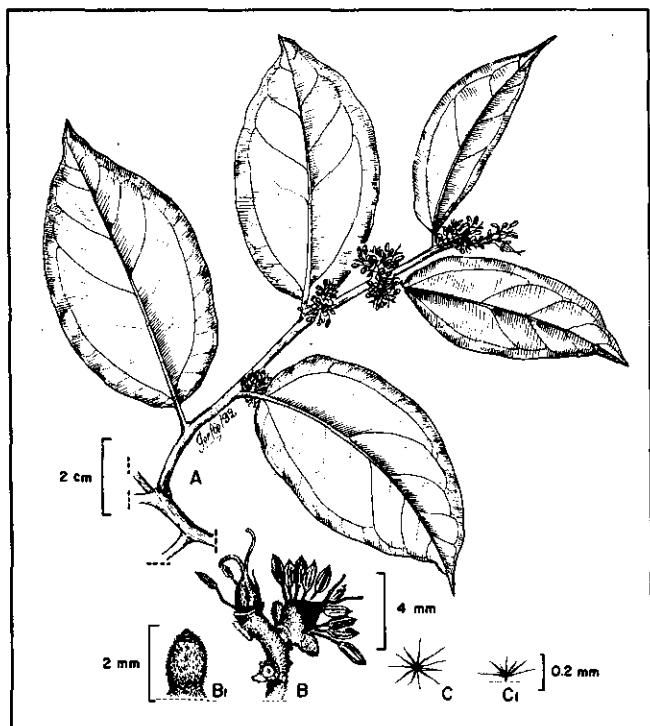


Figura 1. *Matudaea colombiana* Lozano-C. A, ramilla florífera; BI, botón floral; B, segmento del dicasio mostrando las estructuras florales; C y CI, tricomas escuamiformes.

Arbol 8m. alta, squamata, stipulae lineares, deciduae, 0.6cm longi. Lamina coriacea, ovata, 6.8 cm longa x 3.4cm lata, basi rotundata, apice obtusa. Inflorescencia cymosa, 8-9 floris. Calyx ca. 3mm longus; stamina 10. Ovarium 2 loculare, loculis uniovulatis, styli 2, ca. 3mm longi.

Arbol 8 m altura, ramillas teretes, en las jóvenes tapadas totalmente por indumento constituido por tricomas escuamiformes; entrenudos 1.0-2.7 (M=1.9, N=10) cm longitud x 0.3 cm en diámetro. Estípulas linear agudas 0.6cm longitud, recubierta dorsalmente por indumento escuamiforme, tempranamente caducas. Hojas alternas pecioladas, pecíolos abaxialmente convexos, adaxialmente canaliculados, revestidos completamente por pelos escuamiformes, 0.6-1.0cm longitud (M=0.78 cm, N=10) x 0.1 cm en diámetro; lámina foliar ovada, en las ramillas jóvenes recubiertas totalmente por indumento color gamuza, caduco; hojas adultas 6.0-7.8 (M6.8, N=20) cm longitud x 2.4-3.8 (M=3.4, N=20) cm altitud, base redondeada levemente asimétrica, ápice obtuso, venación camptódroma con 2 venas que se diferencian tempranamente dando la apariencia de una hoja trinervia, sin embargo hay cerca de 10 nervios secundarios por lado. Haz de las hojas adultas glabro con la excepción de las nervaduras en las cuales permanece el indumento, envés con tricomas esparcidos siendo más abundante sobre las nervaduras; retículo realizado principalmente por la superficie abaxial.

Antocaulos cortos axilares, cimas generalmente dicasiales, raro monocasial, 8-9 flores sésiles, 1.0-1.2 cm longitud; brácteas florales estrechamente ovadas ca. 2mm longitud, recubiertas en la superficie dorsal con tricomas escuamiformes. Cáliz rompiéndose circuncísilmente durante la antesis, lobos irregulares, caducos dejando una especie de disco en la base del ovario, ca. 3mm longitud, los lobos llevan trazas vasculares longitudinales más oscuras y la superficie dorsal se encuentra recubierta por tricomas escuamiformes. Estambres 10 distribuidos en dos verticilos, filamentos filiformes generalmente glabros o con tricomas muy esparcidos al menos en la parte basal, 4mm de longitud con el conectivo prolongado en ca. 1mm longitud, revestidas por indumento escuamiforme y con dehiscencia longitudinal. Ovario bilocular, ovado bilobado, tomentoso, con cinco costillas longitudinales, indumento de tricomas escuamiformes, ca. 3mm longitud, recubiertos por los pelos escuamiformes del mismo color, ventralmente estigmático de color negro en material seco y con apariencia papilosa; carpelo dos, con un rudimento seminal por lóculo, placentación axilar apical. Fruto inmaduro elíptico, 0.7cm longitud x 0.4 cm diámetro, con los dos estilos persistentes, revestido completamente de tricomas escuamiformes. Semilla no observada.

Material adicional : Cundinamarca, Guaduas, vereda La Campeona, camino La Cabaña-Cordillera Montefrio-Chaguani, *E. Linares* 1638, 1649, fl (COL).

Nombre vernáculo : Se conoce en la región con el nombre de "Encenillo", este nombre también es asignado a las especies del género *Weinmannia* de la familia de las Cunoniáceas.

Gracias a la colaboración del Dr. **A. H. Gentry** (q. e. p. d.) quien me envió un fragmento de una colección de México (6km E. de Nanchititla, 30 km de Tejupilco, *D. Neill* 5368) y al Dr. **A. Cleef**, quien facilitó unas hojas de un espécimen de Costa Rica (El Empalme, carretera Interamericana Sur, Provincia de San José., *Poveda* 387) he podido observar material de referencia de *M. trinervia* Lundell, encontrado que las ramillas de esta especie son muy delgadas; las hojas de la colección procedente de Costa Rica muestran claramente una hoja trinervada elíptica, muy asimétrica en la base (8.4 cm long. X 1.7cm alt.), el retículo muy marcado por el envés, con indumento muy esparcido de tricomas muy pequeños escumiformes, el pecíolo más largo y delgado ; la coloración en seco es marrón, diferente al material colombiano que es verde oliva.

El material procedente de México en cuanto a la forma y coloración es muy similar al de Costa Rica ; sin embargo la nerviación es camptódroma con más de dos venas secundarias. Flores únicamente presenta el material de México, y no es posible apreciar a simple vista el pistilo por el número de estambres, coincidiendo con lo ilustrado en la figura 13A del trabajo de **Boyle** (1970) ; además del mayor número de estambres las diferencias observadas están : en los filamentos más cortos y laminares (ca. 0.2cm long.) ; anteras ligeramente más largas y los sacos polínicos más marcados (ca. 0.26cm longitud) ; apículo menos pronunciado ; ovario más pequeño (ca. 0.1 cm long) ; estilos más largos (ca. 0.53cm long.) ; indumento menos abundante, más corto y los tricomas con menos ramificaciones en relación con *M. colombiana* ; lo

cual nos ha llevado proponer la población suramericana como una nueva especie.

Matudaea colombiana crece en el bosque Subandino a una altura de 1700 msnm. asociado con elementos arbóreos como *Styloceras laurifolius* HBK., *Retrophyllum rospigliosis* (Pilg.) Page, *Ladenbergia magnifolia* (R. & P.) Cham., *Ochoteranaea colombiana* Barkley, *Banara guianensis* Aublet, *Pouteria multiflora* (A.DC.) Eyma, *Metteniusa cundinamercensis* Lozano-C. en el Municipio de Guaduas en el Departamento de Cundinamarca.

Agradecimientos

A los profesores E. Linares por herborizar y facilitar el material botánico y a N. C. Garzón por la lectura y sugerencias al manuscrito ; al señor G. López por la realización del dibujo que ilustra esta especie.

Bibliografía

- Bogle, A. L.** 1970 : Floral morphology and vacular anatomy of the Hamamelidaceae : The apetalous genera of Hamamelidoideae. *J. Arnold Arb.* **51**(3) :310-366.
- Gentry, A. H.** 1993. Woody Plants of Northwest South America. 990 pp. Conservación Internacional, Washington DC.
- Lozano-C., G., J. Hernandez & N. Ruiz** 1994. Hallazgo de *Oreomunnea* (Juglandaceae) en Suramérica y descripción de una especie nueva de Colombia. *Anales J. Bot. Madr.* **52**(1) :13-19.
- Lozano-C., G., J. Hernandez & S. Espinal** 1981. *Studia Plantarum Colombiae*. Mutisia 49 :1-7.
- Lundell, C. L.** 1940. Three Noteworthy New Plants from Southern Mexico. *Lloydia* **3**(3) :209-212.
- 1961. *Plantae Mayanae-IV*. New Species, nomenclatural changes, and New Record for trees and shrubs of Mexico and Central America. *Wrightia* **3**(1) :1-5.
- Murillo, M. T. & G. Lozano-C.** 1989. Hacia la realización de una florula del Parque Nacional natural Islas de Gorgona y Gorgonilla Cauca-Colombia. *Rev. Acad.Colomb. Ci. Exact.* **17**(65) :277-304.
- Ulloa, U. C. & P. M. Jorgensen** 1993. Árboles y arbustos de los Andes del Ecuador. AAU Reports 30, AARHUS University Press, Risskov.

LOS MANGLARES DEL CARIBE COLOMBIANO: SÍNTESIS DE SU CONOCIMIENTO

por

Ricardo Alvarez-León* & Jaime Polanía**

Resumen

Alvarez-León, R., & J. Polanía: Los manglares del Caribe colombiano: síntesis de su conocimiento. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 447-464. 1996. ISSN 0370-3908

Se presenta una síntesis actualizada del estado del conocimiento relativo a los manglares del Caribe colombiano y de las características ambientales (naturales y antrópicas) que regulan su desarrollo. La importancia de dichos ecosistemas se compara con su productividad y con su relación con las pesquerías. Se hace referencia a los micro y macroorganismos (anfibios y acuáticos) que habitan el ecosistema, se trata la utilización forestal, medicinal, artesanal e industrial del manglar y de los recursos que genera, así como su importancia para el desarrollo de la camaronicultura. Se discuten los factores que afectan los procesos biológicos en el ecosistema, así como algunas acciones mitigantes implementadas, aspectos legislativos y las particularidades del manejo del ecosistema.

Palabras claves: Manglar, Caribe, Colombia, Parámetros ambientales, Productividad, Pesca, Fauna, Camaronicultura, Manejo.

Abstract

This paper summarizes the up-dated available knowledge about the mangroves of the Colombian Caribbean and the environmental (natural and antropogenic) characteristics that rule its development. The importance of such ecosystem is analized in terms of productivity and its relation to fisheries. The paper refers also to the (amphibians and aquatic) micro- and macroorganisms that inhabit the ecosystem, presents the actual uses in forestry, medicin, handicrafts and industry and of their resources, as well as its importance for shrimp-farming development. The stressors that affect biological processes of the ecosystem, as well as some relief activities applied, legislative aspects and the management peculiarities in this ecosystem are discussed.

Key words: Mangrove, Caribbean, Colombia, Environmental parameters, Productivity, Fisheries, Fauna, Shrimp culture, Management.

* Proy. MMA/OIMT. Apartado Aéreo 27770. Santafé de Bogotá D.C. Colombia.

** COLCIENCIAS. Apartado Aéreo 52908. Santafé de Bogotá D.C. Colombia.

1. Introducción

La importancia de los manglares es conocida, aunque su conservación y aprovechamiento sostenible son raramente objetivos de planificación, ordenación, manejo y desarrollo en la zona costera caribe de Colombia. El conocimiento científico detallado y las variaciones específicas dentro del ecosistema son aún incompletas, en razón de que es típico de zonas de interacción entre el mar, la tierra, el aire y las aguas continentales. En el presente trabajo se presentarán los rasgos característicos de los manglares del Caribe colombiano, aspectos del empleo que se les ha dado y se les da en la actualidad.

2. Aspectos biofísicos.

2.1. Especies.

Las especies arbóreas registradas en el litoral Caribe, incluidas las áreas insulares de San Andrés y Providencia, se presentan en el cuadro 1.

2.2 Geografía

Colombia comparte con otros 27 países las características de la cuenca y el litoral sur del Caribe, al noreste de Suramérica. La línea de 1.600 km de costa se extiende desde los 11°51' N y 71°20' W (Castilletes) hasta los 9°50' N y 77°21' W (Cabo Tiburón) (Fig. 1). Además, frente a Centroamérica, en el Caribe occidental, se sitúa el archipiélago de San Andrés y Providencia, compuesto por tres islas y numerosos cayos y bajos que suman en conjunto unos 70 km² de tierra firme y, en su Zona Económica Exclusiva, 288.000 km² de aguas marinas y submarinas (Alvarez-León, 1989).

Cuadro 1. Especies arbóreas que conforman los manglares del Caribe colombiano y sus nombres vernaculares.

Especie	Nombre vernacular
<i>Avicennia germinans</i> Stearns	Mangle negro, m.prieto, m.iguanero, m.salado
<i>Conocarpus erecta</i> L.	Mangle zaragoza, m.botón
<i>Laguncularia racemosa</i> Gaertn. f.	Mangle blanco, m.amarillo, m.bobo
<i>Pelliciera rhizophorae</i> Tr. & Pl.	Mangle piñuelo
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangle rojo, m.concha de caimán, red mangrove

La plataforma continental del Caribe colombiano tiene un área aproximada de 387,5 km² (Munro, 1977), cuyas diferencias morfológicas y caracterización, establecidas por Cuignon *et al.* (1985) y Vernet (1985), aparecen en el cuadro 2. Los patrones de sedimentación actual son variados debido a las tres zonas de depositación terrígena, dos biogénicas y la dispersión de los sedimentos orientada por las corrientes oceánicas, el caudal de los ríos y la deriva litoral (Cuignon *et al.*, 1985).

En el archipiélago de San Andrés y Providencia se observan algunas diferencias en cuanto a las unidades geológicas y morfológicas. Así, mientras en la isla de San Andrés se reconocen tres unidades (Geister, 1972), en las islas de Providencia y Santa Catalina se diferencia una sucesión de rocas volcánicas (Pagnaco y Radelli, 1962) con sedimentos biológicos y marinos intercalados.

Cuadro 2. Caracterización general del litoral y la plataforma continental del Caribe colombiano (según Cuignon *et al.*, 1985 y Vernet, 1985).

AREAS	CLIMA	TIPO DE SEDIMENTACION	FACIES	APORTES CONTINENTALES
Guajira (NE Cabo de la Vela)	Árido semidesértico	Terrígena	Lodo-lodos acuosos	Ninguno
Guajira (SW Cabo de la Vela)	Árido semidesértico	Biogénica	Algas calcáreas	Ninguno
Magdalena	Tropical seco	Terrígena	Arena-lodos acuosos	Muy importantes
Cartagena (hasta Isla Fuerte)	Tropical seco	Biogénica-terrígena	Coralina biolitolítica	Medianos
Sinú-Darién	Tropical húmedo	Terrígena	Lodos	Importantes

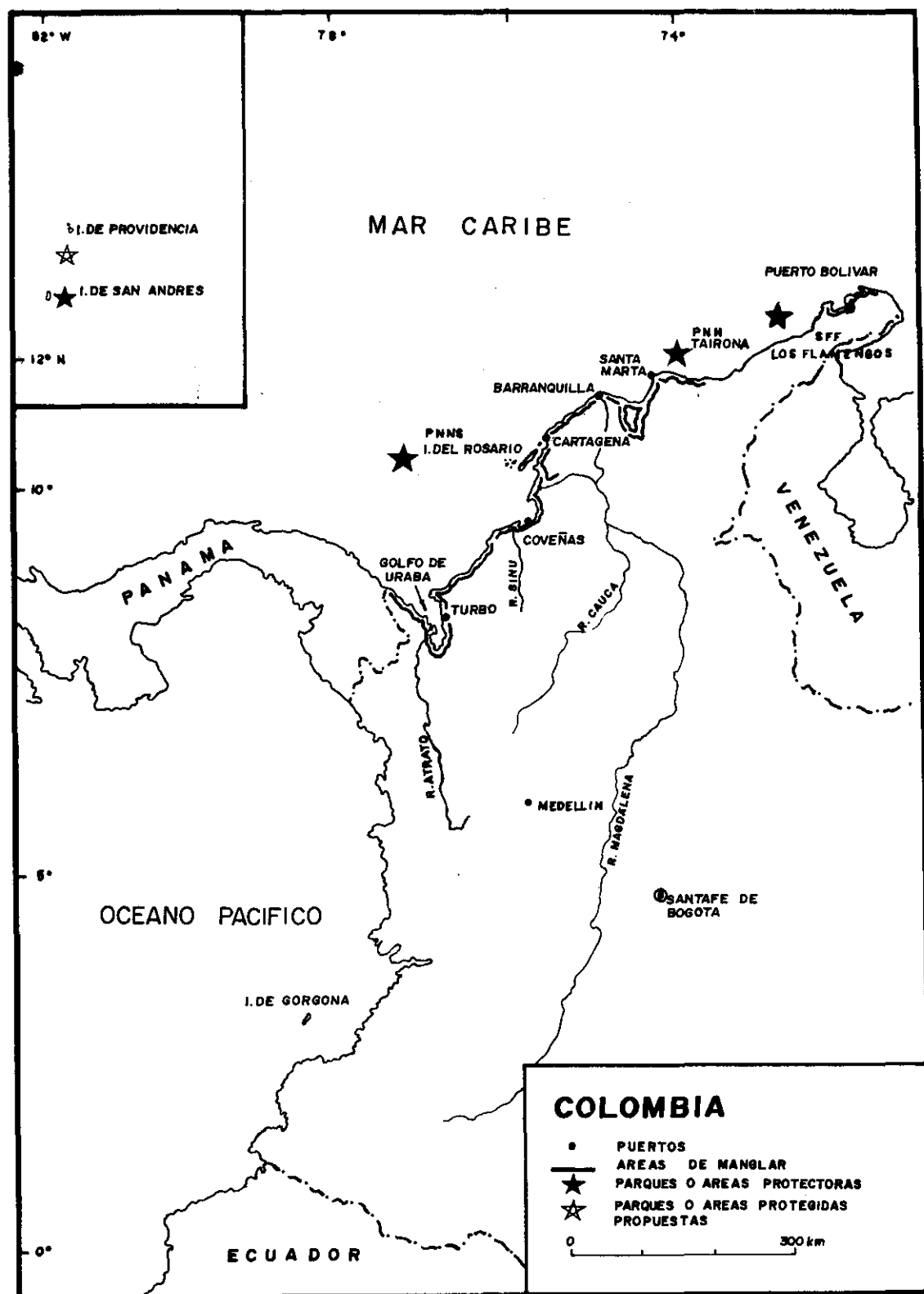


Fig. 1. Caribe Colombiano: zonas de manglar, áreas protegidas existentes y en proyecto.

La morfología costera, así como la vegetación típica en cada caso, permiten establecer los siguientes sectores en el Caribe colombiano: (1) Guajira (Castilletes - Río Palomino), (2) Magdalena (Río Palomino - Río Córdoba), (3) Magdalena - Atlántico (Río Córdoba - Punta Comisario), (4) Bolívar - Sucre (Punta Comisario - Punta La Garita), (5) Sucre - Córdoba - Antioquia (Punta La Garita - Punta Arboletes), (6) Antioquia - Chocó (Punta Arboletes - Cabo Tiburón), (7) San Andrés y Providencia (islas, cayos, bajos) (Alvarez-León, 1986).

2.3 Clima e hidrografía.

Bula-Meyer (1985) propone cuatro estaciones climáticas principales, con variaciones de tipo local, cuyo orden cronológico y características aparecen resumidas en el cuadro 3.

Los ríos que vierten sus aguas al Caribe colombiano influyen en mayor o menor medida sobre la circulación costera y el aporte de sólidos en suspensión, de acuerdo con su carga y estacionalidad (Fig. 1). Los ríos Magdalena, con un flujo promedio de $6.986 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, Atrato con $4.155 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y Sinú con $407 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, son los que más influencia

Cuadro 3. Estaciones y características del clima en el Caribe colombiano (según Bula-Meyer, 1985).

ESTACIÓN	EPOCA	ALISIOS	LLUVIAS
Seca mayor	dic. - abr.	Gran velocidad	Ausentes o excepcionales
Lluviosa menor	may. - jun.	Remplazados por vientos del SW	Presentes
Seca menor	jun. - ago.	Dominantes	Raras
Lluviosa mayor	sep. - nov.	Suaves y cortos o vientos SW o calmas	Frecuentes

tienen, aunque existen por lo menos 17 más (Fundación con 58 $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$, Don Diego 33, Palomino 27, Tucurínca 23, Ancho 16, Tapias 15, Aracataca 15, Guachaca 14, Ranchería 14, Sevilla 13, Frio 12, San Juan 5, Mulatos 4, Piedras 4, Orihueca 3, Manzanares 1, Pechelín 1) que desembocan al Caribe directamente o a través de ciénagas o lagunas costeras y bahías (Marín, 1986). Sin embargo la desembocadura del río Magdalena delimita dos grandes zonas, tal como aparecen en el cuadro 4.

Cuadro 4. Características diferenciales del Caribe colombiano al SO y NO de la desembocadura del río Magdalena (según Alvarez-León, 1993).

CARACTERISTICA	ZONA SUROESTE	ZONA NORESTE
Plataforma continental	Ancha	Angosta
Topografía costera	Plana, con pequeñas elevaciones	Abrupta, con elevaciones superiores a 5.800 m
Surgencia	No hay	Estacional muy fuerte, con varios focos de intensidad variable
Precipitación	Media (> 650 mm en promedio)	Baja (250 mm en promedio)
Ríos	Desembocan los tres más importantes y caudalosos	Sin ríos caudalosos, algunos son estacionales
Clima	Semiárido-semihúmedo	Árido
Temperatura del agua	Típicamente tropical y cálida (>28°C promedio anual) poca variación estacional	Más fría (27°C promedio anual), amplias variaciones, cambios drásticos
Salinidad del agua	Salobre (<35 ‰ promedio anual)	Aguas oceánicas (>36 ‰ promedio anual)
Turbidez	Aguas claras, fuertes corrientes de turbidez	Aguas claras todo el año
Arrecifes coralinos	Bien desarrollados en extensión y profundidad hasta los 50 m	Poco desarrollados, restringidos hasta los 25 - 30 m
Fanerógamas marinas	Praderas poco desarrolladas pero ampliamente distribuidas y asociadas a los arrecifes y manglares	Praderas bien desarrolladas pero reducidas en su distribución, asociadas a los arrecifes y manglares

El litoral continental e insular del Caribe colombiano posee depresiones o accidentes costeros originados, según **Lankford (1977)**, por erosión diferencial, sedimentación diferencial terrígena a partir de barreras de origen orgánico, y por procesos volcánicos o tectónicos. En cada clase existen tipos que varían de acuerdo con las condiciones locales. En el cuadro 5 aparece el número de bahías, estuarios y lagunas costeras, originados en la parte continental por los valles intermontanos (Cuenca Andino-Caribe) y en el área insular por la génesis geológica, con relación a la extensión litoral de los nueve departamentos. Los estuarios corresponden a las desembocaduras de los tres ríos Magdalena (departamentos del Atlántico y Magdalena), Sinú (departamento de Córdoba) y Atrato (departamento de Antioquia).

Cuadro 5. Distribución de accidentes costeros y extensión del litoral en los diferentes departamentos del Caribe colombiano (según **Álvarez-León, 1989**).

Departamento	Línea de costa (km)	Bahías	Estuarios	Lagunas
Guajira	584,10	4	-	13
Magdalena	196,91	11	1	12
Atlántico	54,01	-	1	8
Bolívar	162,96	2	-	8
Sucre	133,22	1	-	7
Córdoba	131,45	1	1	4
Antioquia	269,66	7	1	4
Chocó	66,93	5	-	2
San Andrés y Providencia	-	8	-	1

La importancia de estos accidentes costeros radica en la cantidad de energía que pueden generar y exportar a través de las corrientes de marea, así como en los tipos de organismos que soportan: (a) especies endémicas confinadas o residentes; (b) especies que llegan desde el mar; (c) especies que pueden migrar del mar hacia el agua dulce o de ésta hacia el mar (**Lasserre, 1979**).

Las áreas de manglar suman 1.898 km², distribuidos a lo largo de los 1.600 km de litoral en la parte continental y 70 km² aproximados en las islas (**Winograd, 1987**). Los manglares ocupan pequeñas superficies discontinuas en las islas, costas desérticas de la Guajira, rocosas del Chocó, ensenadas del Parque Tayrona, bahía de Cartagena y los Golfos de Morrosquillo y Urabá.

Los bosques más extensos y desarrollados se encuentran asociados a los tres deltas y estuarios de los grandes ríos: Ciénaga Grande de Santa Marta (550 km²), bahía de Barbacoas - Canal del Dique (130 km²), bahía de Cispata - río Sinú (79 km²; **Olaya et al., 1991**) y delta del río Atrato (100 km²) (**Winograd, 1987**) (Fig.1).

De acuerdo con la clasificación zoogeográfica de regiones naturales de **Sclater y Wallace**, el Caribe colombiano pertenece a la Región Neotropical y al Dominio Caribe, en el cual se reconocen tres provincias: (a) Guajira (departamentos de Guajira a Córdoba), (b) Pacífica (departamentos Córdoba a Chocó) y (c) Caribe (departamento San Andrés y Providencia) (**Cabrera y Willink, 1973**). Asimismo, la vegetación de la planicie costera está representada por algunas comunidades perfectamente diferenciables entre sí y que representan las condiciones edáficas y climatológicas locales (**Dugand, 1973**).

Según el sistema de clasificación artificial de **Holdridge**, la planicie costera de la Guajira y el Magdalena corresponde al Bosque muy Seco Tropical (BmST), el del Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquia (excepto el Golfo de Urabá) al Bosque Seco Tropical (BST) y el de Antioquia y Chocó al Bosque muy Húmedo Tropical (BmHT).

Existen numerosos estudios y literatura gris sobre las características fundamentales de los manglares del Caribe colombiano (**Álvarez-León, 1984b, 1984c**), pero aún no se dispone de información detallada sobre varias áreas geográficas ni de pautas de aprovechamiento integral y sostenido de los bienes y servicios que ofrecen.

3. Zonación y productividad

3.1 Zonación

La zonación de los manglares del Caribe colombiano no es homogénea. La descarga de los ríos, la precipitación (< 1000 mm/año) y la amplitud de marea (excepcionalmente > de 60 cm) constituyen limitantes para su desarrollo. De hecho estas condiciones favorecen la formación de salitrales e incluso hay regiones, como las islas del Rosario, las de San Bernardo, San Andrés y el Parque Tayrona, donde los manglares dependen de aportes alóctonos, pues los terrestres son mínimos.

La respuesta diferencial a la salinidad de las especies que forman los manglares, puede reflejar cierta zonación a partir del borde del agua y hacia el interior, con las expresiones estructurales correspondientes (**Winograd, 1987**). Es probable que la salinización del suelo condi-

cione la zonación que se observa en ciertos manglares del Caribe colombiano (Prah, 1989), por lo cual no es posible destacar un patrón típico (Álvarez-León, 1985; Araújo y Polanía, 1985), como sí ha sido registrado en otras latitudes. En la figura 2 es posible apreciar seis de los diferentes perfiles estudiados en la región, siendo más frecuentes los bosques mixtos que los rodales puros.

Es posible reconocer en los bosques salados del Caribe tres de los tipos fisiográficos propuestos por Lugo y Snedaker (1974): ribereños, de borde-islole y de cuenca. El porte no suele superar los 20 - 25 m y en general el manglar se da en franjas estrechas achaparradas e inundables. En los deltas de los ríos Magdalena, Sinú y Atrato, sin embargo, los aportes de agua dulce y nutrimentos permiten que su desarrollo dependa menos del régimen de vientos, la precipitación o las mareas salobres.

3.2 Productividad

En el cuadro 6 se muestran datos de evaluaciones preliminares de producción de materia orgánica en dos áreas influidas por las descargas del río Magdalena: Ciénaga Grande de Santa Marta y ciénaga de Cocoliso (Islas del Rosario). En el primer caso los manglares están sometidos a aridez, salinidad y dinámica hídrica, mientras en el segundo la pesca, el turismo y el urbanismo comienzan a afectar el ecosistema. Sin embargo se requiere la investigación de los flujos de energía *in situ* para determinar las interrupciones que están afectando el ciclo de nutrimentos del sistema.

4. Flora y fauna asociadas

Si bien los manglares son refugio y brindan alimento a gran cantidad de organismos aéreos, terrestres y acuáticos, sólo se señalarán aquí los anfibios y acuáticos asociados a las raíces fúlcneas de *R. mangle* y neumatóforos de *A. germinans*. Como se observa en el cuadro 7, las áreas que más información registran son las del suroeste de la desembocadura del río Magdalena, fundamentalmente porque ciertos organismos bentónicos prefieren formar piñas o asociaciones sobre las raíces del mangle rojo.

Para la literatura aquí citada consultar Álvarez-León (1984b). 1: Perdomo, 1971; 2: Cosel, 1973; 3: Henning y Klaassen, 1973; 4: Wedler, 1973; 5: Mosquera y Bernal, 1975; 6: Pérez y Victoria, 1977; 7: Rodríguez, 1977; 8: Salazar y Ramírez, 1977; 9: Bula y Schnetter, 1978; 10: Sánchez y Campos, 1978; 11: Cifuentes, 1980; 12: Quirós y Vernet, 1980; 13: Dueñas, 1981; 14: Lemaitre, 1981; 15: Salazar, 1982; 16: Kapraun *et al.*, 1983; 17: Witermam, Kilian y Kilian, 1983; 18: Álvarez-León, 1984d; 19: Jácome, 1984; 20: Álvarez-León, 1985; 21: Dueñas, 1985; 22: Cosel, 1986; 23: Lozada y Parada, 1986; 24: Yong y Campos, 1988.

Al noreste se observa una amplia variedad: en Ciénaga Grande, donde los organismos bentónicos prefieren asociarse a bancos de fondo de *Crassostrea rhizophorae*, observándose un muy bajo porcentaje de fijación en las raíces del mangle rojo; y en la laguna sur de Chengue, donde los organismos, cerca de la boca de comunicación en el mar, se fijan a las raíces del mangle rojo. En el inte-

Cuadro 6. Productividad primaria neta ($\text{tm ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) de manglares en tres lugares del Caribe colombiano: Ciénaga Grande de Santa Marta (Mag.), ciénaga de Cocoliso (Bol.), delta de Cispata (Cord.) (según Álvarez-León, 1993).

LUGAR	PRODUCTIVIDAD NETA ($\text{tm ha}^{-1} \text{año}^{-1}$)	ESPECIES	FUENTE
Ciénaga Grande	68,72 (15,7 peso seco)	<i>R. mangle</i>	Zamorano (1983)
	28,84	<i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i>	Ochoa <i>et al.</i> (1988)
	31,81 (9,12 peso seco)	<i>A. germinans</i> , <i>C. erectus</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i>	Hernández-Camacho <i>et al.</i> (1980)
Ciénaga de Cocoliso	4,00	<i>R. mangle</i>	González <i>et al.</i> (1992)
	23,26	<i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i>	Quintero <i>et al.</i> (1990)
Delta de Cispata	13,7-19,3 (peso seco)	<i>A. germinans</i> , <i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i> ; <i>P. rhizophorae</i>	Olaya <i>et al.</i> (1991)

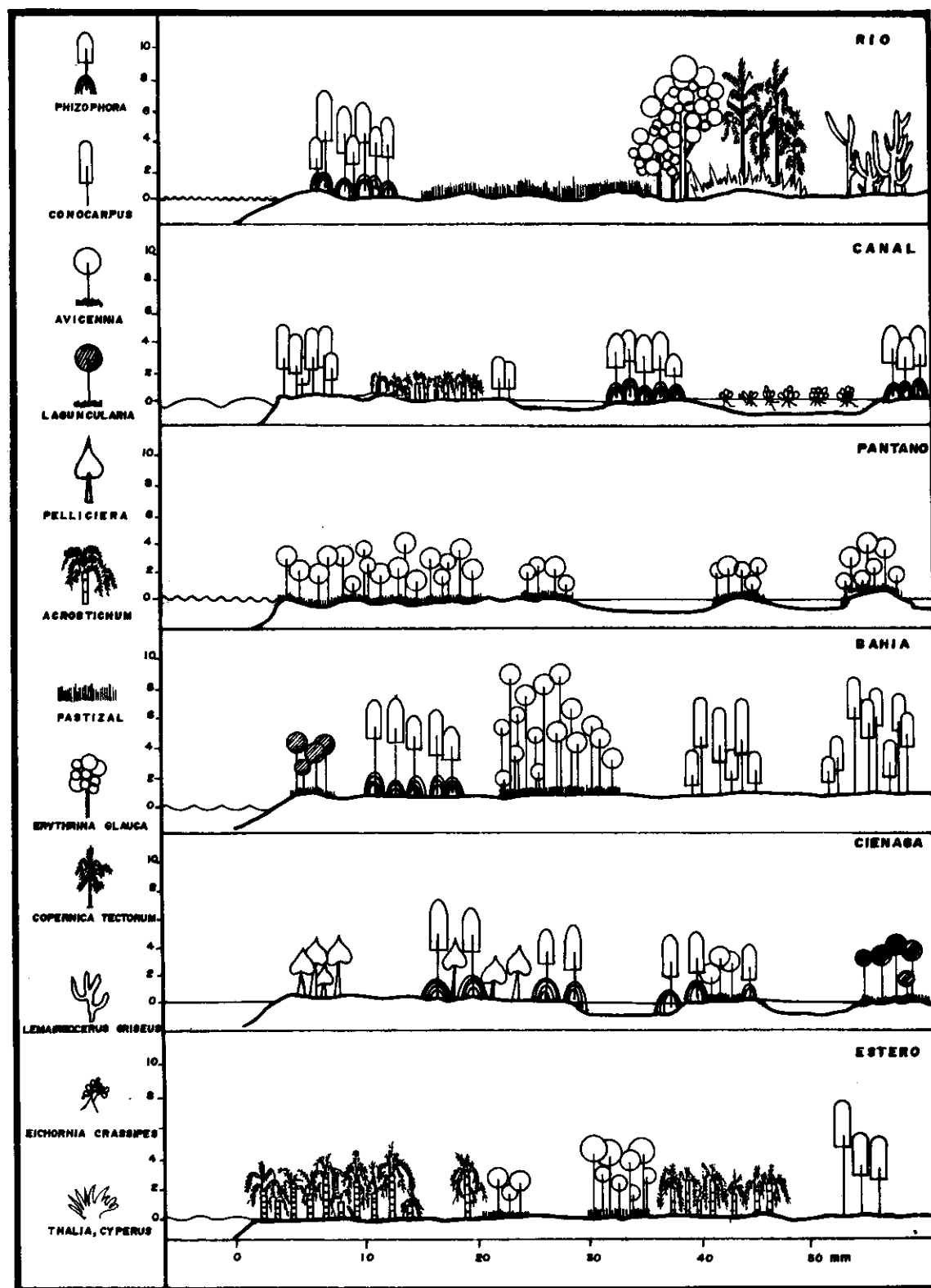


Fig. 2. Distribución horizontal de los manglares en seis hábitats diferentes del Caribe colombiano.

Cuadro 7. Taxones asociados con las raíces de mangle en A: bahía de Cispatá; B: ciénaga de los Vásquez; C: bahía de Barbacoas; D: bahía de Cartagena; E: ciénaga de Cocoliso; F: ciénaga de la Virgen; G: ciénaga Grande de Santa Marta; H: bahía y laguna sur de Chengue; I: bahía de Nenguange.

TAXONES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Fuente
CYANOPHYTA (2 familias, 41 especies)				x						12
CHLOROPHYTA (6 familias, 11 especies)				x						12
PHAEOPHYTA (2 familias, 3especies)				x						12
RHODOPHYTA (7 familias, 17 especies)				x			x			9,10, 12, 16
FORAMINIFERA (5 especies)						x				23
PORIFERA (4 familias, 6 especies)							x			11, 17
COELENTERATA (3 familias, 5 especies)				x			x			4, 18
POLYCHAETA (10 familias, 29 especies)		x		x		x				1,6, 10, 11, 13
MOLLUSCA										
Pelecypoda (8 familias, 15 especies)	x	x	x	x		x				1, 2, 5, 6, 8, 11, 12, 18, 22
Gasteropoda (13 familias, 33 especies)		x	x	x			x	x	x	1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 18, 22
ECHINODERMATA (4 familias, 4 especies)			x	x						6, 18
CRUSTACEA (19 familias, 68 especies)	x	x	x	x			x	x		1, 3, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 18, 19, 20, 24
CHORDATA (3 familias, 4 especies)		x	x	x						5, 6

rior de la laguna prefieren las praderas de *Thalassia* y *Halimeda* (Alvarez-León, 1984d).

Los crustáceos y moluscos predominan en número, pero otros grupos juegan también un papel de primer orden en el ecosistema. Varias evaluaciones han demostrado que ciertos grupos, además de cumplir un importante papel en la red trófica del manglar, constituyen la base fundamental para las pesquerías costeras artesanales e industriales, tanto continentales como insulares.

5. Usos del manglar.

5.1 Aspectos históricos.

Se tiene la certeza de que las áreas de manglar en el Caribe han sido utilizadas desde el período precolombino por los pobladores primigenios de las costas colombianas (Reichel-Dolmatoff, 1965). En un principio se encontraron únicamente conchales, pero a medida que se completaron las excavaciones pudo comprobarse que se mezclaban diferentes formas de explotación en mar, playas, manglares, sabanas y bosques ribereños. Los conchales fueron formados durante períodos climáticos húmedos, cuan-

do los cambios ambientales facilitaron la obtención de recursos costeros, especialmente moluscos, puesto que durante los períodos secos la población de conchas disminuye (A. Oyuela y C. Rodríguez, com. pers.).

Una vez que los asentamientos en las costas y en la desembocadura de los ríos (v.gr. Bocas de Cataca, Mag.) o en el interior de las lagunas costeras (v.gr. Buenavista, Mag.) se fueron estableciendo, la explotación de los recursos naturales, incluido el manglar, se fue haciendo más intensa y frecuente.

5.2 Construcción y usos artesanales.

Desde la Colonia se usó mangle, por su dureza, generalizadamente para construcción de viviendas, pilotaje del terreno, sostén para techos, soporte como pie de amigo (J. Covo, com. pers.), pilotes principales de sustentación, varas para el piso, paredes, techos, escaleras o andamios provisionales y las lianas (epífitas asociadas) como amarres de los palafitos.

Actualmente se emplea en casas de estilo colonial y republicano y en los palafitos de El Morro y Buenavista,

en el complejo de Ciénagas de Pajal, al noroeste de la Ciénaga Grande, y Bocas de Cataca, en la desembocadura del río Aracataca. El único mercado organizado del Caribe colombiano de varas, pilotes y postes de mangle, procedentes de Bocacerrada (Bol.) y, en casos especiales, de bahía de Cispatá (Suc.) o de bahía Colombia (Ant.), existe en Cartagena (Bol.).

La pesca, que originalmente se realizaba con flecha y arpón, fue practicada con redes preservadas con taninos obtenidos de la corteza del mangle rojo. Aunque ahora las redes de nylon no requieren de este proceso, actualmente el tanino se emplea para proteger las cuerdas de curricán en faenas de pesca artesanal de especies pelágico-costeras (Koster *et al.*, 1979).

El uso específico del mangle rojo, debido a su dureza, alto poder calórico y cantidad reducida de cenizas y humo, se hizo masivo e indiscriminado, primero como leña y luego para fabricar carbón vegetal.

En la farmacopea popular fueron usadas profusamente *A. germinans* y *R. mangle* (Pérez-Arbeláez, 1974). La goma resina de *Avicennia* era considerada eficaz para curar las dolencias y enfermedades del pecho, y las infusiones de la corteza (entera o pulverizada) de *Rhizophora* han sido usadas como febrífugo, antidiarréico y contra flujos y hemorragias. Además, se le atribuyeron propiedades terapéuticas en casos de elefantiasis, lepra y tuberculosis.

Otros usos frecuentes del mangle han sido: postes impermeabilizados con brea para tendidos eléctricos y telefónicos (recientemente reemplazados por concreto); varas para impulsar las embarcaciones en áreas bajas de las lagunas costeras, cuando se carece de motor o el peso transportado hace inefficientes los remos; pilotes alineados y apuntados para protección de riberas en caños y cauces artificiales; y varas y varetas para amarrar y sostener las plantas de banano.

5.3 Explotación industrial de productos forestales.

El Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovable y del Ambiente (INDERENA) permitió la explotación comercial en dos áreas del delta del Magdalena: Ciénaga Grande de Santa Marta y Canal del Dique.

En las áreas concedidas se aplicó la tala rasa y la entresaca en franjas alternas de 600 x 100 m por turnos de corta de 30 años (métodos utilizados en países asiáticos y parcialmente en Venezuela) para producir madera prensada - a partir de la molienda de varas, trozas y residuos

leñosos y la adición de aglutinantes -, así como carbón activado.

Sin embargo, INDERENA suspendió indefinidamente las concesiones debido a la deficiente recuperación de las áreas explotadas, causada por el clima y la competencia del helecho heliófilo *Acrostichum aureum* L. El Instituto se propuso introducir cambios en las prácticas y ejecutar investigación de regeneración de las especies, análisis de mercado y fuentes alternativas de maderas, etc. (Hernández-Camacho *et al.*, 1978). En la actualidad sólo se explotan artesanalmente varas, pilotes, leña y carbón (Olaya *et al.*, 1991).

5.4 Camaronicultura.

La camaronicultura ha evolucionado rápidamente, pese al escepticismo inicial. Existe la posibilidad de extracción sostenida de especies marinas (*Penaeus duorarum*, *P. brasiliensis*, *P. subtilis*, *P. schmitti*, *Xiphopenaeus kroyeri*), de río (*Macrobrachium carcinus*, *M. acanthurus*) e insumos (*Artemia franciscana*), de aceptación nacional e internacional (Álvarez-León, 1982). De una primera exportación de 11.308 lb y US\$ 55.000 en 1984 (Álvarez-León, 1984a), se pasó en 1991 a 6.436 ton y US\$ 35'526.000, con 2.054 ha dedicadas a la actividad en el Caribe (Perdomo, 1991; Weidner, 1992).

El desarrollo se debe parcialmente a la introducción de técnicas de manejo y al control de parámetros físico-químicos, la incorporación de ciertas especies producidas totalmente en el país, la producción de larvas, el empleo adecuado del agua en las dos épocas dominantes del año y la adecuación de tecnología importada (ecuatoriana, francesa, norteamericana, taiwanesa).

Los camaronicultores han basado su producción en especies marinas nativas *Penaeus californiensis*, *P. stylirostris*, *P. vannamei* (del Pacífico colombiano, panameño y nicaragüense) y una especie dulceacuícola del Pacífico asiático (*Macrobrachium rosenbergii*).

Sólo para adecuar los estanques han sido transformadas 2.054 ha de manglares, salitrales y pantanos (Fig. 3). Aunque los efectos no han sido evaluados, se conocen los impactos que la actividad ocasiona sobre los ecosistemas. Recientemente han sido iniciadas evaluaciones de rendimiento (que aprovecha la riqueza de las aguas), de policultivos, de control de parámetros abióticos, de la fabricación nacional de suplementos alimenticios, de manejo de la carcinopatología, de problemas de predación (peces, aves, reptiles), de competencia (callinásidos, portúnidos) y del impacto ambiental que ocasiona la acti-

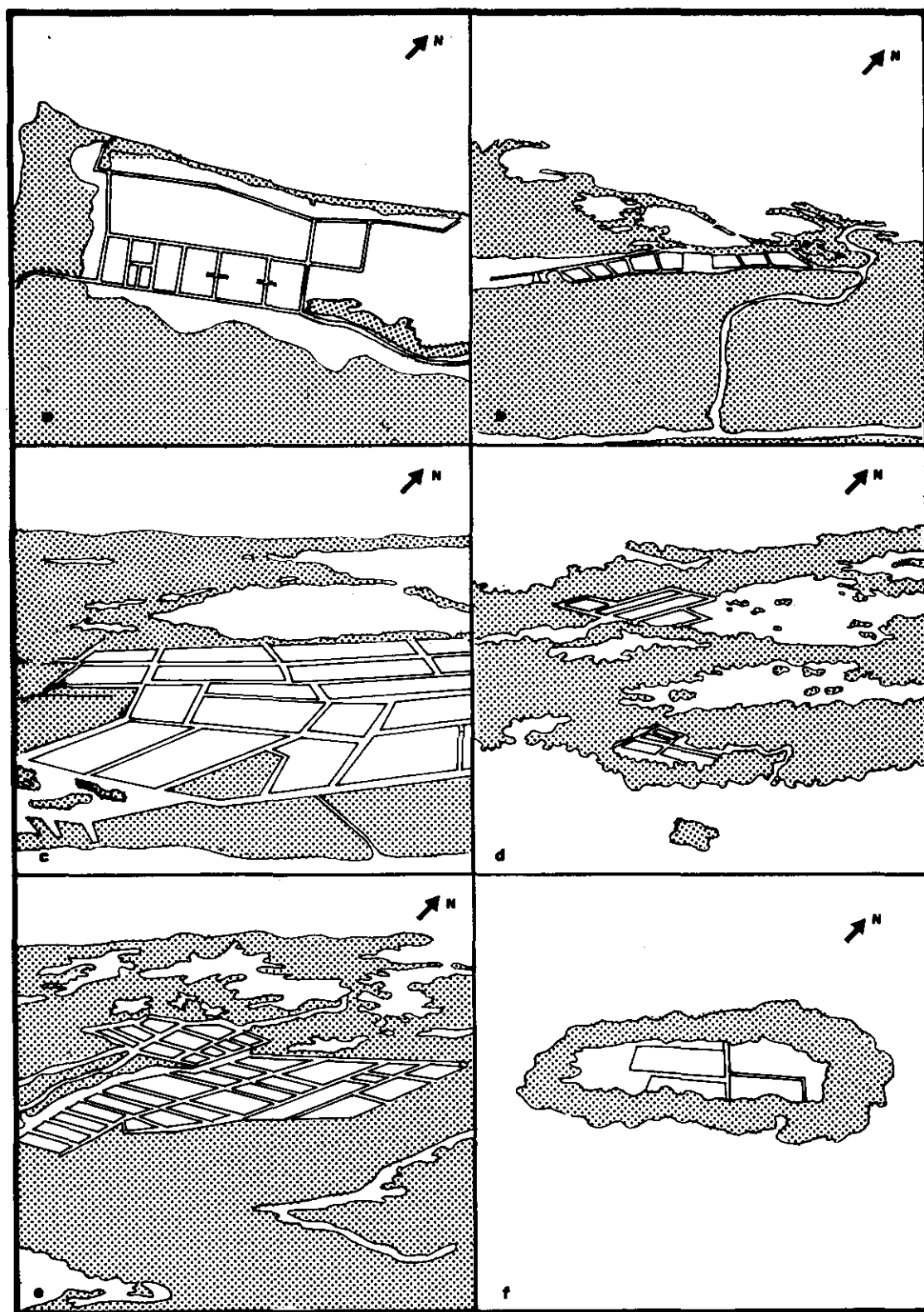


Fig. 3. Utilización de las áreas costeras para proyectos de: (a) Extracción de sal marina, (b-e) Cultivo de camarones, (f) Criadero de peces.

vidad. Con base en las declaraciones de efecto ambiental, elINDERENA autoriza o no el establecimiento y funcionamiento de granjas.

5.5. Pesca costera.

Un alto porcentaje de especies de moluscos, crustáceos y peces de importancia comercial capturadas tanto artesanal como industrialmente, dependen de los manglares durante toda o al menos parte de su ciclo de vida. Aunque las estadísticas de pesca suelen ser incompletas en la región, debido a que los desembarques son subestimados, la intensidad de la actividad varía entre zonas y estaciones, las capturas son desembarcadas lejos de las áreas de pesca y a que las evaluaciones de las zonas de bosque salado son parciales, es evidente, y en muchos casos cuantificable, la interrelación que existe entre capturas y extensiones de manglar (Cristensen, 1979; D'Croz y Kwiecinski, 1980).

La importancia que representan para la pesca de la región los ecosistemas de manglar se refleja en que la captura artesanal, ejercida por unos 12.000 pescadores permanentes y 8.000 ocasionales, alcanza las 11.000 toneladas¹ (Arias y Anzola, 1989); de las cuales unas 9.000 provienen de zonas estuarinas. Por otra parte, la producción pesquera total en el Caribe ascendía en 1990 a 8.150 t (2.870 t de camarones)(INDERENA, com. pers.) y el promedio de captura equivale a 95 t km⁻² (7,5 hombres/km²) (Rubio, 1988).

El potencial pesquero en las regiones insulares, oceánicas y costeras del Caribe colombiano ha sido calculado en 260.000 toneladas año⁻¹ (COLCIENCIAS *et al.*, 1986). El potencial de algunos peces costeros, tiburones, moluscos, crustáceos y otros recursos pelágicos (atún, caballa, machuelo, sardina) evaluados recientemente permiten multiplicar esta cifra por tres o por cuatro (Rubio, 1988; INDERENA, *com pers.*).

Es sabido que Colombia ha desarrollado sólo la pesquería del camarón (Alvarez-León, 1985, Alvarez-León y Lesser, 1986; Rubio, 1988), cuya práctica continúa dentro de niveles de rendimiento máximo sostenible. No obstante, dado que las etapas larvales de los camarones transcurren en los ecosistemas de manglar, la sostenibilidad de la actividad depende del manejo adecuado de estos sistemas.

6. Tensores

Cerca de dos tercios de la población de los nueve departamentos del Caribe colombiano (Fig. 1) desarrolla

actividades en o cerca de la costa. Esto, unido a la actividad en los seis puertos principales (Cartagena, Barranquilla, Santa Marta, Turbo, San Andrés, Puerto Bolívar, Coveñas), revela la acción antropogénica como un tensor de primera magnitud sobre el manglar y los demás ecosistemas marino-costeros de la región.

Las respuestas de los ecosistemas de manglar a tensores ambientales (naturales y antropogénicos) son variadas y a veces sorprendentes. No obstante, Lugo *et al.* (1980) postulan la existencia de patrones predecibles que pueden derivar en beneficios para las poblaciones humanas sin disminuir la capacidad de recuperación de los ecosistemas. Estos autores revisaron las relaciones entre tensores y ecosistema y sugirieron que, bajo condiciones iguales, las respuestas dependen del punto de operación sobre el ecosistema (Fig. 4).

En este contexto identificaron cinco tipos de tensores: (1) aquellos que alteran la naturaleza de la fuente principal de energía; (2) aquellos que derivan una porción de la fuente energía antes de que sea incorporada al sistema; (3) aquellos que extraen la energía potencial antes de que sea almacenada, pero después de haber sido transformada por la fotosíntesis; (4) aquellos que extraen la energía almacenada, (4a) cuando son tocados los factores limitantes para la fotosíntesis; y (4b a 4d) aquellos que remueven cualquier otra porción de la estructura del ecosistema; y (5) aquellos que incrementan la tasa de respiración.

Rubio (1988) mencionó el efecto acumulativo del incremento de la tasa de transporte de sedimentos del río Magdalena, debido, entre otros factores, al inadecuado manejo de las cuencas hidrográficas, especialmente por la tala indiscriminada de árboles y la minería de aluvión.

El efecto registrado por Rubio (1988) se manifiesta en la parte baja del río a través de la colmatación de ciénagas, procesos bioquímicos de efectos tóxicos severos, fenómenos de erosión-sedimentación y degradación de los manglares, los arrecifes y las praderas de fanerógamas marinas. A la vez, en la medida que los productores primarios reducen su actividad, la productividad pesquera disminuye, lo cual incide directamente sobre aspectos socioeconómicos locales.

En la figura 5 se ilustran los principales factores que afectan los manglares del Caribe colombiano, algunos de los cuales no son críticos, mientras que otros, persistentes, se han vuelto crónicos. El cuadro 8 identifica los tensores y las áreas que se han visto afectadas en los manglares del Caribe colombiano.

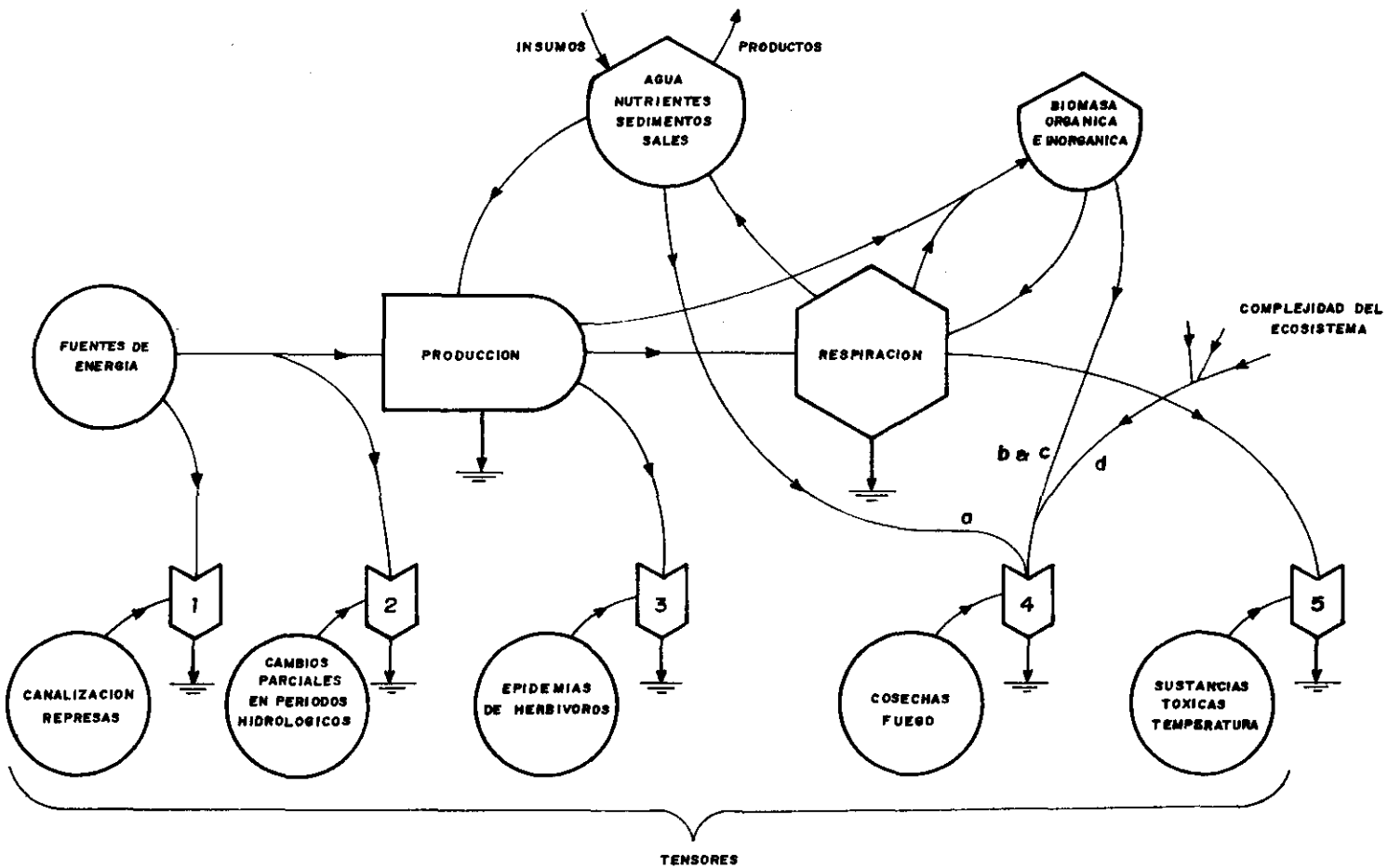


Fig. 4. Punto de ataque de los tensores en ecosistemas de manglar del Caribe colombiano; modificado a partir de Lugo *et al.* (1980).

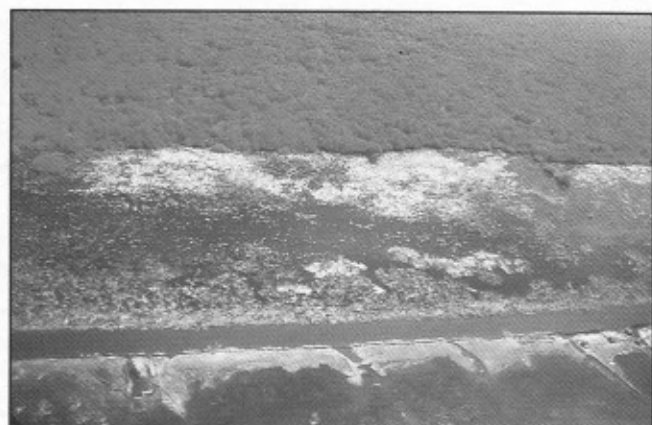


Fig. 5. Efectos ambientales en los ecosistemas de manglar del Caribe colombiano, por: (a) Explotación comercial en franjas alternas, (b) Explotación comercial a tala rasa, (c) Anillos hipersalinos, (d) Explotación artesanal y playones salinos, (e) Construcción de carreteras, (f) Construcción de aeropuerto.

Cuadro 8. Tensores naturales y antropogénicos en los manglares del Caribe colombiano (adaptado de Lugo *et al.*, 1980). Tipo de tensor según figura 4. Areas: (1) Isla de Salamanca, (2) Ciénaga Grande de Santa Marta, (3) Ciénaga de la Virgen, (4) Bahía de Cartagena, (5) Bahía de Barbacoas, (6) Ciénagas Islas del Rosario, (7) Ciénaga del Francés, (8) Ciénagas del delta del Sinú.

TENSORES	FUERZA O FACTOR CAUSAL SOBRE EL ECOSISTEMA	PUNTO PRIMARIO DE ATAQUE	AREA
NATURALES:			
Hipersalinidad	Aridez del clima o falta de flujo de mareas o escorrentía	Complejidad estructural (4d, 5)	1,2,3
Sedimentación	Acreción hídrica y eólica (progresiva)	Intercambio gaseoso radicular	1,3
Acción del viento	Fuertes vientos o brisas	Complejidad estructural (4b, 4d)	1,8
Sedimentación (aguda)	Huracanes o inundaciones	Intercambio gaseoso radicular, asimilación de agua y nutrientes (4a, 5)	8
Alta energía de las olas	Movimiento de aguas	Complejidad estructural (4a, 4b, 4c)	1
Acumulación de H ₂ S	Estancamiento de aguas	Respiración radicular y de sedimentos (5)	4
Inundaciones crónicas	Huracanes o grandes inundaciones	Intercambio gaseoso radicular y de sedimentos (4, 5, 1)	2,8
Epidemias de herbívoros	Cambios ambientales desconocidos	Plantas	2,6
ANTROPOGÉNICOS:			
Alta temperatura	Enfriamiento de termoeléctricas	Complejidad estructural hojas, plántulas (2, 4d, 5)	4
Cobertura de petróleo	Derrames accidentales	Intercambio gaseoso en superficies cubiertas por petróleo, hojas (2,5)	4
Drenaje crónico	Canalización, construcciones de carreteras, diques, caminos	Complejidad estructural y todos los procesos de los ecosistemas (1)	1,3,4,7
Herbicidas	Preservación cosechas	Hojas, retoños, sedimentos (2, 4b)	2,3
Cosechas excesivas	Necesidades humanas	Plantas (4)	5
Relleno crónico, dragados	Actividades de contrucción	Complejidad estructural e intercambio gaseoso (1, 5)	4
Escorrentía de metales pesados	Escorrentía de actividades mineras	Depositados en hojas y sedimentos	4
Acumulación de basura	Deficiencia en recolección o disposición deficiente	Complejidad estructural e intercambio gaseoso	4

El ejemplo más conocido de tensión antropogénica en la región es el de los manglares de la Isla de Salamanca y del delta inferior del río Magdalena que quedaron aislados artificialmente del libre flujo de aguas dulces y marinas a través de caños, lagunas y esteros, y se vieron sometidos a un proceso progresivo de salinización de suelos (53-150 ‰), canales o lagunas (27-56 ‰) y agua freática (42-130 ‰) (Botero, 1990).

De esta manera se perdieron por lo menos 16.460 ha principalmente de *R. mangle* (González, 1989). Los proyectos desarrollados para recuperar y estabilizar estos manglares han incluido obras de ingeniería civil para readecuar los caños y sus flujos naturales y la siembra de hipocólitos en áreas seleccionadas. A partir de su implementación han sido registrados pequeños signos de recuperación.

No obstante la recuperación se dará lentamente y a largo plazo, sobre todo en razón de los parámetros climáticos del área. **Johannes** (1974) afirma que el tiempo de recuperación de los manglares depende de las especies que lo conforman. Puede ser breve en el caso de especies que alcanzan pleno desarrollo entre los 8 y los 10 años, pero la recuperación de comunidades de *Rhizophora*, que necesita entre 25 y 30 años para madurar, puede requerir 80 y más años.

7. Manejo y conservación.

El desarrollo progresivo de las zonas costeras del Caribe colombiano implica la necesidad de manejar eficiente los recursos naturales para garantizar la subsistencia del manglar, que aporta insumos para la evolución armónica de otros sistemas. **Prahl** (1989) afirmó que la conservación de los manglares debía entenderse como una necesidad vital para las poblaciones humanas, antes que como una actividad meramente altruista.

Las experiencias negativas de aprovechamiento o de definición de conflictos de uso de la tierra en Colombia, a partir de los cuales los manglares han sido suprimidos para dar paso a proyectos de desarrollo, han tenido su

origen tanto por la subvaloración del ecosistema como por el desconocimiento de la productividad real y de los bienes y servicios que ofrece. Las decisiones de este tipo han sido fundamentadas sólo ocasionalmente en conocimientos científicos, mientras que éstos han sido generados paralelamente a la implementación de la mayoría de proyectos de desarrollo o después de producido el impacto ambiental.

7.1 Legislación.

No obstante, el Gobierno Nacional a través del INDERENA ha aplicado medidas de protección y conservación. Desde la creación del Sistema de Parques Nacionales se ha identificado la necesidad de preservar áreas especialmente sensibles y productivos. A partir del acuerdo 004 de 1964 han sido declaradas como zonas de protección y manejo tres (3) Parques Nacionales Naturales, dos (2) Santuarios de Flora y Fauna, un (1) área de Manejo Especial, y cinco (5) Zonas de Reserva para la Pesca Artesanal, en las cuales existen importantes manglares (Cuadro 9). Sin embargo, en vista de que no existe legislación específica para el manejo de estos sistemas, se aplica tradicionalmente aquella vigente para bosques naturales, pesca y acuicultura, con los vacíos consiguientes.

Cuadro 9. Categorías de protección con áreas de manglar en el Caribe colombiano, normas y fechas en que fueron creadas y departamento en el que están situadas (según Álvarez-León, 1989).

CATEGORIAS DE PROTECCION Y MANEJO	NORMA (fecha)	DEPARTAMENTO
Parque Nacional Natural Isla de Salamanca	Acuerdo 004 (04-04-64)	Magdalena
P. N. N. Tayrona	Acuerdo 004 (04-04-64)	Magdalena
Pesca artesanal : Ciénaga Grande de Santa Marta	Acuerdo 197 (09-25-64)	Magdalena
Pesca artesanal: P. N. N. Tayrona	Resolución 903 (10-21-69)	Magdalena
Zona de Reserva Nacional Bahía de San Andrés	Resolución 023 (02-26-71)	San Andrés y Providencia
Zona de Reserva para la Pesca Artesanal Golfo de Morrosquillo	Resolución 726 (05-31-74)	Sucre y Córdoba
Zona de Reserva para la Pesca Artesanal Golfo de Urabá	Resolución 1130 (10-19-76)	Antioquia y Chocó
Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande de Santa Marta	Acuerdo 029 (05-02-77)	Magdalena
P.N.N. Submarino Islas del Rosario	Resolución 165 (05-02-77)	Bolívar
Santuario de Flora y Fauna Los Flamencos	Acuerdo 030 (05-02-77)	Guajira
Área de Manejo Especial de la Bahía de Cartagena, Canal del Dique y áreas adyacentes	Decreto 1741 (08-04-78)	Bolívar
Zona de Reserva para pesca artesanal Ciénaga Grande de Santa Marta	Resolución 157 (06-09-78)	Magdalena
Pesca artesanal: Guajira	Acuerdo 054 (08-12-88)	Guajira

En 1978 se suspendió toda acción extractiva a nivel industrial en los manglares subseriales remanentes del Caribe «hasta tanto no se llegara a la recuperación satisfactoria, pues interferir la dinámica sucesional implica incentivar la degradación con resultados obviamente negativos e incluso introducir factores irreversibles, máxime cuando se desconocen las prácticas silviculturales que exitosamente garanticen el restablecimiento del bosque» (Hernández-Camacho *et al.*, 1978).

7.2 El futuro de los manglares del Caribe colombiano.

Actualmente, con base en investigaciones silviculturales y ecológicas en el Caribe y en el Pacífico, INDERENA está recomendando al Gobierno Nacional:

- Una veda nacional total a las especies de mangle;
- Reforzamiento e implementación de acciones de control;
- Vigilancia y supervisión;
- Establecimiento de un banco de datos;
- Cumplimiento de las declaraciones de efecto e impacto ambiental;
- Creación de un Comité Nacional de Manglares, asesor en materia de lineamientos técnicos, científicos, legales y de políticas de conservación, ordenación y manejo sostenido (INDERENA, 1991).

El aprovechamiento artesanal actual de madera para construcción, leña y carbón, representa una fuente estable de ingresos de subsistencia para pescadores y corteros. Se ha comprobado asimismo que es posible manejar el manglar como recurso renovable, adecuando las zonas taladas con obras hidráulicas suficientes para garantizar el flujo de aguas dulces y saladas de los cuerpos hídricos aledaños (INDERENA, 1991).

Precisamente INDERENA se ha trazado como objetivo la ordenación territorial y la zonificación detallada de los manglares del país con participación de las comunidades locales, así como la selección y creación de áreas de protección, conservación y producción.

Agradecimientos

A los doctores Luis Drude Lacerda y Bjorn Kjerfve por su estímulo para preparar esta contribución, así como a los colegas que leyeron el manuscrito e hicieron valiosas sugerencias.

Bibliografía

- Alvarez-León, R. 1982. El desarrollo de la maricultura en Colombia. *Rev. Lat.-Amer. Acuicultura*, 13 : 9-19.
- . 1984 a. Los manglares del Caribe colombiano y su utilización como áreas de extracción pesquera y de cultivos controlados. *In*: D. Yanine-Díaz (ed.). *Mem. Sem. Regional sobre Ordenación Integrada de las Zonas de Manglar*. FAO/INDERENA. Cali (Valle) y Tumaco (Nariño) Colombia, nov. 19-23, Tema 3, 6 p.
- . 1984 b. Sinopsis sobre el conocimiento de los ecosistemas de manglar en Colombia. Reunión Técnica para el Diseño de un Proyecto Especial sobre Bioecología del Manglar. OEA/COLCIENCIAS/INVERMAR, Santa Marta (Mag.) Colombia, junio 27-29, 17 p.
- . 1984 c. Sinopsis sobre el conocimiento de los ecosistemas de manglar en Colombia: Primera Revisión. *In*: D. Yanine-Díaz (ed.). *Mem. Sem. Regional sobre Ordenación Integrada de las Zonas de Manglar*. FAO/INDERENA. Cali (Valle) y Tumaco (Nariño) Colombia, nov. 19-23. Anexo 3, 31 p.
- . 1984 d. Caracterización de los ecosistemas de las bahías de Chenge y Nenguange. *Proy. COLCIENCIAS/INVERMAR/30003-10-43-82*. Santa Marta (Mag.). Inf.Final 1-20.
- . 1985 a. Evaluación de los recursos demersales del Caribe y el Pacífico colombiano. Cap. 11: 511 - 570. *In*: A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón*. PUAL/ICML/INPL/UNAM, México D.F., 748 p.
- . 1985 b. Caracterización estructural de las comunidades de manglar y de la macrofauna en la Ciénaga Grande de Santa Marta e Isla de Salamanca. *Proy. COLCIENCIAS/INVERMAR/01-10-84*. Santa Marta (Mag.). Inf. Final: 1-28.
- . 1986. Caracterización de los recursos naturales del Caribe colombiano. *In*: Steer-Ruiz, R. (ed.). *Proy. Administración y Desarrollo de la Zona Costera del Caribe Colombiano DIMAR/CIOH*. Cartagena (Bol.). Inf. Final: 1-95.
- . 1989. Los ecosistemas marinos del Caribe colombiano. *Bull. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 45: 131-143.
- Alvarez-León, R. y E. S. Lesser. 1986. Aspectos sobre el reclutamiento de los recursos demersales en las costas colombianas, pp. 107-122. *In*: A. Yáñez-Arancibia y D. Pauly (eds.) *IOC/FAO Workshop on Recruitment in Tropical Coastal Demersal Communities*, Ciudad del Carmen (Cam.) México, April 21-25.
- Araújo, R. y J. Polanía. 1985. Manglares: estructura, fitosociología y geomorfología en el delta del Canal del Dique (Departamentos de Bolívar y Sucre, Colombia). Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 126 p.
- Arias, P. y E. Anzola. 1989. La pesca artesanal en Colombia. INDERENA-Subgerencia de Pesca y Fauna. Bogotá D. E., 61 p.
- Botero, L. 1990. Massive Mangrove Mortality on the Caribbean Coast of Colombia. *Vida Silvestre*, 2 (2): 77-78.
- Bula, G. A. y R. Schnetter. 1978. Notas preliminares sobre el género *Derbesia* (Derbesiaceae, Caulerpales, Chlorophyceae) en la costa atlántica de Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 10: 245-248.

- Cabrera, A. L. y A. Willink.** 1973. Biogeografía de América Latina OEA-Secretaría Gral., Depto. Asuntos Científ. Washington D. C. 20 p.
- Cifuentes, W.** 1980. Contribución al conocimiento de la estructura, fauna y flora del ecosistema de manglares en la Bahía de Cartagena. Tesis profesional. Fac. Cienc. del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 116 p.
- Cosel, R. von.** 1973. Lista preliminar de los moluscos de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7: 47-56.
- . 1986. Moluscos de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (costa del Caribe de Colombia). An. Inst. Inv. Mar. - Punta de Betín, 15-16: 79-370.
- Cristensen, B.** 1987. Los manglares: ¿para qué sirven?. FAO Ofic. Reg. Asia y el Pacífico. Bangkok, Tailandia. Inf. Técnico: 1-10
- Cuignon, R., O. Javelaud, G. Vernet & S. Leblé.** 1985. Estudio sedimentológico de la Plataforma Continental del Mar Caribe colombiano. 1er Congr. Lat.-Amer. sobre Cienc. del Mar ALICMAR/COLCIENCIAS/INVERMAR. Santa Marta (Mag.) nov. 24-29, 13 p.
- D'Croz, L. y B. Kwiecinski.** 1980. Contribución de los manglares a las pesquerías de la Bahía de Panamá. Rev. Biol. Trop., 28: 13-29.
- Dueñas, P. R.** 1981. Inventario preliminar de los poliquetos (Annelida) de aguas someras de la Bahía de Cartagena y áreas adyacentes. UBJTL-Bol. Museo del Mar, 10: 82-138.
- . 1985. La presencia de *Polydora websteri* Hartman 1943, en la Ciénaga Grande de Santa Marta (Magdalena) Colombia. 1er Congr. Lat.-Amer. sobre Cienc. del Mar ALICMAR/COLCIENCIAS/INVERMAR. Santa Marta (Mag.) nov. 24-29, 13 p.
- Dugand, A.** 1973. Elementos para un curso de geobotánica en Colombia. Cespedesia, 2 (6-8): 139-480.
- Geister, J.** 1972. Nota sobre la edad de las calizas coralinas del Pleistoceno marino en las Islas de San Andrés y Providencia (Mar Caribe Occidental, Colombia). Mit. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 6: 135-140.
- González, E.** 1989. Cambios ocurridos en la cobertura del manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta durante los años 1956-1987. INVERMAR Santa Marta (Mag.). Inf. Técnico: 1-25, 3 map.
- Henning, H. G. y F. Klaassen.** 1973. Dekapode Crustaceen auf der Isla de Salamanca (Atlantik-Küste, Kolumbien). Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient., 7: 63-84.
- Hernández-Camacho, J. I., P. von Hildebrand & R. Álvarez-León.** 1980. Problemática del manejo de manglares con especial referencia al sector occidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Magdalena, Colombia. pp 364-386. In: M. Vegas-Vélez (ed.). Sem. Sobre el Estudio Científico y el Impacto Humano en el Ecosistema de Manglares UNESCO/UNIVALLE, nov. 27-dic. 1º de 1978, 405 p.
- Hernández-Camacho, J. I., R. Álvarez-León, R. Echeverri, P. von Hildebrand, M. Sánchez Páez, L. Gutiérrez, P. Andrade & L. Tibaquirá.** 1978. Concepto sobre la explotación industrial de las especies de mangle en el país. INDERENA-Gerencia General. Bogotá D.E. Inf. Técnico (1): 1-25.
- INDERENA.** 1991. Diagnóstico exploratorio de los manglares en Colombia. INDERENA-Subgerencia de Bosques y Aguas. Santafé de Bogotá D.C. Inf. técnico: 1-43.
- Johannes, R. E.** 1974. Marine pollution in shallow tropical waters. 1ft FAO/SIDA Training Course on Marine Pollution in Relation to Protection of Living Resources. Gotemburgo, Sweden, 2 May.-3 June, 1972. FAO/TF 96, Suppl. 1: 242-259
- Kapraun, D. F., A. J. Lemus & G. A. Bula-Meyer.** 1983. Genus *Polysiphonia* (Rhodophyta, Ceramiales) in the tropical western Atlantic: I. Colombia and Venezuela. Bull. Mar. Sci., 33 (4): 881-898.
- Koster, F., G. Guerrero & F. Ríos.** 1979. Técnicas de elaboración y «curado» de cuerdas de curricán para la pesca en Taganga/Santa Marta, Colombia. An. Inst. Invermar - Punta de Betín, 11: 87-96.
- Lankford, R. R.** 1977. Coastal lagoons of México: Their origin and classification. Estuarine Processes, Academic Press Inc., New York, Vol. 2: 182-215.
- Lemaitre, R.** 1981. Shallow-water Crabbes (Decapoda, Brachyura) collected in the Southern Caribbean near Cartagena, Colombia. Bull. Mar. Sci., 31(2): 234-266.
- Losada-Muñoz, D. & C. Parada-Ruffinatti.** 1986. Foraminíferos epibióticos en la comunidad sésil de las raíces de mangle. Caldasia, 15 (71-75): 461-469.
- Lugo, A. & S. C. Snedaker.** 1975. The ecology of mangroves. An. Rev. Ecology Systematics, 5: 39-64
- Lugo, A., G. Cintrón y C. Goenaga.** 1980. El ecosistema de manglar bajo tensión, pp 263-285. In: Vegas-Vélez, M. (ed.). Mem. Sem. sobre el Estudio Científico y el Impacto Humano en el Ecosistema de Manglares UNESCO/UNIVALLE, nov. 27-dic. 1º de 1978, 405 p.
- Marín, R.** 1986. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. HIMAT, Bogotá D.E., 240 p.
- Mosquera, C. & M. Bernal.** 1975. Bioecología y pesquería de la *Croassostrea rhizophorae* Guilding (Mollusca, Pelecypoda) en la Bahía de Barbacoas Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 71 p.
- Munro, J. L.** 1977. Actual and potencial fish production from the coralline shelves of the Caribbean Sea. FAO Fish. Rep., 200: 301-320
- Olaya H., H. D. Centenaro M., I. Legízamo P. & F. Pineda V.** 1991. Los bosques de mangle del antiguo delta del río Sinú (Córdoba - Colombia). Estudio de la vegetación y aprovechamiento. CVS, División de Recursos Naturales, Montería. 31 p.
- Pagnaco, P. & F. Radelli.** 1962. Notes on the geology of the isles of Providencia and Santa Catalina. Geol. Colombia, 3: 125-132.
- Prahl, H. von.** 1989. Manglares de Colombia. Villegas Editores, Bogotá. 206 p.
- Pérez, M. E. & C. H. Victoria.** 1977. Diversidad y macrofauna de la comunidad de las raíces sumergidas del mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de los Vásquez. Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 93 p.
- Perdomo, C.** 1971. Estudio bio-ecológico preliminar de la macrofauna de las raíces de manglar en la isla de Manzanillo. Tesis Profesional. Fac. Cienc. del Mar, Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 68 p.
- Perdomo, J. M.** 1991. Productos pesqueros exportables de Colombia INPA-Progr. Reg. Coop. Tec. para la pesca CEE/CEP. Santafé de Bogotá. Inf. Técnico 01: 1-53.

- Quirós, H. & G. Vernet.** 1980. Los foraminíferos bentónicos en áreas de manglar y su relación con el ecosistema (Tierrabomba-Cartagena-Colombia). pp 225 - 242. In: Vegas-Vélez, M. (ed.). Mem. Sem. sobre Est. Cientif. e Impacto Humano en Ecosist. de Manglares, UNESCO/ROSTLAC/UNIVALLE. Cali (Valle) Colombia, nov. 27-dic. 1 de 1978, 405 p.
- Reichel-Dolmatoff, G.** 1965. Colombia: Ancient People and Places. Glyn Daniel Ed. Thames and Hudson, London. 231 p.
- Rodríguez, O.** 1977. Efectos de la contaminación sobre el crecimiento de las poblaciones de *Isognomon alatus* (Gmelin, 1791) en la Bahía de Cartagena. Tesis profesional. Fac. Ciencias del Mar, Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 112 p.
- Rubio, C.E.** 1988. Recursos pesqueros del litoral continental del Caribe colombiano y su relación con el manejo de cuencas hidrográficas, pp. 374-388. In : Rodríguez, J.V. y H. Sánchez (eds.). Mem. Simp. Internal. Ecobios-Colombia 88. El desarrollo sostenible: Estrategias, políticas y acciones. Bogotá D.E. Colombia, sep. 20-23, 548 p.
- Salazar, F.J.** 1982. Las especies del Suborden Balanomorpha (Thoracica - Cirripedia- Crustacea) de la Bahía de Cartagena. Tesis profesional. Fac. Ciencias del Mar, Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 110 p.
- Salazar, A. & M. Ramírez.** 1977. Estudio preliminar sobre el cultivo artificial del ostión del mangle *Crassostrea rhizophorae* Guildin 1828 en la bahía de Cispata (Córdoba). Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar, Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Vernette, G.** 1985. La plateforme continentale le Caraïbe de Colombie (du débouché du Magdalena au golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse Dr. Etat et Sciences, Univ. Bordeaux I, n. 834, 387 p.
- Wedler, E.** 1973. Die Hydroiden der Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und einiges zu ihrer Ökologie. Mitt.Inst.Colombo-Alemán Invest.Cient., 7: 31-39.
- Weidner, D.** 1992. Colombia shrimp culture. VSDC/NOAA/NMFS, IFR-91/90, F/LAZ: DW/TR, Silver Spring: 1-104.
- Winograd, M.** 1987. Mangroves de Colombie: particularités biologiques et économiques. Gaussenia, 3: 11-43.
- Wintermann-Killian, G. & E. F. Killian.** 1983. Marine sponges of the región of Santa Marta (Colombia) Part I. Dictyoceratida and Verongida. Stn. Neotrop. Fauna and Environ., 18 : 1-17.

SINTESIS DE LOS CAMBIOS DE ORIGEN ANTROPICO OCURRIDOS EN LOS ULTIMOS 40 AÑOS EN LA CIENAGA DE SANTA MARTA (COLOMBIA)

por

Leonor Botero y José Ernesto Mancera-Pineda¹

Resumen

Botero, L. & J.E. Mancera-Pineda: Síntesis de los cambios de origen antrópico ocurridos en los últimos 40 años en la Ciénaga de Santa Marta (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 465-474. 1996. ISSN 0370-3908.

Se presenta una síntesis de los principales cambios de la fauna, flora, geomorfología y condiciones físico-químicas de la Ciénaga Grande de Santa Marta ocurridos durante el periodo 1956-1994 y originados por actividades humanas. El sistema laguno estuarino ha sufrido una notorio deterioro reflejado en la hipersalinización de sus suelos y consecuente muerte masiva del bosque de manglar, disminución sustancial en la diversidad y abundancia de peces, aves y moluscos, contaminación de sus aguas, sedimentos y organismos con plaguicidas organoclorados, metales pesados y bacterias patógenas. Así mismo se ha comprobado un progresivo y significativo incremento en la salinidad de los cuerpos de agua, concentración de material suspendido y eutroficación.

Palabras claves: contaminación, diversidad, eutroficación, manglar, origen antrópico

Abstract

This article presents a synthesis of the main faunal, floral, geomorphological and physico-chemical changes that have occurred in the estuarine lagoonal system of the Ciénaga Grande de Santa Marta during the period 1956-1994. The system has suffered a noticeable degradation manifested mainly in the hypersalinization of its soils with a consequent mangrove mortality, substantial reduction in the diversity and abundance of its fish, bird and invertebrate fauna, the contamination of water, sediments and organismos with pesticides, heavy metals and pathogenic bacteria. A progressive and significant increment in the salinity of its water, seston concentration and eutrophication is also documented.

Key words: contamination, diversity, eutrophication, mangrove, anthropogenic origin

¹ Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis INVEMAR, Apartado Aéreo 1016, Santa Marta, Colombia.

Introducción

Por varios siglos los estuarios han sido el foco de asentamientos y actividades humanas debido a la abundancia y gran variedad de recursos vivos (peces y mariscos, bosques de manglar, marismas), y no vivos (vías de comunicación entre el continente y el mar) que poseen (Day *et al.*, 1989). Esta situación, los hace muy susceptibles al cambio, especialmente como consecuencia de actividades que el hombre ejerce directamente sobre ellos para modificar, incrementar o disminuir el uso de sus recursos. Varios trabajos han demostrado cambios ambientales ocasionados a ecosistemas estuarinos como consecuencia de actividades humanas. Estuarios como los de los ríos Rin, Hudson, Potomac, Delaware y Bahía de San Francisco, han sufrido impactos antrópicos que se reflejan en cambios o deterioro de una o varias de las propiedades del sistema (Day *et al.*, 1989; Nichols *et al.*, 1986) tales como concentración y calidad del material en suspensión, presencia de contaminantes, diversidad y dominancia de especies y dinámica de comunidades de plantas y animales. Quizás uno de los más dramáticos ejemplos de alteraciones físicas y de sus consecuencias sobre un ecosistema costero es el del Delta del río Mississippi. Casi 100 km² de humedales desaparecen anualmente como resultado de interacciones entre las actividades humanas y procesos naturales (Day *et al.*, 1989). La principal alteración humana fue la construcción de un dique o terraplén hasta la desembocadura del río que ha causado la disminución en el aporte de sedimento y de agua dulce a los humedales del Delta con la consecuente intrusión salina. Lo anterior, sumado a la subsidencia natural en la zona, ha ocasionado la desaparición de gran parte de los humedales.

Por sus características geomorfológicas (forma, profundidad, entradas de agua dulce, comunicación con el mar) la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es un sistema lagunar estuarino cuyas principales fuentes de agua dulce las constituyen el río Magdalena (el más grande de Colombia) hacia el oeste y varios ríos provenientes de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) hacia el este. Localizada sobre la costa Caribe de Colombia en el departamento del Magdalena, la CGSM es la laguna costera más grande del país y tradicionalmente ha sido una de las principales fuentes de suministro de pescado y mariscos para la costa norte de Colombia y aún para mercados del interior del país. La CGSM, junto con la Isla de Salamanca y el conjunto de ciénagas y caños adyacentes denominados Complejo de Pajarales y Santuario de Fauna y Flora, hace parte del Delta Exterior del Río Magdalena (DERM) cuya desembocadura ha divagado desde el Plioceno entre

Galerazamba y la actual Boca de la Barra originando diferentes lóbulos deltáicos en diferentes épocas (Bernal y Betancur 1994). La CGSM abarca un área de 450 km² y el área total de todo el sistema de ciénagas, caños y pantanos del DERM es de aproximadamente 1280 km². En los mismos cuerpos de agua y sobre sus costas, se localizan tres poblaciones palafíticas y cuatro costeras que albergan un total aproximado de 20000 personas, de las cuales unas 3200 son pescadores (E. Viloria y A. Santos-Martínez, dato sin publicar).

Aunque, comparado con otros estuarios, el grado de asentamiento humano alrededor de la CGSM es relativamente bajo, no por esto ha dejado de ser negativamente afectada por acciones humanas realizadas tanto sobre ella misma y sus inmediaciones como sobre sus afluentes principales, el Río Magdalena y los ríos de la vertiente occidental de la SNSM. Estos impactos de origen antrópico ejercidos sobre la CGSM en las últimas cuatro décadas podrían clasificarse así: I. Alteraciones físicas; II. Enriquecimiento con materia orgánica y/o nutrientes inorgánicos; III. Introducción de sustancias tóxicas; IV. Alteración directa de la estructura de las comunidades.

A continuación se analizan cada uno de estos impactos y sus efectos sobre el ecosistema.

I. Alteraciones físicas

Las alteraciones físicas están dadas principalmente por: 1) Construcción de las carreteras Barranquilla-Ciénaga (sobre la Isla de Salamanca entre 1956-1960) y Palermo-Sitio Nuevo (marginal al río Magdalena, costado oriental, en la década de los años 70) sin respetar las comunicaciones entre los cuerpos de agua. 2) Construcción de diques y terraplenes para impedir el desbordamiento del río Magdalena y el flujo de agua dulce desde el río hacia el sistema de ciénagas. 3) Sedimentación/colmatación de los caños procedentes del río Magdalena y de las desembocaduras de los ríos de la SNSM como consecuencia de la erosión por deforestación en las cuencas. 4) Disminución del caudal de los ríos de la SNSM por captación de agua para distritos de riego (de diciembre a abril, la zona bananera capta el 80% del caudal medio de estos ríos (Indarena-Sodeic, 1987) y por deterioro de las cuencas debido a deforestación.

La principal consecuencia directa de estas alteraciones físicas ha sido el rompimiento del balance hidrológico de todo el sistema por la interrupción de los flujos de agua dulce desde los ríos (principalmente el río Magdalena) hacia el sistema de ciénagas, y de agua marina y estuarina desde y hacia el Mar Caribe y las ciénagas a través de la

Isla de Salamanca. En una zona tan árida como ésta, donde la evaporación supera ampliamente la precipitación (CETIH, 1978), el desarrollo de un bosque de manglar con árboles con alturas y diámetros de hasta 20 m y 65 cm respectivamente (Serrano *et al.*, 1995), es indicativo de la existencia de un subsidio de agua dulce, que en este caso estaba dado principalmente por el río Magdalena, del cual dependía en gran medida el funcionamiento del sistema. El desbalance hidrológico en todo el sistema se refleja principalmente en la extrema hipersalinización de los suelos del manglar (Botero, 1990; Cardona, 1991; Cardona y Botero, 1995) y en el incremento progresivo de la salinidad de los cuerpos de agua (Hurtado *et al.*, 1995). Gran parte de los suelos exhiben salinidades del agua intersticial mayores de 100 durante más de 8 meses al año. La figura 1 muestra el comportamiento típico de la salinidad intersticial del suelo en una estación afectada por el desbalance hidrológico (CAR) y en otra en la cual existe buen intercambio de agua (RIN). La hipersalinización de los suelos ha sido identificada como la causa principal de la mortandad masiva del manglar y además se demostró que existe una relación inversa entre salinidad del suelo y área basal del manglar de la zona (Cardona y Botero, 1995). La figura 2 ilustra los cambios ocurridos en la cobertura viva del manglar entre los años 1956, 1968, 1987 y 1993 (para los cuales hay fotografías aéreas o de satélite) deduciéndose de ésta que mientras la tasa de mortalidad entre 1956 y 1968 fue de aproximadamente 174.5 ha/año, y entre 1968

y 1987 de 984.7 ha/año (González, 1991), entre 1987 y 1993 (solamente 6 años), aumentó a 1531 hectáreas/año (L. Gónima *et al.*, datos sin publicar). La figura 3 presenta una fotografía de satélite tomada en diciembre de 1993 en la cual se observa claramente el área afectada por la mortandad del mangle. La salinización de suelos y muerte del manglar han originado un proceso de desertificación en buena parte del Delta con la aparición de aproximadamente 7809 ha de nuevos salares (donde anteriormente había manglar) con costras de sal de 3-5 mm

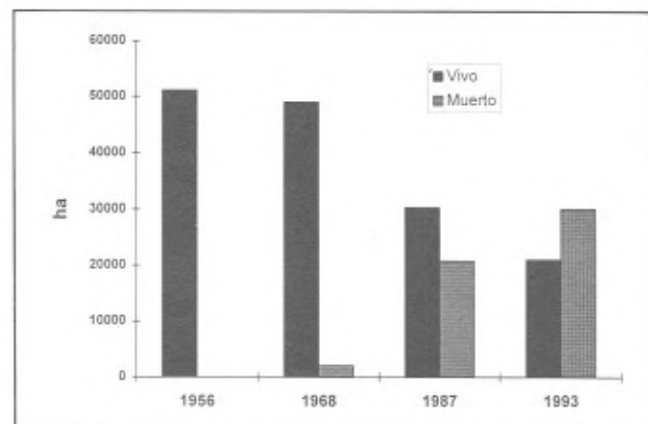


Figura 2. Cobertura de manglar vivo y muerto en el DERM durante el periodo 1956-1993.

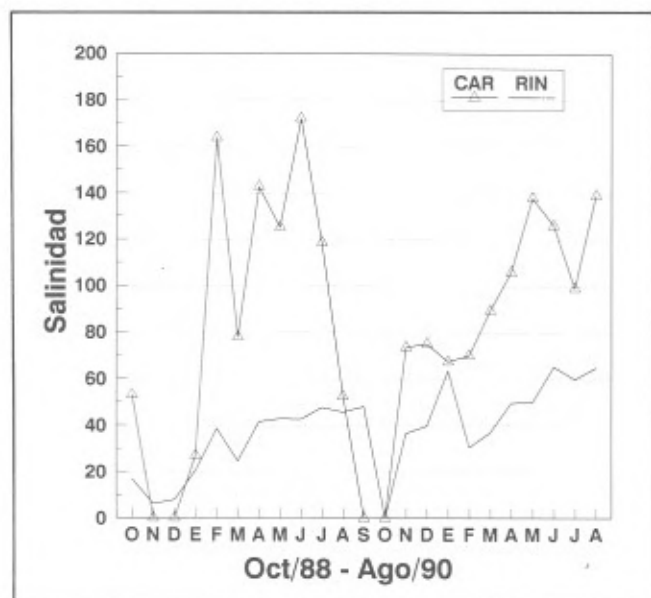


Figura 1. Valores de salinidad intersticial de los suelos de manglar del DERM en una estación afectada por el desbalance hidrológico del sistema (CAR) y otra en la cual se presenta suficiente intercambio de agua (RIN).

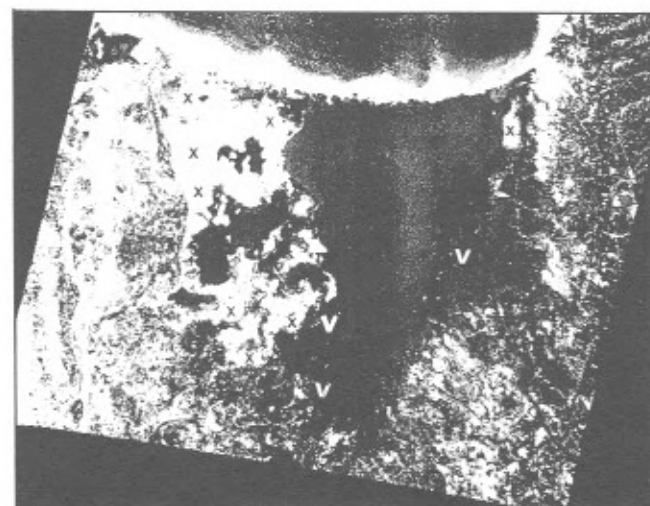


Figura 3. Fotografía de satélite (SPOT) del área del DERM tomada en diciembre de 1993. Las áreas en blanco demarcadas con una X representan zonas afectadas por el fenómeno de mortandad masiva del manglar. Las áreas demarcadas con una V representan zonas donde todavía existe bosque de manglar en buenas condiciones.

de espesor (L. Gónima *et al.*, datos sin publ.). Esta masiva mortandad de manglar es la segunda, en magnitud, a nivel mundial, superada únicamente por la ocasionada por "Agente Naranja" en el Vietnam (R. Twilley, com. pers.). Si bien los procesos de cambio son naturales en ecosistemas deltaicos, no lo es la gran velocidad a la cual han ocurrido estos procesos específicos en el DERM. La pérdida del manglar ha tenido repercusiones significativas en todo el ecosistema lagunar-estuarino no solamente por lo que pueda significar la disminución en su productividad primaria para la red trófica del ecosistema, sino por lo que representa como pérdida de hábitat para un sinnúmero de especies tanto acuáticas como terrestres y arbóreas. Una evaluación de la biodiversidad de peces, aves y organismos bentónicos asociados a los manglares vivos, muertos y en estado intermedio de la CGSM demostró claramente la importancia de estos bosques para el sostenimiento de las mayores biodiversidades (Botero y Marshall, 1994; Pro-Ciénaga, 1994) (Fig.4). Mientras que en zonas con manglar vivo y

en buen estado se encontraron 50 especies de invertebrados asociados a las raíces del manglar, en las zonas con manglar muerto el número de especies asociadas fue apenas de cinco (5). Así mismo, las zonas con manglar vivo presentaron 32 especies de peces asociadas a las raíces durante la época seca mientras que en las zonas con manglar muerto solamente se encontraron 14 especies (una sola especie, *Poecilia cf. gillii* haciendo casi el 90% de la abundancia). Durante la estación lluviosa se encontraron 22 especies de peces asociadas a los manglares vivos y solamente 4 a los manglares muertos. La diversidad de la avifauna (Botero y Marshall, 1994) presentó similares tendencias; mientras que en las zonas con manglar vivo se censaron un promedio de 29.5 especies, las zonas con manglar muerto presentaron un promedio de 19.5 especies. Si bien el incremento progresivo y significativo de la salinidad de los cuerpos de agua (Fig. 5) (Hurtado *et al.*, 1995) no ha llegado a niveles que sobrepasen los que normalmente se dan en estos sistemas estuarinos, cada vez se dan períodos más largos de salinidades altas, y zonas que otrora se mantenían dulces, actualmente presentan salinidades mayores de 20 durante casi todo el año. Así mismo, durante las épocas de sequía, la cuña salada penetra en los ríos de la SNSM hasta casi 2 km adentro, hecho que no se daba cuando los caudales de estos afluentes eran mayores. Estos cambios, aunque aparentemente sutiles, podrían también estar afectando la composición y dinámica de las poblaciones de invertebrados y peces de la Ciénaga, cuyos ciclos de vida dependen en gran parte de los cambios de salinidad o de factores directamente asociados a estos cambios. Es muy probable que la desaparición de la almeja *Polymesoda arctata* de la CGSM se deba en gran medida al incremento de la salinidad puesto que esta especie es obligatoriamente habitante de agua salobre, con preferencia de salinidades de entre 3 y 20 y límite de tolerancia de 30 (Cosel, 1986).

Otra consecuencia de las alteraciones físicas sobre el sistema han sido los cambios geomorfológicos detectados en los últimos 40 años. Estos cambios se manifiestan en la formación de barras, progradación y cambio en la profundidad de los cuerpos de agua donde parece evidenciarse una colmatación por sedimentos. La más reciente síntesis sobre la geomorfología del sistema (Bernal, 1995) indica que en este lapso los principales cambios geomorfológicos en la CGSM han ocurrido en los deltas de los ríos que bajan de la SNSM y de algunos caños que desembocan en la Ciénaga. La evolución de cada uno de estos deltas ha estado determinada por la formación de barras de boca de canal o playones que son colonizados por manglar y que eventualmente han terminado unidos a la línea costera (Bernal, 1995). Aunque es difícil asegu-

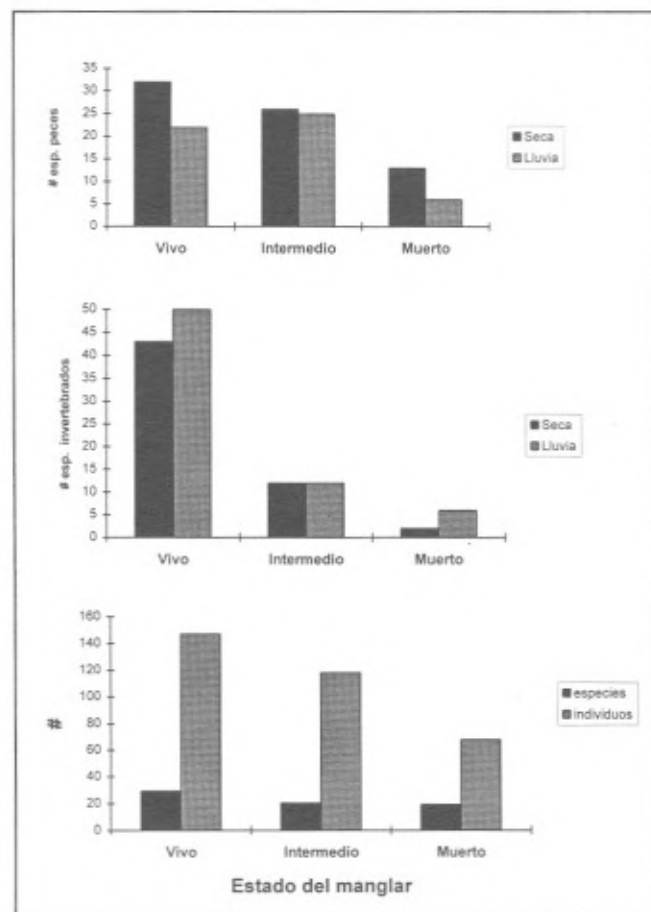


Figura 4. Diversidad (número de especies) de peces, invertebrados y aves y abundancia de aves asociados a manglar vivo, muerto y en estado intermedio de deterioro en el DERM.

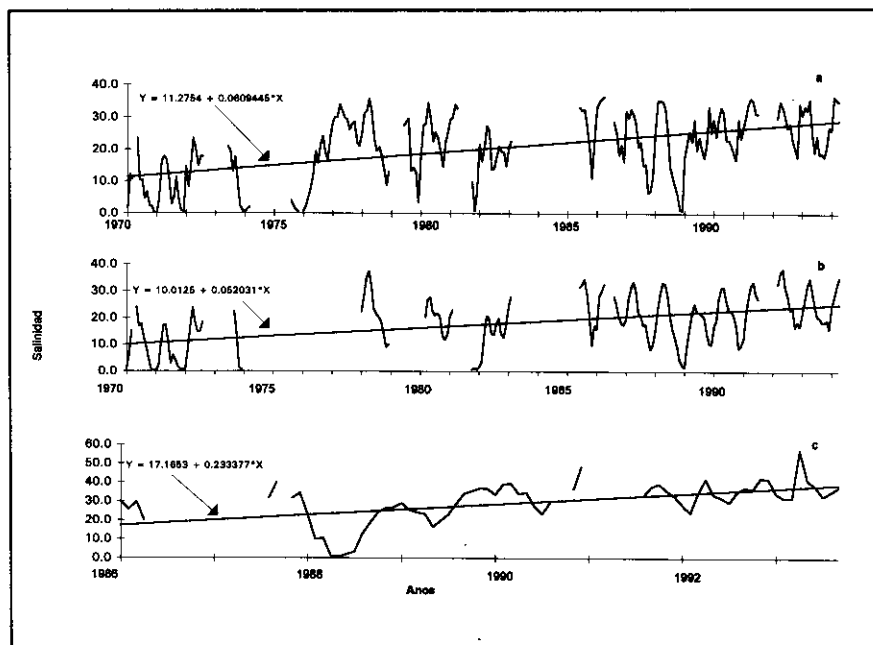


Figura 5. Series de tiempo de la variable "salinidad del agua" durante el periodo 1970-1994 en las zonas nororiental (a) y central (b) de la CGSM y central (c) del Complejo de Pajarales y ajuste de regresión correspondiente.

rar que estos cambios se deban exclusivamente a las alteraciones físicas de origen antrópico arriba mencionadas, si existe una gran probabilidad de que la disminución de las entradas de agua del río Magdalena y de los ríos de la SNSM, así como la mayor carga de sedimentos acarreada por éstos como consecuencia de la deforestación de sus cuencas y de cambios en el uso de la tierra, hayan acelerado estos procesos de cambio, que son normales en escalas mayores de tiempo. En la boca del río Aracataca, donde existe una población parcialmente palafítica se han hecho además rellenos artificiales para incrementar el terreno firme disponible para vivienda. Las distintas batimetrías que se han realizado en la CGSM entre los años 1973 y 1994 indican una disminución en los valores de profundidad durante los últimos 20 años con una tendencia a la depositación en el lado oriental (Bernal, 1995). Mientras que en 1973 se registraron profundidades hasta de 2.3 m (Wiedemann, 1973), en 1994 la mayor profundidad registrada fue de 1.75 m (Bernal y Betancur, 1994). Quizás uno de los más directos impactos sobre la geomorfología de la CGSM fue el cambio de localización, en 1956, de la principal boca comunicante con el mar la cual estaba al oriente de Pueblo Viejo y tenía aproximadamente 2 km de ancho. La boca actual por lo tanto no es la original y también ha sufrido cambios

geomorfológicos en las últimas cuatro décadas. Aunque no hay muchos datos sobre batimetría o sedimentación en la actual Boca de la Barra, las fotografías aéreas muestran una tendencia a la erosión del lado oeste y a la depositación en el lado este, donde se han formado playas y barras menores (Bernal, 1995).

II. Enriquecimiento con materia orgánica y/o nutrientes inorgánicos

El enriquecimiento con materia orgánica y/o nutrientes inorgánicos está dado principalmente por: 1) Vertimiento directo, a la laguna o a sus afluentes, de aguas servidas procedentes de las poblaciones aledañas y palafíticas. 2) Acarreo de fertilizantes agrícolas y de materia orgánica por los ríos de la SNSM y el río Magdalena que fluyen a la CGSM. 3) Lavado de los suelos de los pantanos de manglar muerto (los cuales tienen gran cantidad de material vegetal acumulado) durante épocas de fuertes lluvias y/o de desbordamientos del río Magdalena.

Este impacto sobre el sistema lagunar se manifiesta en efectos tales como el incremento progresivo y significativo en la concentración del seston en los últimos 6-10 años (Fig. 6), lo cual ha sido detectado tanto en el centro de la CGSM como en Caño Grande y en la Ciénaga de Pajarales (Toro, 1995). Se ha planteado la hipótesis de que esto puede estar afectando a los bancos de ostra los cuales aparentemente están sufriendo un deterioro que se refleja en su disminución y en el mayor número de ostras muertas que se sacan durante las actividades de recolección. A la fecha se está realizando el análisis de series de tiempo (1986-1995) sobre concentración de nutrientes inorgánicos y clorofila "a" así como una evaluación de los cambios cuantitativos y cualitativos del fitoplancton en los últimos 10 años; se espera que esto provea evidencia sobre el grado de eutroficación de la laguna. Sin embargo, el permanente ingreso de nutrientes y materia orgánica a la Ciénaga por vertimiento de aguas negras y por acarreo de fertilizantes y materia orgánica por los ríos de la SNSM, junto con los aparentes cambios en la concentración y composición del fitoplancton (A. Vidal, com. pers.) y los recurrentes eventos de anoxia de las aguas, son ya indicativos de un alto grado de eutroficación de la laguna. Recientes mortandades masivas de peces y los valores medidos casi

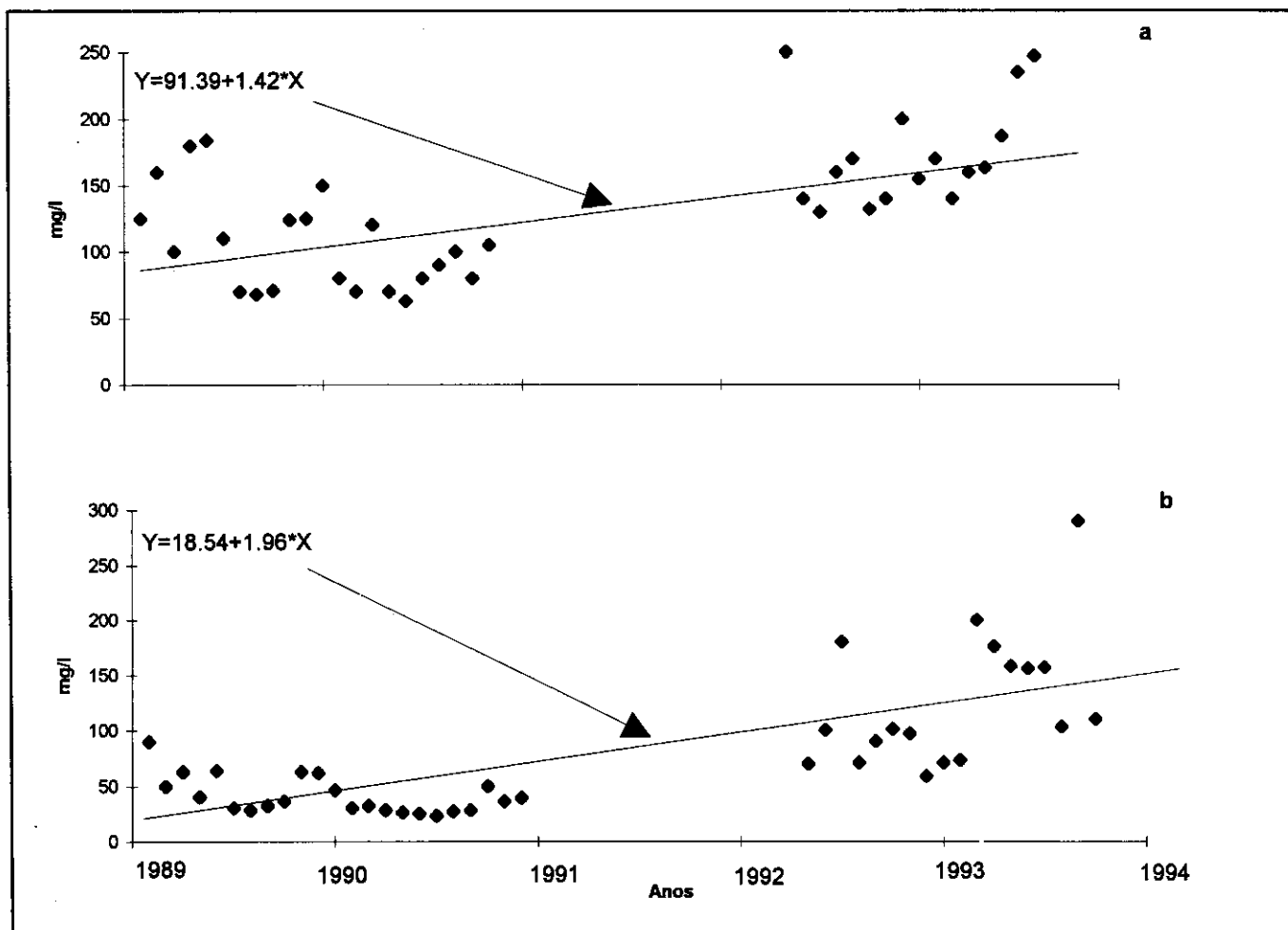


Figura 6. Series de tiempo de la variable "seston" para el periodo 1989-1994 en el centro del Complejo de Pajarales (a) y en el centro de la CGSM (b).

paralelamente de nutrientes, clorofila, oxígeno disuelto, así como los resultados de los conteos e identificación de fitoplancton durante un ciclo de 48 horas, presentan las típicas características de eventos de muertes masivas por anoxia como consecuencia de florecimientos de microalgas en respuesta a la eutroficación (Mancera y Vidal, 1994). Las mortandades de peces se han presentado asociadas a fuertes lluvias y a desbordamientos de los caños, con lo cual los pantanos de manglar muerto se han lavado y la materia orgánica y nutrientes acumulados en ellos han sido arrastrados a los cuerpos de agua, sumándose a la posiblemente ya alta carga de nutrientes y materia orgánica de la laguna.

III. Introducción de sustancias tóxicas

La introducción de sustancias tóxicas a la CGSM se ha dado especialmente a través del río Magdalena, el cual

irriga una extensa zona minera, industrial, agrícola y ganadera, y de los ríos de la SNSM que irrigan las zonas bananera, palmera y arroceras del piedemonte de la SNSM en las cuales se utilizan plaguicidas organoclorados y organofosforados para el control de plagas y malezas (Campos, 1992a; Plata *et al.*, 1993). Aunque los organoclorados están cada día más en desuso, su presencia es detectable en el sistema lagunar (Plata *et al.*, 1993; Espinosa *et al.*, 1995). Los estudios han demostrado que sus concentraciones en el agua no sobrepasan los límites permisibles por la legislación colombiana pero sí son mucho mayores que las permitidas por la EPA y por la legislación brasileña para aguas que sustentan vida acuática (M. Wallner-Kersanach-INVEMAR, informe de asesoría no publicado). Así mismo, se ha determinado que organismos carnívoros como el chivo cabezón (*Ariopsis bonillai*) han bioacumulado hasta 20000 veces el valor de

organoclorados presente en el seston y que organismos planctívoros y detritívoros como la bocona (*Anchovia clupeioides*) y la lisa (*Mugil incilis*) respectivamente, han acumulado hasta 2000 veces dichos organoclorados (Plata et al., 1993). El factor de biomagnificación entre los organismos planctívoros y los carnívoros es de 3.3 mientras que entre un detritívoro y un carnívoro es de 2.6 (Plata et al., 1993). Por otro lado, durante los episodios de desbordamiento del río Magdalena, cuyas aguas contienen una carga de metales pesados provenientes de la industria y de la minería a lo largo de su cuenca (Himat-Ingeominas, 1991; Pro-Ciénaga, 1994), se han introducido al sistema metales como cadmio, zinc, plomo, cobre y mercurio. Si bien hay seguridad sobre la presencia de estos metales en el agua, sedimentos y biota de la Ciénaga Grande (Campos, 1990, 1991, 1992ab; Gallo, 1994; Ramírez, 1995), las concentraciones y grado de bioacumulación y/o biomagnificación de los mismos está todavía siendo objeto de estudio. La información disponible sobre metales en biota de la CGSM demuestra que la concentración de Cu en el músculo de la ostra se ha incrementado entre los años 82-83 y 87-88 de valores que oscilaban entre 5.9 y 42.8 ug/g peso seco a valores que varían entre 50.2 y 179.1 ug/g peso seco (Campos, 1991); así mismo, los niveles de este metal en ostra son mayores hasta cinco veces que los encontrados en otras áreas tropicales tales como Cacha-Prego en Brasil (Wallner-Kersanach, 1994). En general, las concentraciones máximas de Cu (179.1 ug/g peso seco), Zn (949.6 ug/g peso seco), Cd (11.3 ug/g peso seco) y Pb (15.6 ug/g peso seco) en ostras de la CGSM son mayores que las encontradas en localidades no contaminadas del Brasil (Wallner-Kersanach, 1994). Si bien no existe información anterior a los años 80 sobre valores de estos contaminantes en aguas, sedimentos y biota de la CGSM, como para efectuar comparaciones y diagnosticar cuantitativamente el cambio, la presencia de estos elementos en el medio significa claramente un deterioro del mismo y una desviación de las condiciones ideales del ecosistema.

Aunque asociada a las descargas de aguas negras mencionadas en el numeral anterior (Impacto II - Enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes inorgánicos), la contaminación por bacterias de origen fecal se discute mejor aquí, pues la condición patógena de las mismas les da el carácter de tóxicas. Al respecto existen estudios desde 1972 (Molinares 1972; Jeske 1976; Escobar Nieves, 1988; INVEMAR-datos sin publicar), en los cuales se cuantificó la concentración de coliformes fecales en aguas y en ostras de la Ciénaga. Mientras que en 1972-1973 se encontraron concentraciones de alrededor de 425 coliformes/100 ml,

en 1987 y 1995 se han encontrado concentraciones que van desde 10000 hasta 46000 coliformes/100 ml en aguas de las zonas norte y oriental de la Ciénaga Grande. Estos valores son mayores que los permitidos por la legislación colombiana. Por otro lado, mientras que en 1973 las pruebas para *Salmonella* en ostras (*Crassostrea rhizophorae*) resultaron negativas (Molinares, 1972; Jeske, 1976), en 1987 y 1995 se detectó la presencia de esta bacteria en este molusco (Escobar Nieves, 1988; M.L. Fontalvo-INVEMAR, com. pers.).

IV. Alteración directa o indirecta de la estructura de las comunidades

La alteración directa de la estructura de las comunidades de fauna y flora en la CGSM se ha dado por las actividades de pesca (sobrepesca) y podría estar ampliándose además por introducción de especies exóticas, específicamente diferentes tipos de *Tilapia*. Por otra parte, las poblaciones de peces e invertebrados y de aquellos organismos terrestres o arbóreos (mamíferos, reptiles, aves) asociados a los bosques de manglar, no solamente han sufrido la explotación directa por parte del hombre sino que a su vez han y continúan siendo afectadas por el deterioro generalizado de las condiciones abióticas (incrementos de la salinidad, reducciones en los niveles de oxígeno disuelto, presencia de contaminantes, muerte del manglar, entre otros) del ecosistema. La figura 7 muestra como, entre 1987 y 1993 (años para los cuales hay información cuantitativa) las poblaciones de peces disminuyeron en biomasa en un 70% y en abundancia (número de individuos) en un 75% y la diversidad de la comunidad íctica, vista como número de especies, disminuyó en un 35% de la encontrada en 1987 (Santos-Martínez y Acero, 1991 y A.Santos, datos sin publicar). Aunque las estadísticas sobre captura y esfuerzo pesquero solamente son confiables para los últimos dos años, algunas comparaciones de registros de movilización pesquera del Inderena indican que desde los años 60 la pesca ha ido disminuyendo (Pro-Ciénaga, 1994). Así mismo, los trabajos de Santos-Martínez y Acero (1991) y Santos-Martínez y Arboleda (1993) y los resultados de las encuestas que viene realizando desde hace dos años el INVEMAR en la zona, indican que ha habido una disminución en las tallas de captura de las principales especies comerciales, una aparente disminución en las tallas mínimas de madurez sexual de algunas especies, y un gran aumento del esfuerzo pesquero tanto sobre las especies tradicionalmente comerciales (mojarra rayada, lebranche, lisa, robalo, sábalo, chivo) como sobre especies que otrora no se comercializaban por ser menos apetecidas en el mercado (meona, macabí, cachaca, mojarra blanca y jaibas). Lo anterior

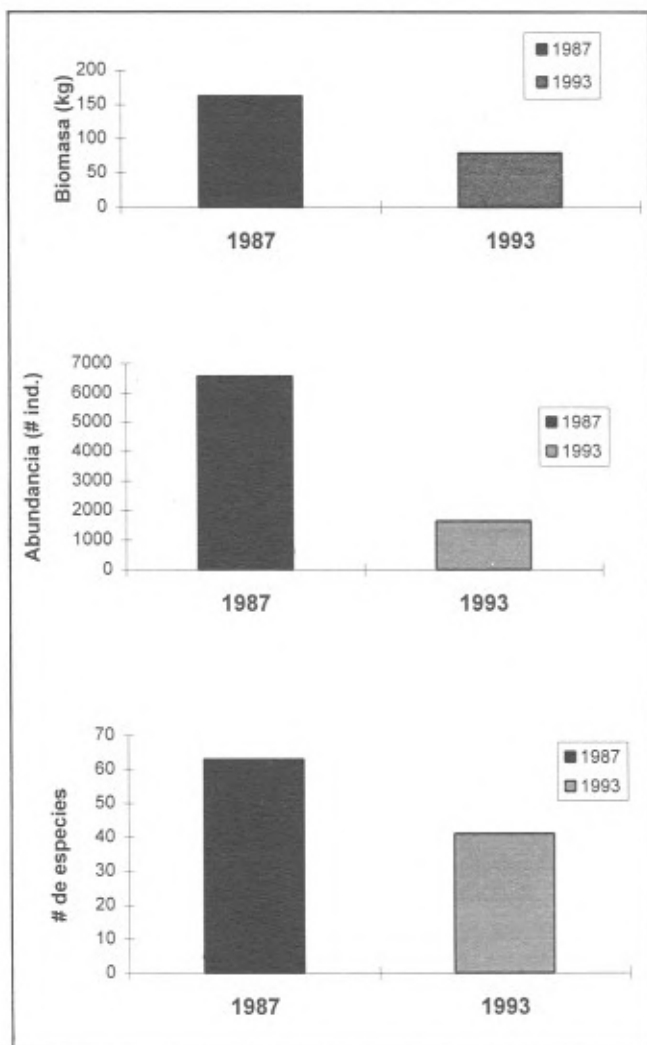


Figura 7. Cambios en la biomasa, abundancia y diversidad (número de especies) de la comunidad íctica de la CGSM entre los años 1987 y 1993.

está relacionado con la reducción progresiva en los últimos 8 años, del tamaño del ojo de malla del boliche (principal arte de pesca de la zona), de 10.7 en 1987 a 5.08 en 1995 lo cual hace que este arte sea poco selectivo (Rueda, 1995). Paralelo a la disminución del ojo de malla del boliche se ha dado el incremento en el uso de métodos muy destructivos como el zangarreo y la dinamita.

La figura 8 presenta una comparación entre la diversidad (número de especies) actual de la malacofauna de la laguna y la de 1973, cuantificada con métodos iguales (Cosel, 1986; M. Puyana-INVEMAR-datos sin publicar). Se observa que el número de especies de bivalvos se ha reducido en un 62.5% y el de gastrópodos en un 79%.

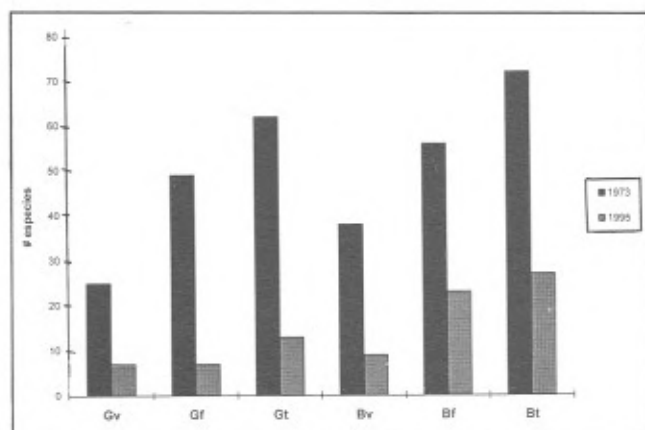


Figura 8. Número de especies de moluscos (gastrópodos y bivalvos) encontrados en la CGSM en los años 1993 y 1995 mediante muestreos con métodos equivalentes. G=Gastropoda; B=Bivalvia; t=total; v=vivos; f=recientemente muertos.

Un posible plan de recuperación del sistema.

Las alteraciones de origen antrópico sobre el ecosistema de la CGSM aquí discutidas, aunque clasificadas en cuatro grupos para facilitar su entendimiento, están muy relacionadas unas con otras y los efectos de las mismas generalmente son sinérgicos y no aislados. Por ejemplo, la disminución y cambios en las comunidades de peces y en la pesquería están relacionadas tanto con las alteraciones físicas como con el enriquecimiento con materia orgánica, introducción de tóxicos, muerte del manglar y sobrepesca por el hombre. Así mismo, el enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes que ocasiona la eutroficación puede ocasionar tanto la anoxia, por el florecimiento exagerado del fitoplancton, como la aparición de sustancias nocivas cuando estos florecimientos son de microalgas tóxicas.

La existencia del Proyecto Pro-Ciénaga, cofinanciado por la nación mediante un empréstito con el BID, asesorado técnicamente por la GTZ (Agencia Alemana de Cooperación Técnica), y ejecutado por CORPAMAG/Ministerio del Medio Ambiente, tiene como objetivo rehabilitar la CGSM en términos de su función, procesos, usos y valores. Los esfuerzos del proyecto se centran en la recuperación del balance hidrológico del sistema mediante la reapertura de los caños que provienen del río Magdalena y en la restauración de algunas de las comunicaciones con el mar a través de alcantarillas (box-culverts). Una vez rehabilitados los flujos hídricos y reestablecidos los ciclos normales de inundación y lavado, se espera que los suelos del manglar recobren condiciones adecuadas para

soportar la vegetación que proveerá el habitat y refugio necesario para diferentes especies de peces, invertebrados, aves, reptiles y mamíferos. Algunos de estos efectos ya se han hecho palpables sobre la Isla de Salamanca, en zonas adyacentes a las alcantarillas o "box-culverts" construidos entre 1985 y 1994 para recomunicar el mar con la Ciénaga. Actualmente se está concluyendo la obra de reapertura de uno de los grandes caños (Canal Clarín) que comunicarán al río Magdalena con el sistema de ciénagas. Lo anterior, junto con medidas de control a la pesca, caza y tala, podría significar el incremento de la biodiversidad y de la productividad del ecosistema. Con el fin de poder evaluar estos efectos, desde 1993 se viene ejecutando un plan de monitoreo intensivo de variables físicas, químicas y biológicas que servirán de indicadores de la rehabilitación o no del sistema. Quizá una de las mayores incógnitas es la relativa al posible efecto que los contaminantes presentes en el agua del río Magdalena puedan tener sobre la fauna y flora de las ciénagas. Sin embargo, el estado en que se encuentran otras ciénagas que nunca han perdido su comunicación con el mismo río brinda expectativas, más positivas que negativas, sobre la rehabilitación del ecosistema. Además, durante los pocos pero fuertes eventos de desbordamiento del río sobre el sistema, que se han dado en la última década, se ha observado una rápida recuperación del mangle así como un importante incremento de la pesca, los cuales vuelven a decaer cuando comienzan a imperar de nuevo las condiciones secas. Adicionalmente a lo anterior, los gobiernos nacional y departamental están trabajando en el diseño e implementación de medidas de alivio social en las poblaciones palafíticas y costeras lo cual deberá redundar en una disminución de la contaminación por vertimiento de aguas servidas y en un ordenamiento de las pesquerías, todo lo cual, aunado a un abundante desarrollo del manglar, contribuiría a disminuir la eutroficación de la laguna y el deterioro de las comunidades de los recursos hidrobiológicos.

Bibliografía

- Bernal, G.** 1995. Caracterización geomorfológica de la llanura deltaica del Río Magdalena con énfasis en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. En: Características geomorfológicas y sedimentológicas como indicadores de procesos físicos en el sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, plano deltaico del Río Magdalena. Informe final de proyecto. COLCIENCIAS, INVEMAR, EAFIT. 1: 23-42.
- Bernal, G. y J. Betancur.** 1994. El sistema lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el contexto deltaico del Río Magdalena. Memorias del IX Seminario de Ciencias y Tecnologías del Mar. Medellín.
- Botero, L.** 1990. Massive mangrove mortality on the Caribbean coast of Colombia. *Vida Silvestre Neotropical* 2 (2): 77-78.
- Botero, L. & M. Marshall.** 1994. Biodiversity within the living, dying and dead mangrove forests of the Ciénaga Grande de Santa Marta. Mote Marine Laboratory Technical Report Number 366. Submitted to: World Wildlife Fund-Biodiversity Support Program. INVEMAR (Santa Marta)-Mote Marine Laboratory (Sarasota). 34 p + anexos.
- Campos, N.H.** 1990. La contaminación por metales en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 16 (77): 623-631.
- _____. 1991. La ostra comercial de la Ciénaga Grande de Santa Marta *Crassostrea rhizophorae* y la problemática de la contaminación por metales. *Trianea*, 4: 623-631.
- _____. 1992a. Descarga de metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, con el material suspendido. *Rev. Cont. Amb.*, 23: 11-31.
- _____. 1992b. Concentraciones de metales trazas en *Ariopsis bonillai* (Pisces: Siluriformes) de Santa Marta, Caribe colombiano. *Rev. Biol. Trop.*, 40 (2): 179-183.
- Cardona, P.** 1991. Características de los suelos del manglar del costado noroccidental de la Ciénaga Grande de Santa Marta y su relación con algunos atributos de la vegetación. Tesis MSc. Universidad de Antioquia. Medellín. 110 p.
- Cardona, P. & L. Botero.** 1995. Soil characteristics and vegetation structure in a heavily deteriorated mangrove forest in the Caribbean coast of Colombia. En: Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande del Río Magdalena-Delta Exterior del Río Magdalena, 3a etapa. Informe final. L. Botero y E. Mancera (eds.). INVEMAR. Santa Marta.
- CETIH,** 1978. Diagnóstico sobre el comportamiento hídrico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final. Universidad de los Andes-Inderena. Bogotá.
- Cosel, R. von.** 1986. Moluscos de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 15-16: 79-370.
- Day, J.W. Jr., C.A.S. Hall, W.M. Kemp & A. Yañez-Arancibia.** 1989. Estuarine Ecology. John Wiley & Sons. New York. 558 p.
- Escobar Nieves, A.** 1988. Condición bacteriológica de las ostras del manglar (*Crassostrea rhizophorae* Guiling) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*. 18: 137-152.
- Espinosa, L.F., G. Ramírez & N.H. Campos.** 1995. Análisis de residuos organoclorados en los sedimentos de zonas de manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Bahía de Chengue, Caribe colombiano. *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 24: 79-94.
- Gallo, M.C.** 1994. Contaminación por metales pesados en áreas de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Bahía de Chengue, Caribe colombiano. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 71 p + anexos.
- González, E.** 1991. El manglar de la ciénaga Grande de Santa Marta: ecosistema en peligro de extinción. Colombia, sus gentes y regiones, IGAC, 21: 2-21.
- Himat-Ingeominas.** 1991. Estudio de la contaminación del Río Magdalena por metales traza, su relación con parámetros hidrológicos, fisicoquímicos, y su incidencia en la salud humana. HIMAT-INGEOMINAS. Bogotá.
- Hurtado, L.H., J.E. Mancera, R. Giraldo, S. Zea & R. Madera.** 1995. Comportamiento espacial y temporal de la salinidad en la Ciénaga

- Grande de Santa Marta-Colombia, periodo 1970-1994. En: Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande del Río Magdalena-Delta Exterior del Río Magdalena, 3a etapa. Informe final. L. Botero y E. Mancera (eds.). INVEMAR. Santa Marta.
- Inderena-Sodeic Ltda.** 1987. Estudios y diseños complementarios para la construcción de las obras de recuperación de la región deltaico-estuarina del Río Magdalena, en especial del área del Parque Nacional Natural Isla de Salamanca. Inderena. Bogotá.
- Jeske, R.** 1976. Estudios bacteriológicos en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Mitt. Inst. Colombo Aleman Invest. Cient. Punta Betín, 8: 17-32.
- Mancera, J.E. & L.A. Vidal.** 1994. Florecimiento de microalgas relacionado con mortandad masiva de peces en el complejo lagunar Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín, 23: 103-117.
- Molinares, A.M.** 1972. Proyecto para el desarrollo de la pesca marina en Colombia: estudio sobre la polución bacteriológica en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Inderena. Colombia.
- Nichols, F.H., J.E. Cloern, S.N. Luoma & D.H. Peterson.** 1986. The modification of an estuary. Science, 231: 567-573.
- Plata, J., N.H. Campos & G. Ramírez.** 1993. Flujo de compuestos organoclorados en las cadenas tróficas de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Caldasia, 17 (2): 199-204.
- Pro-Ciénaga.** 1994. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto: Reapertura de Canales en el Delta Exterior Derecho del Río Magdalena. Informe Final. Santa Marta. 362 p.
- Ramírez, G.** 1995. Estado actual de la contaminación por metales pesados y residuos de plaguicidas organoclorados en el sistema hídrico de la Ciénaga Grande de Santa Marta. En: Estudio Ecológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta-Delta Exterior del Río Magdalena, 3a etapa. Informe final. L. Botero y E. Mancera (eds.). INVEMAR. Santa Marta.
- Rueda, M.E.** 1995. Evaluación de la eficiencia y selectividad de las redes de enmalle en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de grado. Universidad del Magdalena. Santa Marta.
- Santos-Martínez, A. & A. Acero.** 1991. Fish community of the Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia), composition and zoogeography. Ichthyol. Explor. Freshwaters, 2 (3): 247-263.
- Santos-Martínez, A. & S. Arboleda.** 1993. Aspectos biológicos y ecológicos del macabí *Elops saurus* Linnaeus (Pisces: Elopidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta y costa adyacente, Caribe colombiano. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 22: 77-96.
- Serrano, L.A., L. Botero, P. Cardona & J.E. Mancera-Pineda.** 1995. Estructura del manglar en el Delta Exterior del Río Magdalena-Ciénaga Grande de Santa Marta, una zona tensionada por alteraciones del equilibrio hídrico. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 24: 135-164.
- Toro, B.** 1995. Factibilidad ecológica de desarrollar bancos de ostras en la Ciénaga de Pajaral. Tesis de grado. Universidad de Antioquia. Medellín. 54 p + anexos.
- Wallner-Kersanach, M.** 1994. Assessment of trace metal pollution of Todos os Santos Bay, Brazil, on basis of measurements of bivalves and sediments. Tesis de Doutorado. Universidade de Bremen, RFA.
- Wiedemann, H.U.** 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia: Physical parameters and geological history. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient. Punta Betín, 7: 85-119.

LOS BOSQUES DE *GUANDAL* DEL DELTA DEL RIO PATIA (COLOMBIA)

por

Jorge Ignacio del Valle¹

Resumen

del Valle, J.I. : Los bosques de *guandal* del delta del río Patía (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 475-489, 1996. ISSN 0370-3908.

Este ensayo pretende dar cuenta de las principales características de los humedales forestales turbosos sobre pantanos de agua dulce del delta del río Patía, Pacífico Sur colombiano, denominados localmente bosque de *guandal*. Se describe su localización y relaciones con otros humedales forestales del mismo delta: manglares y natales. El ensayo hace énfasis en temas tales como: clima, geología y geoformas, suelos, características de las aguas de inundación, asociaciones vegetales más comunes en estos bosques: *sajales*, *cuangariales*, *naidizales* y *guandales* mixtos. Se hace énfasis en aspectos estructurales y florísticos característicos de estas asociaciones.

Palabras claves: Chocó Biogeográfico, Pacífico colombiano, bosques de *guandal*, humedales forestales turbosos, *sajales*, *cuangariales*, *naidizales*, delta del río Patía.

Abstract

This essay seeks to present the main features of the peaty forested wetlands on fresh water swamps of the Patía River delta, in the Colombian Southpacific, locally called *guandal forests*. Their location and relationships to other forested wetlands in the same delta: mangrove forests and *natales*, are described. Emphasis is made on the following topics: climate, geology, and geomorphology, soils, characteristics of flooding waters, and most common plant associations in these forests: *sajales*, *cuangariales*, *naidizales*, and mixed *guandales*. Characteristic structural and floristic aspects of these associations are emphasized.

Key words: Biogeographical Chocó region, Colombian Pacific, *guandal* forest, peaty forested wetlands, *sajales*, *cuangariales*, *naidizales*, Patía River delta.

¹ Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Apartado Aéreo 1779, Medellín.
E-mail: jidvalle@perseus.unalmed.edu.co.

Introducción

El hoy llamado Chocó Biogeográfico, que se podría situar en cuanto al litoral Pacífico entre Esmeraldas, Ecuador, y la ciudad de Panamá, e inclusive, un poco más al norte, hasta la península de Osa en Costa Rica, es un oasis en el árido y aun desértico Pacífico americano. Efectivamente, entre estos dos puntos se desplaza dos veces al año, de sur a norte y de norte a sur, en eterno y monótono ritornelo: (enero-julio-enero), la Zona de Convergencia Intertropical, ZCI, portadora de las lluvias, o "*mal tiempo*", características de estos climas ecuatoriales.

Por esto no es de extrañar que los ríos San Juan y Patía sean los más caudalosos, no sólo del litoral Pacífico colombiano, sino también de toda la cuenca del Pacífico en América al sur del río Columbia en Estados Unidos de América. La temática de este ensayo tiene lugar en parte del sistema deltaico del río Patía, el cual, poco después de romper la cordillera Occidental en la Hoz de Minamá, se dirige raudo hacia el océano Pacífico y forma un enorme delta de más de 3.000 km², cuyos cauces primigenios siguieron aproximadamente los cursos actuales de los ríos Tapaje y la Tola (Thouret, 1983), pero a los cuales Parra (1995) extiende hasta el río Iscuandé, además del de su curso actual, que es el más sureño, por cuanto las colinas del Terciario le limitaron su deriva. Los estudios se llevaron a cabo principalmente en el municipio Olaya Herrera, cuya cabecera municipal, Bocas de Satinga, se levanta en la desembocadura del río Satinga al río Sanquianga, litoral Pacífico del departamento de Nariño (véase la figura 1). Casi todo el municipio se encuentra entre estos dos ríos, incluyendo la zona estuarina y de marismas del último de ellos.

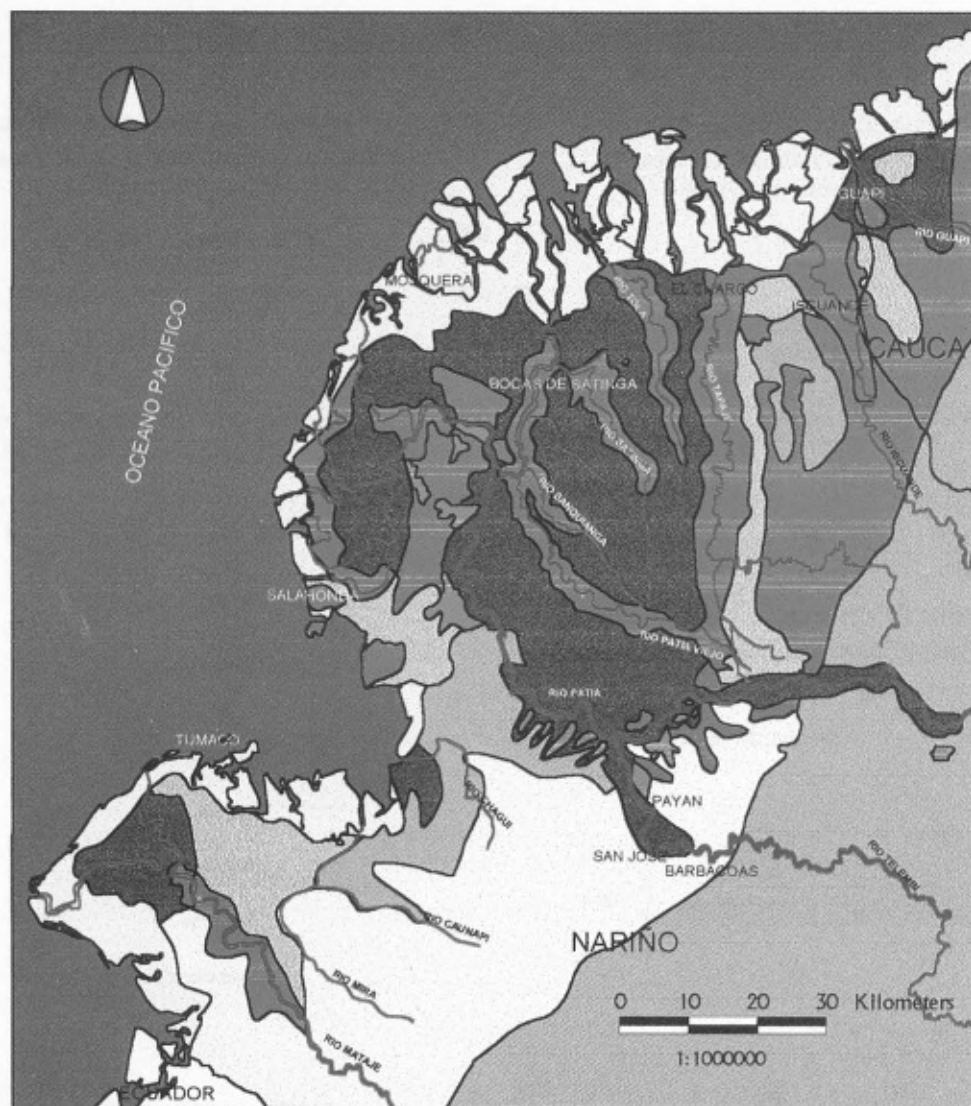
Hasta 1973, el río Sanquianga era un pequeño río independiente del Patía. A partir de este año, una empresa maderera construyó una pequeña *cuneta* (canal de cerca de 1 m de ancho y 1 a 2 m de profundidad) que unió el río Patía Viejo con la *quebrada* La Turbia, afluente del Sanquianga, lo cual, finalmente, devino en que el grueso de las aguas del Patía y el total de las del Patía Viejo se transvasaran al Sanquianga a través del así llamado canal Naranjo que hoy supera los 200 m de ancho. Aparte de los enormes impactos ambientales, sociales y económicos que ello ocasionó al ecosistema y a sus pobladores, este hecho da cuenta de la inestabilidad del delta del río Patía en toda el área de estudio. Los bosques de *guandal* de su delta y ríos asociados, marco ecosistémico de este ensayo, se encuentran localizados aproximadamente entre los 1°50' y los 2°07' de latitud norte y los 77°50' y 78°40' de longitud oeste.

Guandal significa pantano en el Pacífico Sur colombiano. De ahí que bosque de *guandal* significa bosque pantanoso, o mas técnicamente, humedal forestal. Desconozco el origen de esta palabra que podría ser sindagua, grupo indígena que a la llegada de los españoles habitaba el Pacífico Sur y cuyo ancestro maya parece estar fuera de dudas (Restrepo & del Valle, 1996). En maya al es agua.

Clima

Para caracterizar sucintamente el clima del delta del río Patía, ocupado por los bosques de *guandal*, acudiré a la información que suministra un artículo reciente (del Valle, 1994). Como corresponde a las áreas tropicales localizadas casi al nivel del mar al punto de que a Bocas de Satinga lo afecta el flujo diario de las mareas, cuyas *pujas* de más de 4 m ocasionalmente cubren con una lámina de agua durante una o dos horas algunos diques del bajo Sanquianga así como los natales, la temperatura es alta y su promedio anual de 26°C, con mínimas variaciones mensuales multianuales de sólo 0,7°C como máximo en las estaciones más cercanas que miden esta variable, Tumaco y Guapi. Tan pequeñas diferencias oscurecen los extremos que han llegado a medias máximas de 28,2°C durante un marzo y un octubre en los 35 años de registros de Tumaco, y medias mínimas como durante un mes de enero con 22,6°C registrado durante el mismo lapso en la citada estación. Asimismo, en Tumaco, la temperatura mínima absoluta registrada en el período ocurrió un mayo y fue de 11,9°C, y la máxima absoluta de 36,2°C, en octubre. Las diferencias entre las temperaturas promedias máximas y mínimas absolutas tienen igualmente una amplitud considerable: 10,6°C y 13,6°C para Tumaco y Guapi, respectivamente (véase la figura 2). Todo ello induce a pensar que en estos climas ecuatoriales los promedios esconden grandes variaciones y le dan pábulo al aserto citado por West: "la noche es el invierno del trópico" (1957:25).

Como habíamos mencionado, la ZCI, o frente ciclónico de *mal tiempo*, se desplaza en el litoral Pacífico americano desde los 0° de latitud, hasta los 8-10° de latitud norte. Esta es una faja de bajas presiones en la que convergen masas de aire débiles, constantes y cargadas de humedad llamadas vientos alisios, procedentes de los cinturones subtropicales de altas presiones: los del hemisferio norte soplan del noreste; y los de hemisferio sur, del sureste. La masa de aire resultante de la convergencia asciende por fenómenos convectivos con el consecuente enfriamiento y pérdida de la capacidad de retención de humedad, produciéndose una alta nubosidad y, como consecuencia, abundantes lluvias.



— Rios

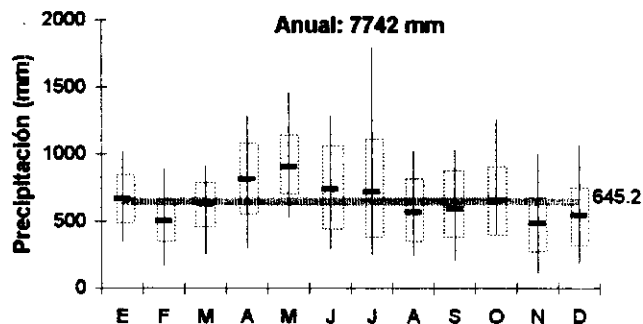
- Bosque mixto muy complejo (colinas altas)
- Bosque mixto muy complejo (terrazas planas no disectadas)
- Bosque mixto muy complejo (colinas del terciario y terrazas bajas no disectadas)
- Bosque mixto y Agricultura (diques y vegas altas)
- Bosque mixto, Agricultura y Ganaderia (terrazas altas)
- Bosques de guandal (planicie de inundacion)
- Ecuador
- Lagunas
- Manglares y Natales (planicie mareal)
- OCEANO PACIFICO

Figura 1. Bosques de guandal del Pacifico Sur colombiano y ecosistemas aledaños.

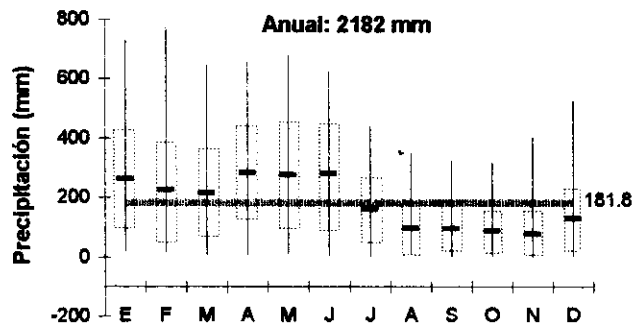
A

Estación: Barbacoas (Mongón)

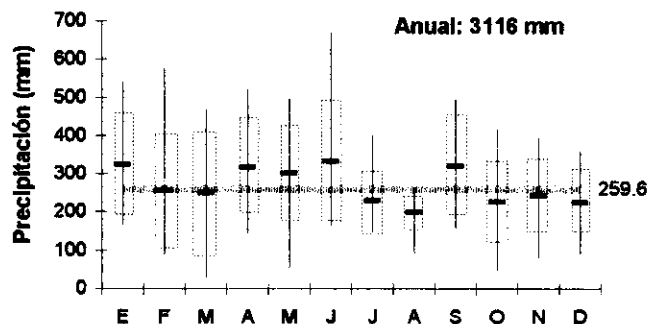
Latitud: 1°41'N Longitud: 78°04'W Altitud: 50 manm
Años: 31 Fechas: 1937/1968

**Estación: Apto La Florida (Tumaco)**

Latitud: 1°49'N Longitud: 78°45'W Altitud: 3 manm
Años: 45 Fechas: 1948/1993

**Estación: El Charco**

Latitud: 2°31'N Longitud: 78°06'W Altitud: 50 manm
Años: 11 Fechas: 1983/1993

**Convenciones**

- Media mensual
- Media anual
- Máxima
- Mínima
- Desviación estándar

B

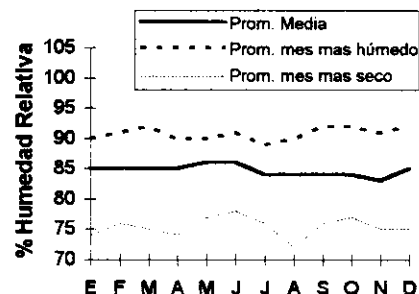
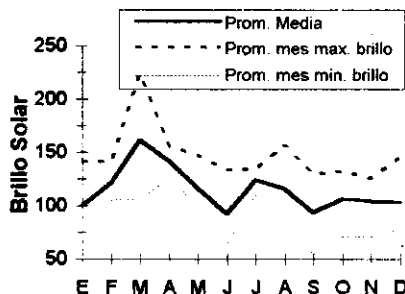
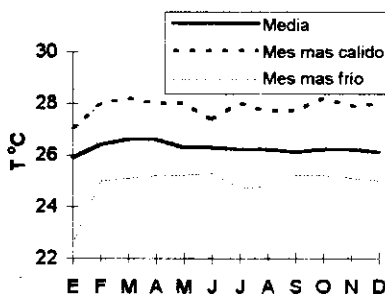
Tumaco

Figura 2. A. Variación anual de la precipitación en tres estaciones del Pacífico Sur colombiano en torno de los bosques de *guandá*. B. Distribución anual de la temperatura, el brillo solar y la humedad relativa en Tumaco. (Fuente: del Valle, 1994).

El reparto desigual de la tierra y el mar en el globo terráqueo, aquélla en mayor proporción en el hemisferio norte, y las diferencias térmicas entre ambos materiales, en razón de que la tierra se calienta y enfría con mayor rapidez que el agua, explican el hecho de que la ZCI se sitúe, por lo regular, al norte del ecuador geográfico. Por esta razón, el llamado ecuador climático se encuentra desplazado hacia el norte del geográfico 0° de latitud; en el litoral Pacífico éste pasa al norte de Guapi, a unos 2°40' de latitud norte. Dicha circunstancia implica que los bosques de *guandal* del delta del río Patía se encuentran regidos más por el clima del hemisferio austral que por el del boreal; por ello el primer semestre es menos lluvioso que el segundo con picos máximos, por lo regular, en mayo-junio y no, como sucede en Buenaventura, estación típica del hemisferio norte, que se presenta en octubre.

En el Pacífico Sur, las precipitaciones aumentan rápidamente de sur a norte al punto que entre Tumaco y Guapi se duplican de 2.182 a 3.966 mm/año. Más dramático aún es el efecto de "Föhn" producido al enfriarse las corrientes de aire que ascienden por el flanco oeste o barlovento de la cordillera Occidental, las cuales, al perder su capacidad de almacenamiento de humedad, generan abundantes precipitaciones que ya en Barbacoas frisan los 8.000 mm al año, cuatro veces más que Tumaco, en menos de 80 km (véase la figura 2). Este es, después de la ZCI, el otro gran factor que determina el clima del Pacífico Sur colombiano. De acuerdo con las isoyetas de **del Valle** (1994), la precipitación en los bosques de *guandal* del delta del río Patía varía desde unos 3.500 mm anuales en su posición más occidental, hasta 6.500 mm cerca del piedemonte cordillerano. En Bocas de Satinga, cabecera municipal de Olaya Herrera, se estima una precipitación cercana a los 3.500 mm anuales.

La alta nubosidad prevaleciente durante todo el año, sólo permite cerca de 3,6 horas de brillo solar diarias en promedio. Se estima que la humedad relativa debe ser muy alta, quizá similar a la de Guapi cuyo promedio llega al 89 %. Habré de decir, finalmente, que en los bosques de *guandal* del delta del río Patía, los meses ecológicamente secos con menos de 60 mm de lluvia son muy escasos en las áreas más cercanas al litoral, e inexistentes en las partes más lluviosas hacia el piedemonte de la cordillera Occidental.

De acuerdo con el sistema de **Holdridge** (1982), el delta del río Patía pertenece a las zonas de vida o bioclimas Bosque Húmedo Tropical temperatura media mayor de 24° C y 2.000-4.000 mm de precipitación anual hasta la isoyeta de los 4.000 mm y Bosque muy Húmedo Tropical igual

temperatura y pluviosidad entre 4.000 y 8.000 mm al año en el área comprendida entre los 4.000 y 6.500 mm.

Geología y geoformas

La historia geológica informa que en el Oligoceno, y durante el Mioceno, existió en el Pacífico una enorme fosa ocupada por el mar que se extendía unos 1.400 km entre Guayaquil, Ecuador, y el actual golfo de Urabá en Colombia, denominada por **Nygren** en 1950 geosinclinal Bolívar o cuenca Chocó-Pacífico (**Galvis & Mojica**, 1993). Esta depresión se fue paulatinamente rellenando con sedimentos de la cordillera Occidental y, de acuerdo con algunos autores (**West**, 1957), con sedimentos de la llamada cordillera de la Costa, hoy desaparecida, los cuales alcanzan espesores de entre 7.000 y 11.000 m (**Thouret**, 1983). La isla Gorgona sería un testigo superstite de tal cordillera. Pero también hubo aportes piroclásticos producidos por el vulcanismo de la cordillera Occidental. Estos sedimentos se acumularon en un medio marino; es así como al final del Cenozoico y durante el Cuaternario la estratigrafía indica limolitas, conglomerados, tobas y aglomerados volcánicos, areniscas y arcillolitas (**Galvis & Mojica**, 1993).

El final del Pleistoceno e inicio del Holoceno —últimos 10.000 años— estuvo marcado por el calentamiento de la tierra, ello ocasionó el ascenso del mar con la concomitante disminución de la pendiente y de la velocidad de los ríos, creando, por ende, condiciones favorables para los procesos de sedimentación en el litoral Pacífico.

Los grandes cambios climáticos producidos durante el Holoceno han afectado el delta del río Patía. De acuerdo con varios autores, la desembocadura de este río ha venido migrando desde el río Tapaje hasta su posición actual, formando abanicos aluviales entre estos dos ríos (**Galvis & Mojica**, 1993; **von Prahl et al.**, 1990 y **Thouret**, 1983) y terrazas del Pleistoceno en el pie de monte. **Parra** (1995), por el contrario, considera éste un delta de marea típico que se extiende desde Salahonda hasta el río Iscuandé; esta gran unidad es "...la única de este tipo en el Pacífico de toda América" (**Parra**, 1995). En líneas generales dicho autor describe así el delta del río Patía: el fenómeno más importante en este delta es la acción de una corriente que impulsan las mareas altas de 4 a 4,5 m hacia el continente, inicialmente a través de los cauces de los ríos y de los canales de marea o esteros, pero que llega a cubrir las marismas con una delgada lámina de agua salobre. Cuando baja la marea, se establece una contracorriente con un gran poder erosivo que evacua esta enorme masa de agua redistribuyendo los detri-

tus finos aportados por los ríos, los cuales, finalmente, se depositan cuando el agua se aquieta; la carga gruesa es transportada por la contracorriente hacia el delta subacuático costa afuera (Parra, 1995).

La dinámica de las mareas y las corrientes costeras en dirección suroeste han modelado el delta actual, cuyas principales características son, según Parra (*op. cit.*):

“En su contacto con el mar, el delta tiene una forma típica de domo suavemente convexo producido por los aportes de sedimentos que exceden la capacidad redistributiva de las corrientes costeras.

El delta está atravesado por numerosos canales mareales perpendiculares a la línea de la costa que separan áreas semisumergidas, cuya forma elongada sigue la dirección de los canales. Este conjunto se denomina planicie mareal deltaica y constituye la parte subaérea del delta. Las áreas intercanales sólo están emergidas durante la marea baja, y en su mayor parte ocurre una sedimentación de limos y arcillas grises, con excepción de algunos remanentes arenosos o firmes ubicados en su periferia y adyacentes a los canales principales; en la línea costera, estas áreas toman forma elongada paralela o la costa debido al efecto de las corrientes costeras. Esta zona es el hábitat natural del manglar.

La planicie deltaica superior es el área no afectada por la marea y, por tanto, está sometida a la dinámica fluvial normal con la formación de los cordones areno-limosos adyacentes a los causes de los ríos diques y detrás de ellos, las planicies de inundación con sustrato turboso donde se asientan los bosques de *guandal*.

La transición entre la planicie deltaica mareal y la planicie deltaica superior está ocupada por sustratos de limos orgánicos con o sin turbas: es este el hábitat de los natales”.

Lamaré planicie de marea aquellos paisajes afectados por las mareas y, por tanto, por aguas salinas o, al menos, salobres. Se encuentra ocupada por el sistema estuarino así como por marismas generalmente cubiertas por manglares, barras, *bajos* y *firmes* que reflejan un continuo proceso de acrecimiento edáfico. En las zonas no afectadas por las mareas y, en consecuencia, por la resedimentación producida por ellas, se encuentra la planicie o llanura aluvial de inundación. El área transicional que separa la planicie de marea de la aluvial es un suelo muy estabilizado ocupado por bosques denominados na-

tales. La planicie de inundación da asiento a los *guan- dales*; los cuales, durante los últimos milenios -Holoceno reciente- probablemente han venido avanzando a costa de los manglares al tiempo que estos colonizan nuevos bajos donde el cieno casi aflora en la bajamar. Este proceso podría acelerarse con la desviación del río Patía hacia el Sanquianga que desemboca en pleno Parque de los Manglares o Parque Natural Nacional Sanquianga, dado su caudal unos 1.000 m³/seg y la abundante carga de sedimentos de la cual es portador. Galvis & Mojica (1993) consideran que este es el río más cargado del país. Por ahora, los efectos visibles incluyen la ampliación del cauce por erosión lateral así como la aparición en el lecho de barras laterales. Además, se han ampliado los cordones laterales costeros cercanos a la bocana con barras, playas, etcétera, por traslación de la corriente costera.

En la planicie mareal deltaica no es usual encontrar turberas en los manglares, como sí sucede en la planicie de inundación ocupada por los bosques de *guandal*, por razones como éstas: 1) la gran oscilación de las mareas permite la aireación de la materia orgánica; 2) la marea transporta y redistribuye los detritus de las plantas, limos, arcillas y arenas, y 3) la abundante fauna consume gran cantidad de detritus orgánicos. En los natales y *guan- dales* sí se dan las condiciones para la formación de turbas. Cuando las aguas salobres entran a los *guan- dales*, la mayoría de sus especies vegetales mueren, tal como ocurrió en los maremotos de 1906 y 1979, por cuanto el ingreso de agua salada a las depresiones turbosas de los *guan- dales* provocó el reemplazamiento de las especies del *guandal* por las del natal y del manglar. Se estima que, a causa de ese maremoto, el suelo bajó unos 50 cm; la penetración del agua salobre aniquiló extensas áreas de bosques de *guandal* en las bocas del río Patía aledañas a Salahonda. Sólo en estos casos, según von Prahl *et al.* (1990), se encuentran en este delta manglares sobre sustrato turboso. La apertura de canales artificiales en los natales para extraer madera de ellos y de los *guan- dales* podría producir un efecto similar.

Aunque desde el Plioceno temprano -3,7 a 3,1 m.a.- se cerró el paso entre los océanos Pacífico y Atlántico por el levantamiento y emergencia completa del istmo de Panamá (Duque, 1993), en la actualidad quedan porciones del geosinclinal Bolívar no totalmente colmatadas. El delta del río Patía y el de los ríos asociados evidencian este hecho. Así, la planicie, llanura aluvial o de inundación se encuentra conformada por diques y vegas del Holoceno reciente dispuestas a ambos lados de los ríos y *quebra- das*. He enviado a analizar muestras de turba y de madera colectadas en un horizonte orgánico de un dique en la vereda Las Marías del río Satinga, entre los 92 y 112 cm

de profundidad, sobre el cual se depositaron capas de sedimentos minerales mezclados con algo de turba; arrojan edades C^{14} de 2910 ± 60 años AP y 2920 ± 50 años AP, respectivamente- Beta Analytic 82331 y 82332.

A manera de anticlinal se levanta en el bajo Patía la serranía del Gallinazo, de muy bajo relieve, pero con escarpes pronunciados hacia la costa, formando acantilados hacia el norte de la rada de Tumaco de hasta 70 m de altura. Estas colinas bajas están sometidas a levantamientos recientes y se componen de sedimentos del Terciario superior del Pacífico; por ello algunos las llaman colinas del Terciario, formadas, según **Martínez** (1993), por arcillolitas y conglomerados de la formación Naya. Esta serranía establece el límite sur del delta del río Patía.

Surcada por los diques de los ríos de las planicies de inundación yace una superficie plano-cóncava inundada, que, como dije, alberga los bosques de *guandal*. Debido a los cauces abandonados y "madres viejas" de los ríos y *quebradas* de la región, en especial del río Patía, descrito como meandriforme y de curso divagante por **Galvis & Mojica** (1993), con frecuencia se encuentran bateas en diferentes grados de colmatación por rellenos orgánicos y minerales y con diferentes tipos de vegetación, en dependencia de la profundidad del agua; ellas conforman lagunas donde a veces nacen ríos y *quebradas*. En las vaguadas de las colinas del Terciario aledañas al río Patía, al oeste de la desembocadura del río Telembí, abundan también sistemas lagunares.

Suelos

Uribe & Marín (1990), quienes estudiaron los suelos de los diques y vegas del río Sanquianga, los agruparon dentro del orden Entisol, subórdenes Fluvaquent y Tropaquent, en razón del escaso desarrollado de su perfil, revelador de su juventud. En general, como cabría esperarlo, sus principales limitaciones son la baja fertilidad y el mal drenaje. Químicamente, son de muy ácidos a moderadamente ácidos; bajos en fósforo; el calcio y el magnesio se encuentran en cantidades adecuadas, pero el potasio está en el límite de la deficiencia. Los contenidos de nitrógeno son de altos a normales; la capacidad catiónica de cambio efectiva es de media a baja, pero el porcentaje de saturación de bases es muy alto. Casi todos los asentamientos humanos y los cultivos se encuentran sobre estos paisajes.

Los suelos *guandalosos* propiamente dichos ocupan las porciones más cóncavas y mayoritarias del plano de inundación. Ellos dan asiento a comunidades vegetales

con diferentes grados de intervención y diferentes estadios serales denominadas genéricamente bosques de *guandal*. Más que inundables, estos bosques son inundados por cuanto durante todo el año el nivel freático fluctúa pocos decímetros en torno de la superficie del suelo, de acuerdo con el ritmo de las lluvias. Así, cuando éstas arrecian el agua asciende y llega, inclusive, a sobrepasar la superficie; pero cuando amainan, tanto el drenaje como la evapotranspiración evacúan agua y, en consecuencia, el nivel freático baja unos centímetros permaneciendo saturado el suelo en la superficie (**del Valle**, 1996).

En estos suelos se alternan capas de turba con otras de sedimentos y diversos materiales minerales. El anegamiento permanente y la consecuente escasez de oxígeno disminuyen considerablemente la descomposición de la materia orgánica aportada por la vegetación. En el trópico húmedo y cálido, sólo condiciones tan anaeróbicas mantenidas durante largos lapsos permiten la acumulación de la materia orgánica con la eventual formación de turba. Con la aireación, la materia orgánica rápidamente se descompone. La capa más profunda de turba registrada, se encontró a 7 m de profundidad y a 1.000 m con rumbo sur oeste del caserío Las Marías en la orilla del río Satinga; una muestra de turba fibrosa obtenida a 6,7 m la cual envié a analizar mediante C^{14} , arrojó 4.370 ± 70 años AP-Beta Analytic 82335. La sucesión de mantos turbosos y de sedimentos minerales seguramente se relaciona con los cambios climáticos durante los últimos 5.000 años develados por **van der Hammen** (1992) para varios sitios de Colombia y que evidencian la alternación de periodos secos y lluviosos; también debe haber aportes piroclásticos del vulcanismo de la cordillera Occidental.

En la vereda Naidizales, cinco muestras de estas turbas obtenidas entre los 0-30 cm de profundidad, arrojaron contenidos de materia orgánica supremamente altos: 50 a 57 % (**Uribe & Marín**, 1990). Los suelos presentan colores pardo-rojizos muy oscuros, son extremadamente ácidos por cuanto su pH, por lo regular, fluctúa entre 3 y 4 y los contenidos de aluminio son tóxicos para las plantas no adaptadas a ellos. En los primeros 30 cm, la capacidad de intercambio de cationes efectiva es baja, al igual que los contenidos de calcio. Los valores de los cationes magnesio y potasio son relativamente altos pero el porcentaje de saturación de bases es bajo (**Uribe & Marín**, 1990). En el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, estos suelos serían Histosoles del gran grupo Tropofibrist.

Las posibilidades agrícolas de los terrenos *guandalosos* son casi nulas, al menos con los sistemas agrotecnológicos

tradicionales; la baja fertilidad y el anegamiento permanente no se pueden superar con las prácticas tradicionales de producción de las que es poseedora la gente que habita estos bosques, pero la silvicultura tiene allí grandes posibilidades (del Valle, 1993). Espinal & Montenegro, citados por Alonso (1967), afirman que un drenaje artificial causaría el descenso del terreno por la aireación y consecuente oxidación de la turba; estiman que en cinco años, luego del drenaje, el terreno bajaría cerca de un metro.

Las aguas de los ríos y bosques

En los bosques inundables de la Amazonia, los ríos penetran en la selva de las planicies aluviales, sumergiendo el piso selvático hasta nueve meses cada año con una lámina de agua que puede superar los seis metros de profundidad; durante el estiaje, el agua del bosque drena. Ello permite al suelo secarse y a la materia orgánica acumulada, descomponerse. Igual sucede en los cativales cercanos al golfo de Urabá afectados por las inundaciones episódicas de los ríos Atrato y León.

En los bosques de *guandal* del delta del río Patía y ríos asociados, no es ésta la situación dominante. El agua de los suelos *guandalosos* no proviene, en su mayoría, del desborde de los ríos y *quebradas* de aguas blancas sino de las lluvias.

Cuando los ríos son café-amarillentos cargados de ricos sedimentos que depositan cada año en las planicies aluviales, una vez sus aguas de desborde se aquietan y reposan, se les llama ríos de aguas blancas; tal es el caso del río Patía. En Suramérica, estos ríos nacen por lo regular en Los Andes. Los ríos negros de la Amazonia nacen en áreas ocupadas por escudos de areniscas; allí se originan suelos podzólicos con arenas blancas cuarcíticas, químicamente paupérrimos; las aguas de los ríos allí originados son distróficas, teñidas con sustancias orgánicas producidas por la descomposición de la hojarasca ácidos húmicos y fúlvicos, taninos, etcétera y sus escasos sedimentos son muy pobres. Este asunto ha sido estudiado en la Amazonia, entre otros, por Furch & Klinge (1989), Junk & Furch (1980, 1985) y Prance (1980).

Al igual que los ríos negros amazónicos, los ríos nacidos en los bosques de *guandal* llevan aguas negras pero, a diferencia de aquéllos, los *guandalosos* se originan no en suelos podzólicos sino en las turbas del *guandal* cuyas aguas, al provenir generalmente de las lluvias, son también muy pobres en bases; gran parte de los sedimentos que arrastran estas corrientes son partículas coloidales de

materia orgánica. Ante la inexistencia de información acerca de estas aguas, decidí alentar una investigación (Hoyos & Gil, 1994) a cuyos resultados más relevantes me referiré sucintamente a continuación.

Monitoreos mensuales efectuados durante siete meses en seis estaciones representativas, tanto de las diversas corrientes de agua como de los diferentes tipos de *guandales*, revelan resultados como los que se exponen a continuación.

Los análisis efectuados a las aguas de los suelos *guandalosos* de color marrón-rojizo oscuro y a los que se denominó *guandales* de aguas negras, arrojaron estos resultados: pH 4,17, alcalinidad 6,01 mg/l CaCO_3 , calcio 3,01 ppm, magnesio 0,81 ppm y conductividad eléctrica 86,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$; estadísticamente inferiores a los valores medios hallados en los *guandales* de aguas blancas aledaños al río Patía en estaciones localizadas tanto antes como después del punto de transvase hacia el río Sanquianga (véase la figura 1), sitios en los cuales se obtuvieron para las mismas variables los siguientes promedios: 5,8; 37,8; 6,88; 2,74 y 143,52, respectivamente.

En estos últimos, los contenidos de sodio fueron: 9,25 vs. 14,75 ppm, respectivamente. También los contenidos de oxígeno resultaron superiores en los *guandales* de aguas blancas con respecto a los de aguas negras. Lo referido implica que los *guandales* cuya agua proviene tanto del río Patía como de las lluvias, poseen mejores condiciones para el crecimiento de la vegetación en razón de su mayor disponibilidad de nutrientes y mayor cantidad de oxígeno disuelto; ello hace posible una más rápida mineralización de la materia orgánica, comparados con aquellos cuya agua proviene sólo de las lluvias.

El reconocimiento visual de los bosques de *guandal* del delta del río Patía y ríos asociados me permite afirmar que en la mayoría del área predominan los *guandales* de aguas negras; esta situación podría cambiar en la medida que el transvase del río Patía al Sanquianga por el canal Naranjo implique el aporte de aguas blancas a la depresión aledaña al río Sanquianga, afectándose así los *guandales* de aguas negras de este río con las aguas blancas del Patía.

En razón de la bajísima densidad de la turba, gran parte del volumen del suelo lo ocupa el agua; de ella deben extraer las plantas la mayor parte de sus nutrientes, pues virtualmente éstas flotan en el suelo. Al comparar las concentraciones de nutrientes de una solución hidropónica Solución Hogland, supuestamente portadora de cantidades adecuadas de todos los nutrientes esenciales requeridos por las plantas, con las concentraciones de esas mis-

mas sustancias en las aguas de saturación de los *guandales*, se encontró que para los llamados macronutrientes las aguas del bosque sólo contenían como máximo estos porcentajes: 2,8 % N; 0,8 % P; 2,0 % K, 3,4 % Ca y 3,1 % Mg. Ello confirma la pobreza química de estos suelos y lo bien adaptadas que deben estar las plantas que allí medran (Hoyos & Gil, 1994).

En cuanto a las corrientes de agua de este delta se encontraron estos tipos:

1. Corrientes negras *guandalosas*. Las tipifica el alto río Sanquianga; son corrientes que se originan propiamente en los *guandales*. Tienen los valores más bajos de calcio 2,81 ppm; magnesio 1,84 ppm; pH 5,05; alcalinidad 13,85 mg/l CaCO_3 ; conductividad eléctrica 24,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólidos totales 183,43 ppm; las concentraciones de sodio 12,93 ppm y de potasio 2,12 ppm son medias.

2. Corrientes negras originadas fuera del *guandal*. Tipificadas por el río Satinga el cual aparentemente tiene aportes de aguas blancas procedentes de afluentes que nacen en terrazas o vegas cerca de su nacimiento, lo cual, además, se revela en sus propiedades químicas con valores más altos: en el pH, 6,27, calcio 3,48 ppm; magnesio, 2,44 ppm; alcalinidad, 27,5 mg/l CaCO_3 ; y conductividad eléctrica, 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3. Corrientes negras de los esteros. Representadas por el estero o *quebrada* Cepangú; son de origen *guandaloso* pero la influencia de agua salada producto de las mareas y, eventualmente, de otras sustancias relacionadas con la presencia de desechos de animales marinos y estuarinos crustáceos, moluscos... así como la mezcla con aguas blancas del río Patía, permiten que se detecten concentraciones medias de calcio, 5,07 ppm; pH, 5,81; y concentraciones altas de magnesio, 4,56 ppm, sodio, 64,02 ppm; y potasio, 4,36 ppm. La conductividad eléctrica también es muy alta 421,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, así como el nitrógeno, 5,69 ppm.

4. Corrientes de aguas blancas. Esta categoría se encuentra tipificada por el río Patía que nace en la cordillera Central de Los Andes colombianos. Sus aguas, de color café, presentaron las menores concentraciones de materia orgánica, 36,5 ppm; y de nitrógeno, 1,1 ppm. Los siguientes promedios fueron los más altos entre todas las corrientes: oxígeno 46,21 % de saturación, sólidos totales 577,14 ppm, calcio 5,85 ppm, pH 6,67 y alcalinidad 31,07 mg/l CaCO_3 . La conductividad eléctrica fue intermedia: 91 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Mediante la siguiente clave dicotómica se diferencian los cuatro tipos de corrientes. En ella se enfrentan dos pro-

posiciones contrastantes con igual número, la primera conduce a un tipo o grupo de corrientes similares y, la otra, a un nuevo par de proposiciones contrastantes con igual número, la cual a su vez se subdivide de igual manera:

- | | |
|---|--|
| 1. Aguas de color café claro, pH mayor de 6, concentraciones de Ca mayores de 5,5 ppm | 1. Corrientes de aguas blancas |
| 1. Aguas de color marrón-rojizo | 2. |
| 2. pH mayor que 6 | 2. Corrientes de aguas negras con aportes de aguas blancas de fuera de los guandales |
| 2. pH menor que 6 | 3. |
| 3. Alcalinidad menor de 20 mg/l de CaCO_3 , concentraciones de sodio menores de 20 ppm, conductividad eléctrica menor de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ | 3. Corrientes de aguas negras que se originan en los guandales |
| 4. Alcalinidad mayor de 20 mg/l CaCO_3 , conductividad eléctrica mayor que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, concentraciones de sodio mayores que 20 ppm | 4. Corrientes negras de los esteros |

Finalmente, debo mencionar que las características físico-químicas de las aguas negras de los ríos *guandalosos* no son adecuadas para la fauna acuática; por ello, la pesca en estos ríos es muy escasa. Por lo regular, allí habitan pocos peces, pequeños y habitualmente sin escamas, del orden Siluriformes, denominados localmente *lisos* o *de baba*; los de escama o *concha* son más escasos. Las aguas del río Patía y, en particular, las de los estuarios, son mucho más adecuadas para los peces y albergan una variada y rica ictiofauna.

Vegetación

Mucho se ha ponderado la riqueza en especies de plantas de los bosques del llamado Chocó Biogeográfico (Gentry, 1993); no obstante, poco énfasis se hace en la

existencia de grandes extensiones forestales dentro de esta región cuya característica florística más relevante es la homogeneidad y no la riqueza, al menos en cuanto concierne con las plantas superiores. Este es el caso de los cativales, los manglares, los natales y los *guandales*, para citar sólo algunos de estos ecosistemas selváticos del Pacífico colombiano en los que pocas especies están representadas por un gran número de individuos. En estos ecosistemas, por lo regular, la especie dominante le da el nombre al ecosistema: cativo, mangle, nato; pero no en los *guandales* por cuanto el nombre proviene más de la condición edáfica del suelo *guandaloso*; es decir, pantano que de alguna especie que lleve este nombre.

Cuando en el trópico húmedo se presenta este tipo de ecosistemas de muy baja diversidad florística, por lo regular existen factores limitantes ambientales que han restringido la diversidad, de los cuales los edáficos son los más frecuentes. Sólo las especies que logren adaptarse a estos limitantes se encuentran allí representadas, pues desarrollaron adaptaciones que les otorgan ventajas competitivas sobre las demás; en consecuencia, las más adaptadas, llegan a formar comunidades muchas veces casi monoespecíficas.

En los ecosistemas boscosos antes mencionados, el principal factor limitante es el anegamiento, de allí el nombre genérico de humedales forestales con que se les conoce. Tal factor impide que en estos sitios se desarrollen los suelos que de acuerdo con la vegetación y el clima tropical cabría esperar que se formaran después de un prolongado tiempo; esto es, los suelos zonales, y hacen que se desarrollen en cambio suelos intrazonales; a ellos también les corresponde una vegetación intrazonal como la que ocupan los *guandales*; esto es, suelos hidromórficos de turba a los cuales les corresponde el bosque de pantano (Hardy, 1970).

Grosso modo en el delta del río Patía, se distinguen varios ecosistemas desde la planicie mareal hasta la planicie de inundación:

Manglares. Son en realidad varias asociaciones vegetales, cada una con un género o especie característico de mangle: 3 especies de *Rhizophora* spp; *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, 2 especies de *Avicennia* spp; *Pelliciera rhizophorae*.

Además del anegamiento producido por las altas mareas del Pacífico, estas especies toleran altas salinidades por ser halófitas facultativas. La comunidad más extensa de manglares de Colombia, y de América, se encuentra entre los ríos Patía y Guapi (von Prahl et al., 1990). Sólo

el Parque Nacional Natural Sanquianga o Parque de los Manglares ocupa allí 80.000 ha.

Natales. Se desarrollan detrás del manglar como una estrecha faja que, con frecuencia, no abarca más de 2 km de ancho, sobre capas de limos orgánicos, a veces turbosos, en la transición de aguas dulces y salobres. Su especie más representativa es el nato (*Mora megistoperma*), gran árbol de la familia Caesalpiniaceae. Acompañan a esta especie otras tales como la palma naidí (*Euterpe oleracea*), el sapotolongo (*Pachira aquatica*) y el garza (*Tabebuia rosea*), entre otras. Estos bosques, denominados por von Prahl et al. (1990) manglar-natal, separan los manglares de los bosques de *guandal*.

Guandales. Ocupan las posiciones cóncavas de la planicie de inundación sin influencia de aguas salobres. Su anegamiento proviene básicamente de las lluvias y, en menor proporción, del desborde de los ríos de aguas blancas. Se encuentran limitados hacia el oeste por los *firres* donde se desarrollan los natales; hacia el este, por las terrazas del piedemonte de la cordillera Occidental, hacia el sur, en el delta del río Patía, por las colinas del terciario, y hacia el norte, e internamente, por los diques, vegas y terrazas de los ríos tanto de origen cordillerano como *guandaloso*. De acuerdo con la UICN estos bosques se clasifican como humedales forestales de agua dulce en pantanos de turba (Dugand, 1992) o, simplemente, como bosques turbosos de pantano, como ha llamado Whitmore (1975) a bosques parecidos del sudeste asiático.

Los bosques de *guandal* no corresponden a un tipo único de vegetación; realmente representan un complejo de asociaciones, algunas muy claramente diferenciables aun en fotografías aéreas. Entre las más características se encuentran: sajales, cuangariales, naidizales, guandales mixtos y otras asociaciones.

1. Sajales. Estas asociaciones se encuentran dominadas por el sajo (*Camposperma panamensis* Standl.: Anacardiaceae); son tan homogéneas que una muestra de 76 parcelas levantadas en diferentes veredas, arrojó $85 \pm 16\%$ de sajo sobre el total de especies arbóreas por hectárea. Casi todos los sajales existentes entre los ríos Satinga y Sanquianga son de segundo crecimiento y su estructura diamétrica unimodal revela su coetaneidad. Es por ello posible encontrar sajales desde recién establecidos y con un año o menos de edad, hasta rodales que superan las dos o tres décadas de haberse regenerado naturalmente. Los sajales jóvenes con poca o ninguna intervención tienden a formar sólo un estrato arbóreo; con el tiempo otras especies más esciófitas tales como palma crespá (*Socratea exorrhiza*), cuángare (*Otoba gracilipes*) y chimbusa

(*Ocotea oblongifolia*), entre otras, se van regenerando y creciendo a la sombra de este cerrado dosel, estableciendo otros estratos arbóreos, el más alto de los cuales podría llegar a reemplazar parcialmente al sajo y dar lugar a un bosque más heterogéneo y disetáneo en quizá 30-50 años, si los bosques no fueran intervenidos antes. En lugares donde éstos han estado sometidos a menor presión humana, he detectado estructuras diamétricas que sugieren tal reemplazamiento. La escasa o nula regeneración del sajo bajo los sombríos ambientes del sotobosque, cuando el dosel es muy cerrado, y su gran capacidad de regeneración cuando el bosque se interviene drásticamente, evidencian que ésta es una especie heliófita; he visto que el sajo tiene habilidad para colonizar desde claros pequeños hasta muy grandes (del Valle, 1996).

Los sajales que se originan después de las intervenciones antrópicas tienen densidades muy altas y diámetros reducidos. Una regresión que relaciona el número de árboles por hectárea con el diámetro promedio cuadrático a 1,3 m sobre el suelo (equivalente al diámetro del árbol de área basal promedio) en sajales poco intervenidos, calculada con datos de 88 parcelas, me indicó que las parcelas cuyos árboles tienen 10 cm de diámetro promedio albergan unos 5.000 árboles por hectárea, en tanto que cuando el diámetro promedio es de 20 cm albergan unos 1.500 árboles. Las áreas basales para sendas situaciones serían 40 y 47 m²/ha, respectivamente. La reducción en la densidad del bosque se debe en este caso, ante todo, a la mortalidad natural antes que a procesos antrópicos (del Valle, 1996).

Los resultados anteriores, obtenidos de parcelas pequeñas muy ocupadas, sobreestiman las áreas basales de grandes extensiones de sajales, las cuales, no obstante, siguen siendo altas en comparación con las de otras asociaciones forestales de los bosques de *guandal*.

La limitada riqueza florística arbórea de los sajales se revela en el hecho de que en una hectárea, por lo regular, sólo cerca de unas ocho a diez especies arbóreas se encuentran haciendo parte de la asociación (Paniagua *et al.*, 1991). Así mismo, en el Índice de Valor de Importancia, el sajo, por lo regular, responde por más del 80 % del total. Esto es, más del 240/300 (Hoyos & Osorio, 1991). En los bosques tropicales húmedos, el número de especies arbóreas con diámetro superior a los 10 cm, por lo regular, se encuentra entre las 40 y 300 especies diferentes por hectárea de acuerdo con más de 23 reportes de levantamientos llevados a cabo en bosques tropicales en parcelas únicas de 1 ha (Alvarez, 1993; Londoño, 1993; Whitmore, 1975). Los registros del número de árboles

(dap 10 cm) en los bosques de tierra firme de la Amazonia arrojaron entre 95 y 300 especies 1 ha, en tanto que en los bosques de *vársea* solo se encontraron de 40 a 165 (Londoño, 1993). Muy notable es en este sentido el reporte de 258 especies de árboles (dap 10 cm) en una hectárea de los bosques sobre colinas bajas de la región del bajo río Calima, perteneciente al municipio de Buenaventura en el centro del litoral Pacífico colombiano (Faber-Langendoen & Gentry, 1991).

Entre las especies que con mayor frecuencia acompañan al sajo, se encuentran: camarón (*Alchorneopsis floribunda*), tostao (*Hasseltia floribunda*), mazamorro (*Psychotria santaritensis*) y las especies de palmas: quitasol (*Mauritiella macroclada*), crespa y naidí.

Lamb (1959), a quien le debemos quizá la primera descripción de estos sajales, de los cuales conoció bosques aún prístinos, los consideraba muy densos y homogéneos pero con un diámetro que rara vez sobrepasaba los 50 cm. Sin embargo, cuando el sajo crece como un elemento adicional de los *guandales* mixtos y cuangariales, hay evidencias de que alcanza los 80 cm de diámetro.

Indudablemente, el sajo es dentro de las dicotiledóneas la especie más abundante en los bosques de *guandal*; es así como para los tres diferentes estratos considerados por Marag & Roche (1987) en los inventarios realizados en estos bosques -*guandal*, *guandal* intervenido y *guandal* en regeneración- en relación con el total de árboles, esta especie ocupó estos porcentajes: 67 %, 40 % y 55 %, seguida del cuángare con: 8,4 % y 14,4 % y 10,8 %, respectivamente.

Los sajales tienden a ocupar de preferencia suelos más anegados que los cuangariales y *guandales* mixtos. Cuando este factor es extremo y se encuentran sobre suelos virtualmente lagunosos, en bateas permanentemente encharcadas, el bosque tiene un dosel muy abierto y sus áreas basales son muy reducidas. En tales casos, el sajo es achaparrado, con alturas de entre 10 y 12 m y los diámetros del orden de 15 cm. Aquí se asocia con la palma quitasol, la cual, en condiciones tan extremas, no supera los cinco metros de altura. Debido a la alta iluminación, el piso abunda en gramíneas y ciperáceas. Esta asociación recibe el nombre local de *cambray*.

2. Cuangariales. Los caracteriza la abundancia del cuángare u otobo (*Otoba gracilipes*), gran árbol de la familia Myristicaceae que puede alcanzar los 40 m de altura y 1,30 m de diámetro por encima de las raíces tablares de la base. Aunque existen cuangariales casi monoespecíficos hay poca información sobre ellos, por cuanto la mayoría ya han

sido intervenidos y, dado que no se regenera a plena exposición solar (Melo, 1995), probablemente han sido reemplazados por comunidades serales, en especial, por sajales.

El cuángare no ocupa, o no es tan abundante en las depresiones poco drenadas en las que predominan el sajo, la palma quitasol y la palma naidí. Pero, aun así, es una de las tres especies más características de los *guandales* del delta río Patía; no obstante, a diferencia del sajo, tiene la habilidad de colonizar los bosques de los diques y aun de las vegas, terrazas altas y colinas con mejor drenaje y sobre sustratos edáficos minerales. En estas condiciones, hace parte de los *guandales* mixtos y, aun, de los bosques mixtos que no permanecen inundados donde el sajo no prospera. Existe, pues, toda una gradación desde los cuangariales bastante homogéneos donde el cuángare puede superar el 60 % de todos los árboles, hasta los bosques mixtos en colinas bajas donde esta especie representa menos del 15 % de la abundancia relativa (Cañadas, 1965; Alonso, 1967; Posada *et al.*, 1973; Cadavid & Henao, 1981; Giraldo *et al.*, 1991; Alvarez, 1993).

La estructura diamétrica en forma de *j* invertida, descrita, cuando en un sistema cartesiano se dibuja la curva que une los puntos de la frecuencia por hectárea para marcas de clase de clases diamétricas crecientes, implica un gran número de individuos pequeños, cuya cantidad decrece a medida que se avanza hacia las clases diamétricas superiores. Esta estructura revela su disetaneidad; esto es, diferencias de edad entre los elementos arbóreos que componen el bosque; así, dentro de una misma especie, los árboles más grandes tienen, generalmente, mayor edad.

Además del cuángare, las siguientes especies de dicotiledóneas suelen tener valores de importancia apreciables en los cuangariales estudiados en los municipios Olaya Herrera y Pizarro, Nariño: sajo, cuña (*Swartzia amplifolia*), jullero o suela (*Pterocarpus officinalis*), mascarey (*Hyeronima* sp), pacora (*Cespedesia macrophylla*), garza, maria (*Calophyllum longifolium*), machare (*Symphonia globulifera*) chalviande (*Virola reidii*) y sebo (*Virola sebifera*), entre otras, y las siguientes especies de palmas: naidí o palmicha, piganá (*Bactris setulosa*), cecilia (*Euterpe precatoria*), chapil (*Oenocarpus mapora*), zancona, mulata o cresa y chalar (*Pholidostachys dactiloides*). También se encuentra la llamada palma chigua (*Zamia chigua*), gimnosperma de la familia Zamiaceae, verdadero fósil viviente del Carbonífero en el Pacífico colombiano.

En cuangariales no intervenidos, estas asociaciones llegan a sustentar alrededor de 30 m²/ha de área basal en parcelas pequeñas. En *guandales* intervenidos y en proceso de recuperación, los árboles, y en especial las espe-

cies comerciales entre las que se encuentran el sajo y el cuángare, por lo regular no superan los 50 cm de diámetro y los bosques sustentan áreas basales de entre 14 y 20 m²/ha (Cañadas, 1965; Alonso, 1967; Alvarez, 1993; Arroyave *et al.*, 1995; del Valle, 1996).

A medida que los cuangariales se encuentran más cerca de los diques y vegas altas, empiezan a aparecer otras especies que, aunque abundan en suelos mejor drenados, pueden habitar también en los *guandales*; entre las más características están: roble (*Terminalia amazonia*), mapán (*Isertia pittierii*), castaño (*Matisia idroboi* y *M. longipes*), purga (*Andira inermis*), guayabillos (*Eugenia* spp.), guabos (*Inga* spp.), piedrita (*Banara guianensis*), jigua (*Aniba puchury-minor*) y jigua baboso (*Ocotea cernua*).

En la literatura, con frecuencia se incluye al tangare (*Carapa guianensis*) como especie típica del *guandal* que crece asociada con el cuángare. Nunca he encontrado esta especie en los inventarios realizados y parcelas establecidas en delta del río Patía. En las terrazas del Terciario, donde nacen afluentes del alto río Satinga, sí existe. Cañadas (1965) la registró igualmente en el estudio que llevó a cabo en un *guandal* de Esmeraldas, Ecuador, ocupando el tercer lugar en orden de abundancia (16 %) donde el cuángare fue la especie más abundante con el 62 %. La descripción del suelo que aporta el autor ecuatoriano y los sitios donde esta especie se encuentra en el delta del río Patía sugieren que, aunque crezca en suelos inundables, no parece ocupar un sitio destacado en suelos turbosos inundados permanentemente. Posada *et al.*, (1973) la registran para Barbacoas desde el plano aluvial hasta las colinas bajas. Castro & Rizzo (1982) la encontraron asociada con el naidí cerca de Iscuandé y El Charco.

3. Naidizales. La especie más abundante en estas asociaciones es la palma llamada localmente palmicha o naidí (*Euterpe oleracea*), palma cespitosa cuya mata o cepa puede dar origen a 15 o más estipes. El naidí está especialmente adaptado mediante neumatóforos a los suelos tanto inundados como inundables por aguas dulces o salobres. Por ello, es una de las especies más conspicuas en el delta del río Patía tanto en los natales más no en los manglares como en las diferentes asociaciones de los bosques de *guandal*, donde sus frondas más altas se despliegan sobre sus estipes hasta a 26 m de altura formando un subdosel debajo del estrato dominante; o aun, un dosel dominante cuando los bosques ya han sido intervenidos. A veces se la encuentra formando masas de gran extensión casi monoespecíficas sobre suelos encharcados. von Prahl *et al.*, 1990) describen la formación de naidizales como una comunidad seral en la sucesión primaria que conduce del

manglar al *guandal* que se inicia en los llamados manglares de barra. A medida que el manglar se va sedimentando, la especie *Rhizophora* va siendo remplazada por *Avicenia*, y ésta, a su vez, por el natal dominado por el nato asociado con naidí; luego, aparecen naidizales casi puros. El ascenso de la barra, finalmente, impide el ingreso de agua salada y se establece el bosque de *guandal*. Este proceso explica la existencia de las estrechas fajas de naidí entre el natal y el *guandal*, pero no los extensos naidizales que se encuentran en el delta alejados del mar donde no hay influencia mareal o esta apenas si se nota.

También se ha argumentado (Castro & Rizzo, 1982) que los naidizales son comunidades pioneras de origen antrópico que se establecen como consecuencia de la intervención de los bosques de *guandal*. Aunque el naidí germina abundantemente bajo el sombrío dosel del bosque de *guandal*, pero requiere una mayor iluminación para establecerse una vez agotada la reserva alimenticia que le suministra su semilla, no hay, a mi juicio, evidencia suficiente para sustentar esta hipótesis. Nunca he visto en los bosques de *guandal* a la palma naidí dominando la primera fase de la sucesión secundaria inducida por procesos antrópicos. Más bien comparto las ideas expresadas por Finol (1993) quien ha estudiado comunidades similares en el delta del río Orinoco. Opina Finol que *E. oleracea* "[...] es una especie heliófita estrictamente pionera [...] acondicionada ecológicamente para invadir pantanos [...]" (1993: 59). Inicialmente el naidí se establece en pantanos con muy pocos otros elementos leñosos como una especie arbórea pionera de la sucesión primaria. A medida que los pantanos se van colmatando con sedimentos y materia orgánica, otras especies invaden el sitio. Al tiempo que la condición pantanosa va cediendo, el bosque adquiere una mayor riqueza y diversidad arbórea al punto que, paulatinamente, la palma naidí va quedando como un elemento florístico adicional del bosque cuando en virtud del proceso de sucesión primaria se establece el bosque de pantano con predominancia de dicotiledóneas. En estas condiciones, logra mantenerse en el bosque gracias a sus abundantes rebrotes de cepa, mas no a sus semillas que sólo cuando se encuentran en claros poco competidos tienen alguna posibilidad de establecerse.

En un estudio realizado por DELSA Ltda. (Castro & Rizzo, 1982) entre los ríos Tapaje, Iscuandé y el caño Sequihonda y sobre una superficie de 10.700 ha, 5.066 ha resultaron con altas existencias de naidí las cuales albergaban en promedio 239 cepas y 1.509 estipes y rebrotes de más de 3 m de altura por hectárea. En los naidizales más densos, que ocuparon 1.355 ha, se encontraron 493 cepas y 3.070 estipes y rebrotes por hectárea; esto es, una cepa

por cada 20 m² de superficie. El análisis estructural efectuado en una hectárea de este bosque demostró que la palma naidí con más de 3 m de altura alcanzó el 62 % de los árboles mayores de 10 cm de diámetro, y más del 125 % / 300 % del IVI. No obstante, este bosque no representa aún a los naidizales más homogéneos de los bosques de *guandal* por cuanto acompañaban al naidí otras 25 especies de árboles conformando el 175 % del IVI. Tanto en este muestreo como en otras cinco hectáreas muestreadas, las especies que en orden de frecuencia acompañaron al naidí fueron: suela, machare y cuña. En algunos sitios son importantes el roble, el castaño, el sapotolongo, el nato y el tangare (Castro & Rizzo, 1982). El alto IVI del naidí parcialmente se debió a la explotación de las especies comerciales que redujo su dominancia (área basal).

4. *Guandales* mixtos. En los diques y vegas de los ríos mejora el drenaje de los suelos y estos, además, son minerales y más fértiles a diferencia de los *guandalosos* que son turbosos. Aunque se pueden encontrar capas de turba profundas o superficiales pero delgadas, así como suelos con moteados o de colores grises a veces a sólo 40-50 cm de profundidad, el nivel freático sólo ocasionalmente se encuentra en la superficie. El mejoramiento del drenaje se refleja en una mayor diversidad florística y en la disminución del acentuado gregarismo que caracteriza las anteriores asociaciones de los bosques de *guandal*. Entre los ríos Satinga y Sanquianga, donde aún se conservan relictos de estos bosques, por cuanto la mayoría han sido talados para establecer agricultura y los asentamientos humanos, se presentan con árboles emergentes de gran talla y diámetro tales como el ceibo (*Ceiba pentandra*) y el roble (*Terminalia amazonia*) cuyas imponentes raíces tabloides de más de 5 m de altura culminan en fustes que superan el metro de diámetro y más de 40 m de altura; sus copas pueden alcanzar los 30 m de diámetro. Otras especies típicas de estas asociaciones y de gran porte son pichicande (*Vochisia* sp.), cuángare y chalviande con sus enormes y rectos troncos monopódicos; pacora y machare, cuyas raíces fúlcreas semejan en sus bases *zocos* de escoba, así como el caucho negro (*Castilla elastica*)².

² A propósito del caucho negro, y aunque interrumpa la ilación del discurso, quisiera mencionar que este fue el primer caucho conocido en Europa en 1746, de muestras obtenidas en el Pacífico ecuatoriano por La Condamine quien las llevó a Francia (Noguera, 1982); ello inició el auge del caucho en el Pacífico colombiano-ecuatoriano antes de que se conociera el caucho amazónico o *siringa* obtenido, principalmente, de la especie endémica de esta gran cuenca *Hevea brasiliensis*. Creemos que este fue el segundo producto forestal que exportó Colombia del litoral pacífico. El primero fue el mangle por cuanto según nos relata von Prahll "Desde el siglo XVI está bien documentado el envío de mangles del Pacífico colombiano a Lima" (1989:33).

Acompañando los enormes especímenes de las especies citadas, y de otras, que aunque escasas le dan una fisonomía especial a estas selvas, se encuentran varias decenas de especies desde el dosel que se cierra entre los 25 y 35 m de altura hasta el sotobosque. En un inventario realizado hace veintiséis años entre los ríos Patía y Telembí, el estrato "Plano aluvial" comprendió 5.500 ha de "bosque primario" en un 95,6 % (Posada et al., 1970: 36). Las 17 ha muestreadas arrojaron 353 árboles mayores de 10 cm de diámetro por hectárea no se tuvieron en cuenta las palmas distribuidos en 104 especies o grupos de especies géneros o familias; el 3 % no se identificó ni aún con nombre vulgar. El área basal fue de 21,1 m²/ha. Las especies de árboles más abundantes fueron: cuángare, (10,6 %); guabos y guabillos (*Inga* spp.), 4,9 %; sande (*Brosimum utile* subsp. *occidentalis*), 4,0 %; pialdes (*Trichilia* spp.), 4,0 %; y tangare, 4,0 %.

Es posible que en el estrato del inventario, citado en el párrafo anterior, se incluyeran terrazas pues, dado que el sande no es especie del *guandal*, su presencia es más bien rara. Marag & Roche (1987) no encontraron esta especie en los bosques de *guandal*, pero sí como elemento florístico importante en las terrazas y colinas bajas del litoral Pacífico nariñense.

En cuanto a las palmas quizá la única novedad es la presencia de la palma güinul (*Astrocaryum standleyanum*) que no admite el encharcamiento permanente de las turbas del *guandal*.

4. Otras asociaciones. Con el proceso de transformación antrópica de los bosques de *guandal* durante los últimos cincuenta años, ciertas especies de temperamento heliófito, y quizá aun pioneras, han llegado a conformar asociaciones o consociaciones con amplio dominio de especies de rápido crecimiento y de dimensiones apreciables hasta 30 m de altura y diámetros normales de hasta 80 cm de mucho interés silvicultural y económico. Por sus tasas de crecimiento y tamaño, asumimos que, a diferencia de las pioneras típicas de los *guandales* que son de corta vida, tales como el sangregallina (*Vismia* spp), y el yarumo (*Cecropia obtusifolia* subsp. *burriada*) y mora (*Miconia* spp), éstas son más longevas; esto es, su ciclo vital es de varias décadas. Aquí nos estamos refiriendo a las asociaciones en las que dominan bien sea el balsamacho (*Alchornea* aff. *leptogyna*) o el camarón (*Alchorneopsis floribunda*), ambas pertenecientes a la familia Euphorbiaceae.

Bibliografía

- Alonso, C. 1967. Estudio de la Regeneración Natural en Zonas Explotadas de los Bosques Pantanosos de la Costa Sur del Pacífico en Colombia. Tesis Mg. Sc. Instituto Interamericano de Ciencias Agropecuarias IICA. Turrialba, Costa Rica, 80 p.
- Alvarez, E. 1993. Composición Florística, Diversidad, Estructura y Biomasa de un Bosque Inundable en la Amazonia Colombiana. Tesis Magister en Biología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia, Medellín. 548 p.
- Alvarez, R. 1993. *Análisis Estructural de Dos Bosques de Guandal Ubicados en Zonas con Diferente Nivel de Inundación*. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 242 p.
- Arroyave, C. Galeano, O. J. Galvis, C. M. & H. A. Jiménez. 1995. *Inventario Diagnóstico de la Regeneración Natural en un Sajal Intervenido en el Municipio de Olaya Herrera (Bocas de Satinga)*. Departamento de Nariño. Informe de Práctica Profesional, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 62 p.
- Buol, S.W., Holg, F. D. & R.J. McCracken. 1981. *Génesis y Clasificación de Suelos*. Trillas. México D.F. 417 p.
- Cadavid, O. & J. Henao. 1981. *Aspectos Ecofitosociológicos de Tres Tipos de Bosques del Municipio de Tumaco (Nariño)*. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 312 p.
- Cañadas, L. 1965. Los bosques pantanosos en la zona de San Lorenzo, Ecuador. *Turrialba* 15 (1): 225-230.
- Castro, A. & G. Rizzo. 1982. *Estudio de las Condiciones Ecológicas para un Manejo Silvicultural del Naidizal en la Costa Sur del Pacífico Colombiano*. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá. 198 p.
- Del Valle, J. I. 1993. Silvicultura y uso sostenido de los bosques: referencia especial a los *guandales*, Nariño. En: Leyva, P. (ed.), *Colombia Pacífico*. Tomo II. p 692-713. Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- . 1994. Anotaciones sobre el clima de los bosques de *guandal* del delta del río Patía. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 47 (1 y 2): 145-159.
- . 1996. Silvicultura en los bosques de *guandal* del Pacífico Sur colombiano. En: Sabogal, C. (ed.) *Silvicultura de Bosques Naturales en América Tropical: Síntesis de Experiencias y Prioridades de Investigación*. CIFOR, Bogor, Indonesia (En preparación).
- Dugand, P. J. 1992. *Conservación de Humedales: Un Análisis de Temas de Actualidad y Acciones Necesarias*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Gland, Suiza. 100 p.
- Duque, H. 1993. Los foraminíferos. En: Leyva, P. (ed.) *Colombia Pacífico*, Tomo I, pp:96-109. Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- Faber-Longendoen, D. & A. Gentry. 1991. The structure and diversity of rain forest at Bajo Calima, Choco region, western Colombia. *Biotropica*. 23(1): 2-11.
- Finol, H. 1993. La palma manaca (*Euterpe oleracea* Mart.) en el delta del río Orinoco. En: De las Salas, G. & F. Padéhla (eds.). *Actas de la V Reunión Internacional Silvicultura y Desarrollo Sostenible en América latina*. pp: 58-65. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, IVERO, FES. Palmira, Colombia.

- Furch, K. & Klinge.** 1989. Chemical relationships between vegetation, soils and water in contrasting inundation areas of Amazonia. En: Proctor, J. (ed.). *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. pp 189-203. The British Ecological Society. Blackwell Scientific. (Special Publication) No. 9. Boston.
- Galvis, J. & J. Mojica.** 1993. "Geología". En: Leyva, P. (ed.). *Colombia Pacífico*. Tomo I. pp: 80-95. Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- Gentry, A.** 1993. Riqueza de especies y composición florística. En: Leyva, P. (ed.). *Colombia Pacífico*. Tomo II. p 200-219. Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- Giraldo, L., González, J., Hoyos, F. & O. Morales.** 1991. *Estudio silvicultural de un bosque de guandal explotado en el litoral Pacífico colombiano (Departamento de Nariño)*. Cap.1, 2, 3. Informe de Pasantía (Campamento). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 187 p.
- Hardy, F.** 1970. *Suelos Tropicales: Pedología Tropical con Énfasis en América Latina*. Herrero Hnos. México. 334 p.
- Hammen Th., van der.** 1992. *Historia, Ecología y Vegetación*. Fondo FEN, Corporación Coa y Fondo de Promoción de la Cultura. Santafé de Bogotá. 411 p.
- Holdridge, L.** 1982. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA San José. 216 p.
- Hoyos, F. A. & N. Gil.** 1994. *Relación entre las Características Físicas y Químicas de Aguas de Bosques de Guandal y Ríos Asociados*. Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 109 p.
- Hoyos, F. A. & A. Osorio.** 1991. Estructura horizontal En: *Estudio Silvicultural de un Bosque de Guandal Explotado en el Litoral Pacífico Colombiano (Departamento de Nariño)*. Informe de Pasantía (Campamento). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. sede Medellín 285-313.
- Junk, W. & K. Furch.** 1980. Química da agua e macrófitas aquáticas de rios e igarapes na bacia amazônica e nas áreas adjacentes. *Acta Amazonica* 10 (3): 611-633.
- _____. 1985. The physical and chemical properties of amazonian waters and their relationships with the biota. En: Prance, G. & T. Lovejoy (eds.). *Key Environments: Amazonia*. pp: 3-17. Pergamon, New York.
- Lamb, B.** 1959. The coastal swamp forests of Nariño, Colombia. *Caribbean Forester* 20 (3-4): 79-89.
- Londoño, A. C.** 1993. *Análisis Estructural de dos Bosques Asociados a Unidades Fisiográficas Contrastantes en la Región de Aracua (Amazonia Colombiana)*. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 478 p.
- Marag & Roche L.** 1987. *Reactivación del Sector Forestal Industrial de la Costa Pacífica del Departamento de Nariño: Informe Final del Estudio de Prefactibilidad*. Corporación Autónoma Regional de Nariño, Corporariño. Alberta. Canada. 169 p.
- Martínez, J. O.** 1993. Geomorfología. En: Leyva, P. (ed.). *Colombia Pacífico*. Tomo I. pp: 110-119. Fondo FEN. Santafé de Bogotá.
- Melo, O. A.** 1995. Estructura del Habitat de Tres Especies Arbóreas de los Bosques de Guandal del Litoral Pacífico Colombiano. Tesis Maestría en Silvicultura y Manejo de Bosques, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 101 p.
- Noguera, A.** 1982. *Colombia Bajo la Sombra de sus Árboles*. Presencia, Bogotá. 159 p.
- Paniagua, A., Restrepo, S., Ruiz, J. & H. Sánchez.** 1991. Riqueza florística de un bosque de guandal en el litoral Pacífico colombiano. En: *Estudio Silvicultural de un Bosque de Guandal Explotado en el Litoral Pacífico Colombiano (Departamento de Nariño)*. Cap. 4, 5, 6, 7. Informe de Pasantía (Campamento). pp: 192-421. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Parra, L. N.** 1995. *Accidentes Geográficos de las Costas de Colombia*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (documento en elaboración).
- Posada, F., Guerrero M. & G. Cossio.** 1970. *Inventario y Mapificación Forestal de la Región de Barbaças (Nariño)*. Inderena (mimeógrafo) Bogotá. 124 p.
- Prahl H., von.** 1989. *Manglares de Colombia*. Villegas Editores. Bogotá. 207 p.
- Prance, G.** 1980. A terminología dos tipos de florestas amazônicas sujeitas a inundaçao. *Acta Amazonica* 10 (3): 495-504.
- Thouret, J. C.** 1983. Geomorfología. En: *Atlas del Pacífico*. pp: 16-21. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", IGAC. Bogotá.
- Uribe, M. & N. Marín.** 1990. Estudio preliminar de los suelos del Guandal. En: *Prácticas de Silvicultura Tropical en un Bosque de Guandal Explotado en el Litoral Pacífico Colombiano*. Informe de Pasantía (Campamento). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. p 16-52.
- _____. **Cantera, J. R. & R. Contreras.** 1990. *Manglares y Hombres del Pacífico Colombiano*. Fondo FEN, Bogotá. 193 p.
- West, R.** 1957. *The Pacific Lowlands of Colombia: A Negroid Area of the American Tropics*. Louisiana State University, Louisiana. 278 p.
- Whitmore, T.C.** 1975. *Tropical Rain Forest of the Far East*. Clarendon. Oxford. 282 p.

NON LINEAR TIME SERIES ANALYSIS OF THE EEG DURING SLEEP

por

David H. Campos¹

Resumen

Campos, D.H.: Non linear time series analysis of the EEG during sleep. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 491-501. 1996. ISSN 0370-3908.

Se calculan la dimensión fractal y el máximo exponente de Lyapunov para el electroencefalograma (EEG) humano durante el sueño. Para este propósito se supone que el EEG es generado por un sistema dinámico determinista no lineal. Se encuentran pequeñas diferencias entre algunas etapas de sueño. El método usado se describe detalladamente e incluye cómo encontrar el espectro de exponentes de Lyapunov, la entropía de Kolmogorov-Sinai y la dimensión de Lyapunov. También se discuten resultados que contradicen el origen exclusivamente determinístico no lineal que algunos autores le atribuyen al EEG.

Palabras claves: EEG, dimensión, exponentes de Lyapunov, sistemas dinámicos deterministas no lineales, caos, series de tiempo, sueño.

Abstract

I calculate the fractal dimension and the largest Lyapunov exponent for the human electroencephalogram (EEG) during sleep. For this purpose I assume that the EEG is generated by a deterministic nonlinear dynamical system. Slight differences among some sleep stages are found. The used method is thoroughly described and for completeness it includes how to find part of the Lyapunov exponents spectrum, Kolmogorov-Sinai entropy and Lyapunov dimension. I also discuss some results that apparently challenge the belief that the EEG is solely generated by a deterministic nonlinear dynamical system.

Key words: EEG, dimension. Lyapunov exponents, deterministic nonlinear dynamical systems, chaos, time series, sleep.

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica y departamento de Física. Universidad de los Andes.

Apartado aéreo 53416, Bogotá, Colombia.

1. Introduction

The existence of deterministic chaos or low-dimensional nonlinear dynamics in the human EEG is still under discussion (Albano and Rapp 1992; Doyon 1992; Elbert et al. 1994; Fell et al. 1993; Frank et al. 1990; Palus 1992; Theiler 1995). Thus, the application of numerical techniques based on nonlinear systems to the EEG is an active research area. Although in this article I am particularly interested in describing clinical applications of nonlinear systems analysis, I will also discuss some results that dispute the presence of deterministic chaos in the EEG. Chaos is here regarded as a manifestation of some deterministic nonlinear dynamical systems that combine acute sensitivity to initial conditions with aperiodic and bounded behavior.

It is possible to start with a scalar time series for one observable, such as one EEG channel, and obtain a phase-space representation by phase-space reconstruction. Thus, information from all degrees of freedom coupled to the observable can be recovered. Although there is a variety of methods to achieve this (Casdagli et al. 1991; Landa and Rozenblyum 1989; Mindlin et al. 1991), the most popular and perhaps the only systematic procedure is time-delay embedding, originally described by Packard et al. (1980) and put on firmer footing by Mañé (1981) and Takens (1981). After having obtained a phase-space representation of the time series, we can perform a number of classifications, namely, dimensions (Elbert et al. 1994; Farmer et al. 1983; Grassberger 1983; Grassberger and Procaccia 1983a; Grassberger and Procaccia 1983c; Kantz and Schreiber 1994), Lyapunov exponents (Oseledec 1968), Kolmogorov-Sinai (KS) entropy (Farmer 1982; Grassberger and Procaccia 1983b), and spectrum of singularities $f(\alpha)$ (Chhabra and Jensen 1989; Halsey et al. 1986).

Dimensions (fractal and of the natural measure) are the most basic property of an attractor². An attractor is defined to be d -dimensional if in a neighborhood of every point it is diffeomorphic to an open subset of $\mathbb{R}^d$. A torus, for instance, has $d=2$ because it opens into a two-dimensional rectangle. The attractor is strange if it is a fractal, i.e. its dimension is non-integer. The presence of a strange attractor almost always implies chaotic behavior. Dimensions provide the most basic level of knowledge necessary to characterize the properties of an attractor. They tell us the amount of information necessary for specifying

the position of a point on the attractor with a given precision, and are an inferior bound to the number of essential variables required to model the dynamics of the system. However, much more information about the dynamics of the system is provided by the spectrum of characteristic Lyapunov exponents. These exponents provide a quantitative measure of chaos by describing the mean rate of divergence of initially neighboring trajectories. In a chaotic system at least one exponent is positive, while for periodic or quasi-periodic behavior the largest exponent is zero. Furthermore, there are known relations between Lyapunov exponents and other measures, such as KS entropy and the dimension of the natural measure. Here I will analyze sleep EEG using both criteria: dimensions and Lyapunov exponents.

The fractal dimension of the attractor has been a common criterion to classify EEG signals. It has been found, for example, that in normal healthy subjects, the deeper the sleep, the lower the EEG dimensionality (Röschke and Aldenhoff 1992; Röschke and Aldenhoff 1993). Measurement of Lyapunov exponents of EEGs has been less frequent due to its technical difficulties. Frank et al. (1990) found the first Lyapunov exponent for an epileptic seizure, using a modification of the method by Wolf et al. (1985). The unmodified method was used by Babloyantz and Destexhe (1986) and by Fell et al. (1993) to determine the largest Lyapunov exponent during an instance of epilepsy and during sleep, respectively. Gallez and Babloyantz (1991) applied a procedure by Eckmann et al. (1986) that should find the complete spectrum of Lyapunov exponents and encountered at least two positive Lyapunov exponents in instances of alpha waves, deep sleep, and Creutzfeld-Jakob coma. This listing is by no means complete, but it gives an idea about recent research results.

In this article I look for changes in dimensions and Lyapunov exponents that may allow the characterization of sleep stages. Human sleep stages are classified as rapid-eye-movement (REM) (also fast-sleep or paradoxical sleep) and non-REM (slow sleep). The latter is further divided in stages 1–4. Stage 1 corresponds to drowsiness, 2 to light sleep, 3 to deep sleep, and 4 to very deep sleep. Although it is a fact that wakefulness EEG is richer in information than a sleep record, there are a number of conditions, especially in the domain of epileptic seizure disorders, in which sleep provides essential information. This obviously excludes the sleep disorders themselves. It is worth mentioning that 2 is the most informative sleep stage from a clinical point of view. (Niedermeyer 1993)

² Informally, an attractor is a set in phase-space that attracts trajectories after the transient has died out.

2. Procedure

In this section I outline in some detail the general analysis procedure performed on the data. Firstly, I assume that the data can be described by a deterministic flow of n generally coupled, nonlinear ordinary differential equations,

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} = [x_1(t), \dots, x_n(t)], \quad (1)$$

where $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_n)$ are unknown functions of the coordinates $\mathbf{x}(t)$. Although this assumption has been very frequently used in prior investigations, it is still an active research area as I already mentioned. Now, using time-delay embedding (Mafé 1981; Packard et al. 1980; Takens 1981), I can reconstruct phase-space. Given the time series $x(t_i)$ a d_E -dimensional phase portrait is reconstructed with delayed coordinates, i.e. a point on the attractor is given by

$$\mathbf{X}(t_i) = [x(t_i), x(t_i + \tau), x(t_i + 2\tau), \dots, x(t_i + (d_E - 1)\tau)], \quad (2)$$

where τ is a multiple of the sampling time (T_s), because we have a sampled signal. Thus, reconstruction requires finding an appropriate time-delay (τ) and embedding dimension (d_E). According to Takens (1981), under some general conditions the orbit followed by $\mathbf{X}(t)$ in this d_E -dimensional embedding space differs from the actual solution $\mathbf{x}(t)$ of (1) only by a smooth change of coordinates.

Mafé (1981) and Takens (1981) claim that phase-space reconstruction is independent of the time lag chosen. Nevertheless, this statement is not very useful for analyzing data. If τ is chosen too small $x(t)$ and $x(t + \tau)$ will be so similar that they will not provide independent information. If, on the contrary, τ is too large $x(t)$ and $x(t + \tau)$ will be totally uncorrelated, and the projection of the attractor will occur onto two totally unrelated directions. See figures 1 and 2 for an illustration of right and wrong choices of time-delay. So, to find an optimal τ I use the method proposed by Fraser and Swinney (1986), which prescribes a selection based on the averaged mutual information (AMI) function (I). I measures the number of bits that one does learn on the average about a set of measurements $A=\{a_i\}$ from a set of measurements $B=\{b_j\}$. Its definition is

$$I(\tau) \equiv \sum_{a_i, b_j} P(a_i, b_j) \log_2 \left[\frac{P(a_i, b_j)}{P(a_i) P(b_j)} \right],$$

where $P(\cdot, \cdot)$ is the joint probability distribution for sets A and B , and $P(\cdot)$ is the individual probability distribution for either of the measurements. In our case the two sets of measurements are $x(t_i)$ and $x(t_i + \tau)$. So, since I tells us how much information one can learn about a measurement at

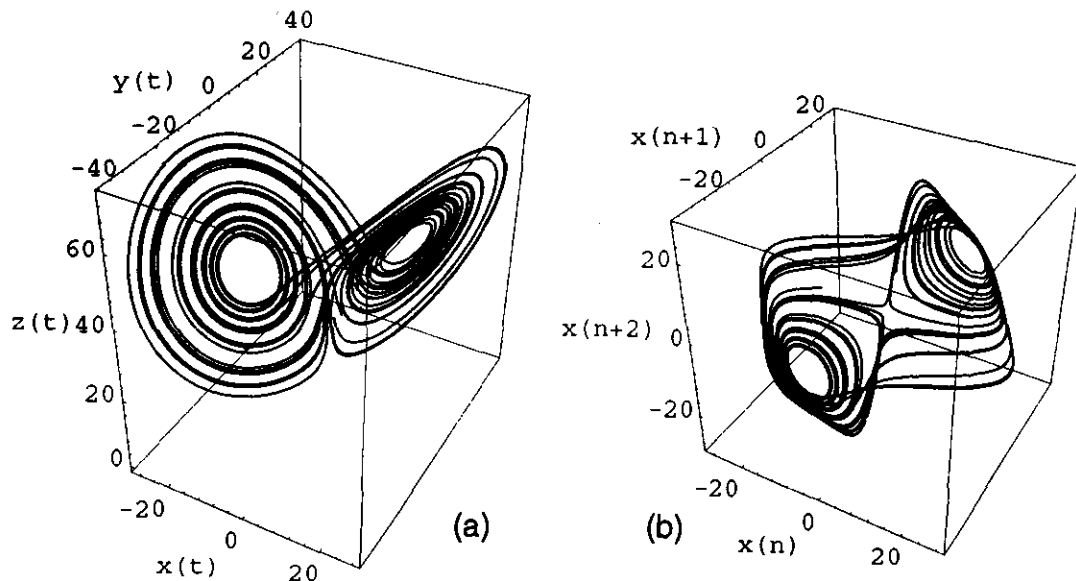


Figure 1. Phase-space representation of the Lorenz attractor (see table 1 for equations): (a) original attractor; (b) reconstructed attractor using time-delay embedding (time-delay = 0.1s corresponds to the first minimum of AMI).

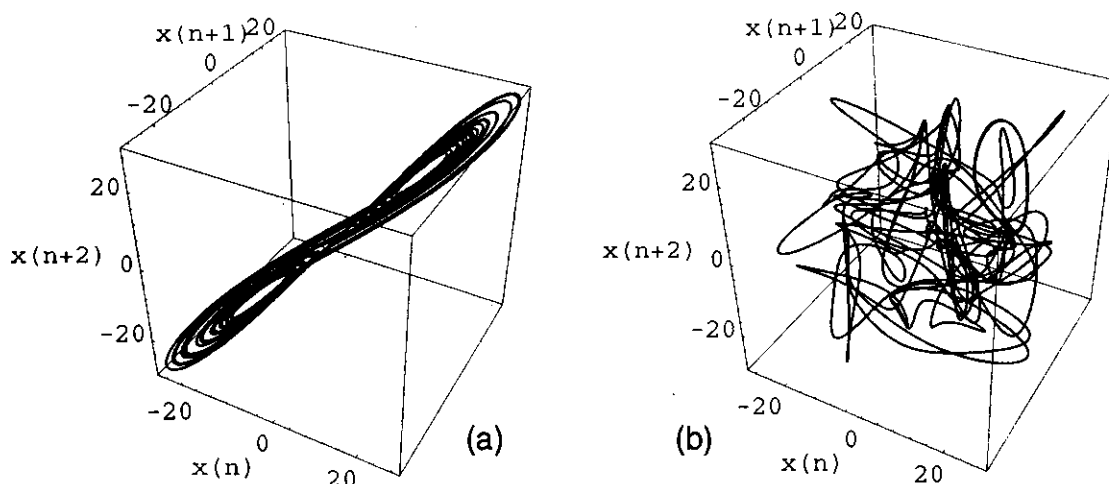


Figure 2. Reconstructed Lorenz attractors: (a) time-delay ten times smaller than in Fig. 1b; (b) time-delay ten times larger than in Fig. 1b.

one time from a measurement taken at another time, τ is chosen at the location of the first minimum of the AMI. When I does not have a minimum, but is a monotonously decreasing function, I use the empirical criterion proposed by Abarbanel et al. (1993), that selects τ according to $I(\tau)/I(0) \approx 1/5$. If $\tau \approx 10 \cdot T_s$ or more, the data may be oversampled according to Kennel and Abarbanel (1996). One way to deal with this problem is to down-sample (i.e. toss out data), until $\tau \leq 5 \cdot T_s$ or so. This works, but it disposes of valuable hard won data in a quite casual fashion.

Takens (1981) proved that a sufficient condition for the embedding dimension is $d_E > 2d_A$, where d_A is the dimension of the attractor. Nevertheless, to obtain accurate estimation of exponents it is essential to find a necessary embedding dimension (d_N), because too large an embedding dimension reduces the density of points defining the attractor, fills empty space with noise, and increases exponentially the computational cost. Furthermore, d_N puts an upper bound on the dimensionality of the system. To find d_N I use the method of false nearest neighbors (FNNs), originally described by Kennel et al. (1992), with one of the improvements (use of decorrelation intervals) proposed by Kennel and Abarbanel (1996). With this addition, the method not only improves FNN estimation, but provides means for testing for an extremely important feature: signal stationarity. When (2) is used to reconstruct phase-space, every point $\mathbf{X}(t_i)$ will have another point that is its nearest neighbor ($\mathbf{X}^{NN}(t_i)$), with nearness in the sense of some distance function (e.g. Euclidean distance). If these points are close together not because of the topology of the

attractor, but due to projection of the attractor in too low a dimensional space, then $\mathbf{X}^{NN}(t_i)$ is a FNN of $\mathbf{X}(t_i)$ (see figure 3 for an illustration). The procedure I apply then, is to find an estimation of the number of FNNs by gradually increasing embedding dimension. The embedding dimension for which percentage of FNNs approximately drops to zero is d_N . When the signal is distorted by noise the percentage of FNNs raises monotonously after reaching a minimum. If the value of the minimum is acceptable (i.e. it is close enough to zero) it can be chosen as d_N . It is worth mentioning that the complexity of an algorithm that looks for nearest neighbors in a straightforward manner is proportional to $N^2/2$, where N is the size of the data set. Thus, with increasing data sets a more efficient handling becomes obligatory. I use the box method described by Schreiber (1995) to tackle this problem ($\sim N \log N$).

Once I have a phase-space reconstruction I apply the Grassberger and Procaccia (1983a) method as described by Holzfuss and Mayer-Kress (1986). Thus, I obtain an estimate of the correlation dimension (d_2). Now, we can use the robust and now classical method of Wolf et al. (1985) to find the largest Lyapunov exponent (λ_1) for every epoch. But in order to correctly estimate λ_1 it is necessary to take into account some fundamental limitations of the procedure as expressed by Eckmann and Ruelle (1992). They have shown that to obtain correct results, the time series must satisfy

$$\log N > d_2 \log(D/r), \quad (3)$$

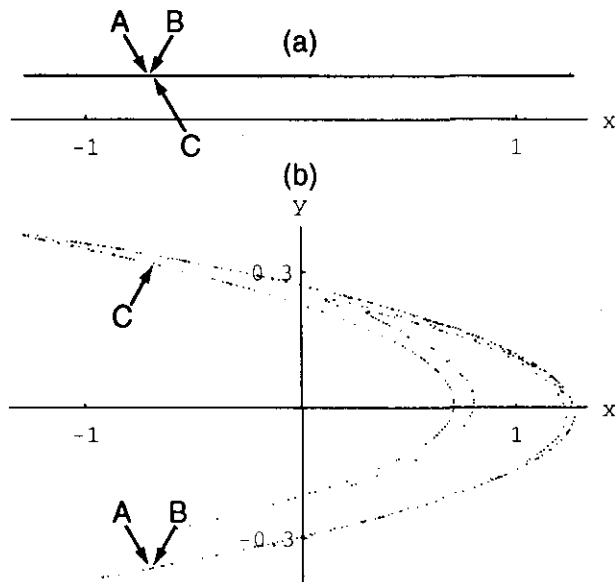


Figure 3. Data from the Hénon attractor (see table 1 for equations): (a) in too low an embedding space, (b) in a large enough embedding space. In (a) A, B, and C are neighbors, while in (b) it becomes clear that A is a true neighbor of B, while C is a false neighbor of B.

where N is the length of the time-series, d_2 is the correlation dimension, D is the diameter of the reconstructed attractor, and r is a parameter of the Wolf et al. (1985) method. As a measure of D one may use the rms value of the time series

$$D^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [s(i) - \bar{s}]^2,$$

where $\bar{s}$ is the average of the observations. In order to obtain sensible results it is required that r/D is of the order of 1%.

Then I apply the method proposed by Holzfuss and Lauterborn (1989) to find part of the characteristic Lyapunov exponents (λ_i) spectrum (ordered by their magnitudes $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots$). Thus, the exponent obtained with the first method should help eliminating large spurious exponents that result from the application of the second one. I have not used the popular method by Eckmann et al. (1986) to find the Lyapunov exponents spectrum, due to concerns about its robustness expressed by Vastano and Kostelich (1986).

A relation between KS entropy and Lyapunov exponents was originally presented by Pesin (1977). Namely, KS entropy (K) equals the sum of the positive Lyapunov

exponents if the system is ergodic³. K is the rate at which the system generates information, and is therefore inversely proportional to the predictability of the system. KS entropy is also a measure of how chaotic a system is.

The definition of Lyapunov dimension (Young 1982) was introduced by Kaplan and Yorke (1979):

$$d_L = j + \frac{1}{|\lambda_{j+1}|} \sum_{i=1}^j \lambda_i,$$

where j is the largest integer for which $\sum_{i=1}^j \lambda_i > 0$. According to Farmer et al. (1983) for a typical attractor Lyapunov dimension should be equal to the dimension of the natural measure. Nevertheless, since the data sets we are working with are finite and not necessarily products of a perfectly stationary system, this equality does not hold exactly. Comparison of this dimension with the one obtained before is, nonetheless, a relatively accurate way of validating measured Lyapunov exponents.

In figure 4 I present a schematic summary of the procedure just described. Time sampling and epoch selection are briefly described in the next section.

3. Analyzed material and numerical results

Prior to EEG analysis I have tested the correctness of the above exposed method with simulated data: logistic mapping, Hénon mapping, and noiseless and noisy Lorenz system. For the latter I used additive gaussian distribution noise (zero mean and standard deviation equal to 1% of the reconstructed attractor size) as proposed by Yao and Tong (1994). Table 1 summarizes calculated values and references to sources of alternative results or alternative methods. In general, the values I have obtained depend strongly on the chosen parameters.

Figure 5 illustrates a noteworthy fact: for certain parameter values of the logistic map the FNN method gives erroneous results (FNN percentage never drops to zero and after reaching a minimum it rises as for a noisy time series). This is caused by the AMI method which yields too large a time delay (it should be 1). This is an interesting fact, because as I will discuss in some detail later I obtain similar results when I analyze certain sleep stages. With sleep stages, however, the fact that the FNN percentage does not approach zero is not due to a wrong time-delay selection.

³ A system is ergodic if its Lyapunov exponents are independent of the position in phase-space.

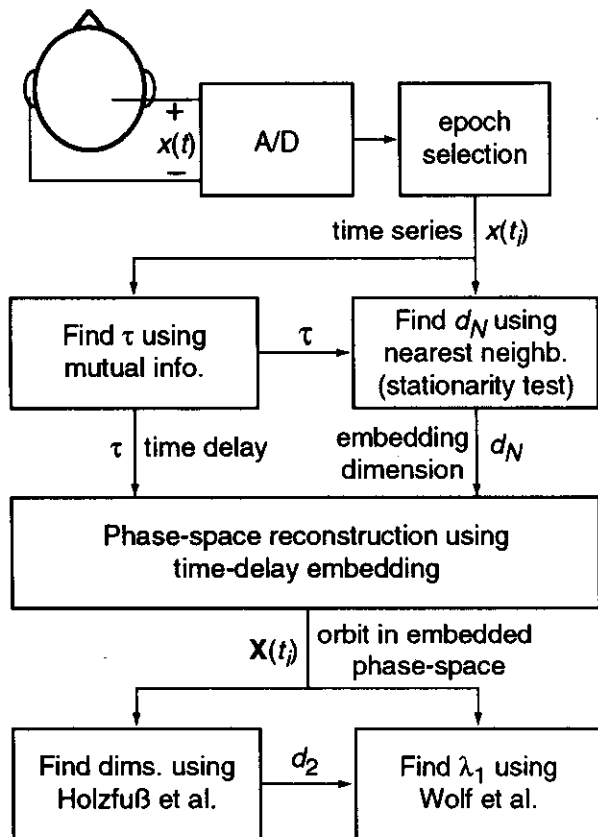


Figure 4. Summary of the applied method. See text for details.

Experimental data analysis has been performed on three EEG signals of different sleeping subjects taken from the MIT-BIH (1992) polysomnographic database. Subjects were monitored for evaluation of chronic obstructive sleep apnea syndrome (Broughton 1993). EEG recordings were taken in position C4-A1 according to the international 10-20 system (Reilly 1993) and had lengths that varied from two to six and a half hours, at a sampling rate of 250 samples per second. For analysis purposes, I have divided time series in 10,000 points epochs. Using such long sections is a must to comply with restriction (3). The 40-second epochs are selected visually in order to qualitatively assure stationarity, absence of artifacts, and permanence in a single sleep stage. Visual inspection also includes analysis of power spectra for shorter 512 points sub-epochs, as it is usual in clinical applications. The long epochs can be chosen, because I am further testing for stationarity using the method described by Kennel and Abarbanel (1996) (as I already discussed).

Unfortunately, I have not been able to analyze sleep stage 1, since its duration in the examined EEGs was too short. Furthermore, the distinction between deep drowsiness and light sleep is imprecise and has necessarily been drawn in a somewhat arbitrary and artificial manner.

Application of the AMI method (Fraser and Swinney 1986) yields time-delays in the range $4 \cdot T_s - 9 \cdot T_s$. Thus, in accordance to the criterion by Kennel and Abarbanel (1996) the signal is somewhat oversampled in most cases. Since the oversampling is not too acute, however, I do not down-sample the signal. Some AMI functions show marked minima, while others do not. In general I have found that the AMI function for REM sleep is the most jagged one, while the one for sleep stage 4 is the smoothest. Figure 6 shows two typical results of the AMI procedure.

As expected for a noisy signal, percentage of FNNs raises monotonously after reaching a minimum. For operative purposes if the minimum value of FNN percentage is below 5% I consider the epoch acceptable. I have not been able to find epochs corresponding to sleep stages 2 and REM that comply with this restriction. Figure 7 illustrates this fact. This issue is very important and will be further discussed in the next section.

Moreover, the FNN procedure further provides a stationarity test, by calculating the diverse results for various decorrelation intervals. For the procedure described herein I use decorrelation intervals in the 0-20- τ range. If the various plots coincide in what seems a unique bundle, the epoch is stationary. See figure 7 for an illustration.

The last part of the procedure is to find the dimension of the attractor and the largest Lyapunov exponent. Finding the correlation dimension is straightforward. The

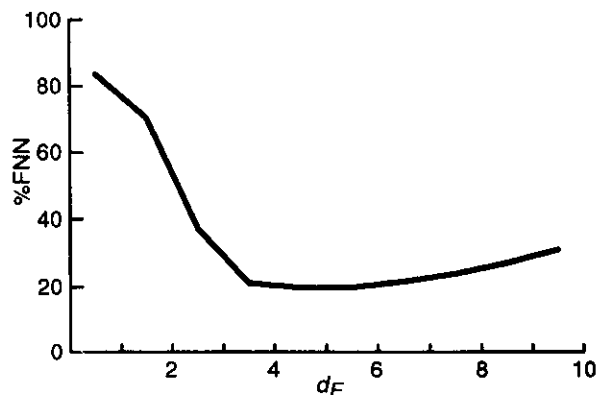


Figure 5. FNN percentage for the logistic mapping with $a = 3.9$. The procedure erroneously gives $d_N > 1$. Moreover the FNN percentage has a minimum that is well above zero and then rises as if the time series were noise contaminated.

System	Parameter values	Theoretical Lyapunov spectrum (bits/iter.)	τ using (Fraser and Swinney 1986) (iter.)	d_N using (Kennel and Abarbanel 1996; Kennel et al. 1992)	d_2 using (Holzfuss and Mayer-Kress 1986)	Largest exponent using (Wolf et al. 1985)
<i>Logistic mapping:</i>						
(Binder and Campos 1996)	$a = 3.6$	$\lambda \approx 0.1814$	1	1	0.92	0.22
$x_{n+1} = a x_n (1 - x_n)$	$a = 3.9$	$\lambda \approx 0.491$	9	4	0.93	0.51
<i>Hénon iterator:</i>						
(Wolf et al. 1985)	$\begin{cases} a = 1.4 \\ b = 0.3 \end{cases}$	$\lambda_1 = 0.603$	8	2	1.22	0.56
$x_{n+1} = 1 - ax_n^2 + y_n$		$\lambda_2 = -2.34$				
$y_{n+1} = bx_n$						
<i>Noiseless Lorenz:</i>						
(Wolf et al. 1985)	$\begin{cases} \sigma = 16.0 \\ r = 45.92 \\ b = 4.0 \end{cases}$	$\lambda_1 = 2.16$	0.16s	3	2.08	2.03
$\dot{x} = \sigma(y - x)$		$\lambda_2 = 0.00$				
$\dot{y} = -xz + rx - y$		$\lambda_3 = -32.4$				
$\dot{z} = xy - bz$		(bits/s)				
(sampling rate: 100Hz)						
<i>Noisy Lorenz:</i>						
(Wolf et al. 1985)	Same as above	Same as above	0.16	3	2.10	2.13

Table 1. Results of procedure applied to simulated data.

result of the Wolf et al. (1985) algorithm, on the other hand, is a series of points. In order to obtain a correct result, it is necessary that the points converge to a value like shown in figure 8. To achieve convergence a parameter (the evolution time between replacements) must be adjusted by trial and error. A wide range of evolution times must be checked, since we do not know the mechanism for chaos of the system. Table 2 is a summary of the obtained numerical results.

4. Discussion and conclusions

Unfortunately it is not possible to find the dimensions and the largest Lyapunov exponent for every sleep stage. For the few sleep stages that can be analyzed, however, I have found that apparently the deeper the sleep, the lower the EEG dimensionality. This result is in agreement with the ones presented by Röschke and Aldenhoff (1992, 1993). The largest Lyapunov exponent also seems to decrease with deeper sleep. Variations among sleep stages are, nonetheless, not large.

I have applied a procedure that finds the Lyapunov exponents spectrum. However this method does not yield valid results, due to a significant lack of robustness. Ideally the whole spectrum of Lyapunov exponents should be calculable, nevertheless, several factors can induce errors in the performed analysis: measurement conditions, nonstationarity of the signal (Elbert et al. 1994), spurious exponents (Grassberger 1991; Holzfuss and Lauterborn 1989), sampling-rates, time series and epochs lengths (Eckmann and Ruelle 1992; Kantz and Schreiber 1994), filtering, and noise reduction (Kantz and Schreiber 1994; Molinari and Dumermuth 1992). For a brief but complete discussion about influence of some of these factors specifically on the analysis of EEGs see Albano and Rapp (1992). Thus, we should call the measured exponents the "apparent spectrum of Lyapunov exponents". These have only meaning in a comparative sense.

The present EEG analysis has a number of improvements over previous investigations. Many previous researches have used the first zero-crossing of the auto-

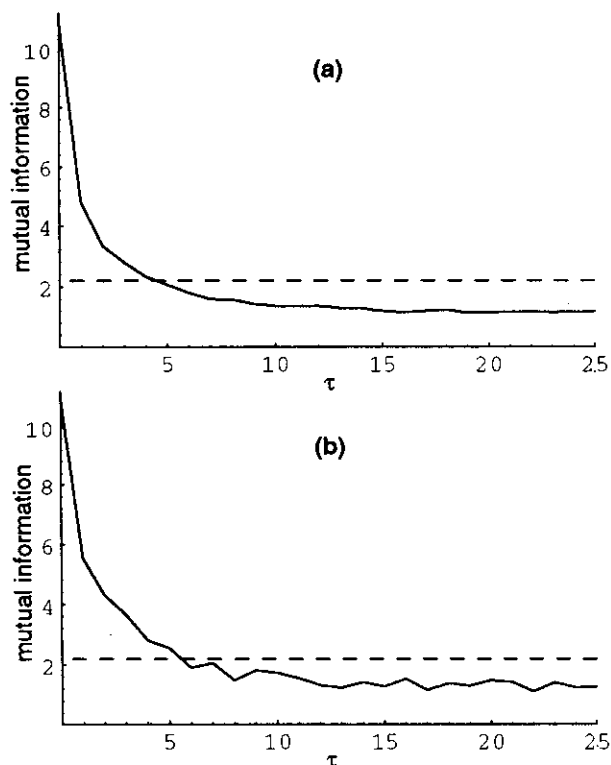


Figure 6. Typical AMI functions for the EEG (solid line). The dashed line corresponds to 1/5 of the maximum AMI value. (a) Stage 4 sleep. No marked minimum is present. (b) REM sleep. In this case a first minimum is well defined. Notice the approximate agreement of the first minimum criterion and the 1/5 of maximum value criterion for this case.

correlation function (Abarbanel et al. 1993) to find the embedding time. This method, however, only assures linear independence of the used samples, which are most likely to be generated by a nonlinear system. For the analysis presented here I used the first minimum of the AMI function to find time-delay. Thus, the coordinates used are more generally independent and allow a better reconstruction

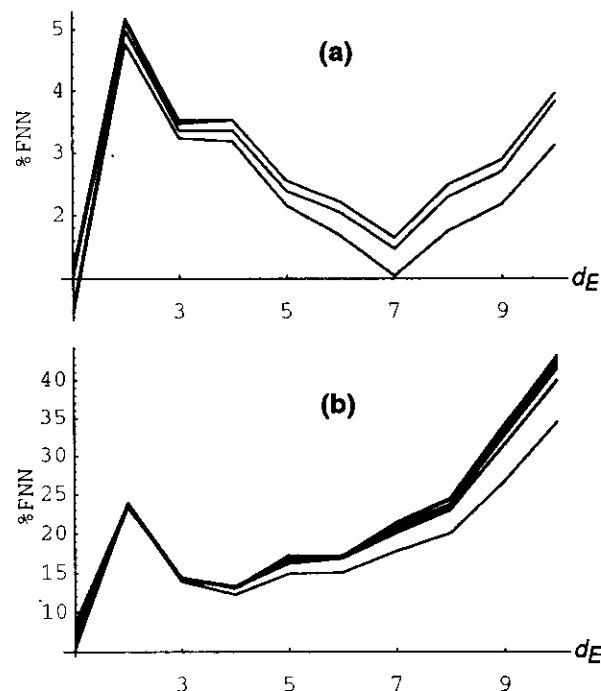


Figure 7. FNN percentage for the EEG. Curves correspond to different decorrelation intervals in the 0–20- τ range. They are bundled because both time series are almost stationary. (a) Stage 4 sleep. %FNN has minimum at $d_E=7$. Its value there is less than 5%, so $d_N=7$ is acceptable. A fictitious rise in the 1–2 range is due to limitations of the box-algorithm (Schreiber 1995) for small d_E . (b) REM sleep. In this case the minimum occurs at $d_E=4$, and its corresponding value is too high to be acceptable. Compare this result with figure 5. As before, the 1–2 region is false.

of phase-space, as shown by Fraser and Swinney (1986).

Many previous investigations have not taken into account that the length of the selected epochs sets an upper limit to the numerical results one can get from the Wolf et al. (1985) method. In the procedure here presented I use the criterion proposed by Eckmann and Ruelle (1992) to avoid

Sleep stage	AMI	τ	d_N	d_2 (avg.)	λ_1
1	—	—	—	—	—
2	jagged	5–9	—	—	—
3	smooth	4–6	5–6	3.38	0.5–0.7
4	smoothest	5–7	6–7	3.36	0.4–0.6
REM	most jagged	6–8	—	—	—

Table 2. Summary of the obtained numerical results.



Figure 8. Typical converging result of the Wolf et al. (1985) algorithm.

this limitation. Thus, long time series are required which make stationarity tests a must.

Another positive feature of the analysis presented here is the use of the FNN method (Kennel and Abarbanel 1996; Kennel et al. 1992) to find a necessary embedding dimension. This procedure directly addresses problems common in time-delay embedding, and thus works extremely well for phase-space reconstruction. I have also used the invariant saturation method described by Abarbanel et al. (1993), but I encountered that the FNN procedure is more robust. Furthermore, the FNN method gives a numerical estimate of the error that comes about from choosing too small an embedding dimension. This may be desirable at some times if we need to sacrifice some precision to lessen computing time. Since the method is quite accurate, we also obtain a good estimate of an upper bound to the dimensions of the attractor. Most recently Kennel and Abarbanel (1996) made appreciable improvements to this method (called now the method of FNN and false strands). I have already applied one of these improvements in this article, the use of a decorrelation interval, which not only improves FNN estimation, but is also a stationarity test.

As I mentioned before, figure 5 shows the erroneous result yielded by the FNN method when applied to the logistic mapping with $a=3.9$ and $\tau=9$, where τ has been found by the AMI method (Fraser and Swinney 1986). The FNN percentage does not approach zero and after reaching a minimum rises as if the orbit were noise contaminated. This outcome is not in accordance with the deterministic origin of the time series. The correct result is obtained when I use $\tau=1$. This illustrates that the method described herein must be applied carefully to orbits generated by discrete time systems.

For the EEGs of sleep stages 2 and REM (see figure 7b) I have found that the FNN percentage does not approach zero. In this case the result is not due to a wrong time-delay selection. Nor is noise responsible for this effect. I have also tested "deterministic" nonlinear systems with noisy parameters and have not found a similar result. Non-stationarity does not seem to be the reason for the effect either, since I obtain the same results for time series half as long. Thus, I presume that the most feasible explanation of the FNN not approaching zero is that the assumption that the EEG is generated by a deterministic nonlinear dynamical system is faulty. The FNN method (Kennel and Abarbanel 1996; Kennel et al. 1992) is directly founded on Takens' theorem (Takens 1981), which works for every deterministic nonlinear system. Thus, a FNN percentage that does not come close to zero tells us that there is no finite dimensional embedding space in which we can describe the system dynamics. This strongly suggests that the EEG does not originate solely from a deterministic nonlinear system. If this is true a totally different analysis approach must be applied to take into account the stochastic element of the EEG.

I have used a Cray J916 and a SUN workstation. Analysis of each 40-seconds epoch takes typically one and a half hours. The FNN method consumes most of the time (90% on the average). Therefore if this nonlinear analysis technique is to be used in real-time it is indispensable to use a more efficient method for finding near neighbors, than the one I have used for this analysis. I do not recommend circumventing this bottle-neck of the process by using a fixed embedding dimension, because the estimation of the largest Lyapunov exponent is very sensitive to its accurate selection. Furthermore, the FNN method provides information about stationarity that is indispensable because of the long epochs that are necessary. On the other hand, real-time Lyapunov analysis is being developed.

There are still a number of improvements and of additional investigations that can be performed based on the work done so far. One is to use some new methods developed for analysis of short noisy data sets. Thus we could analyze shorter time-series, making visual inspection of the data less critic and less necessary. Another open field is to study whether EEGs originate from low-dimensional deterministic nonlinear dynamics. In this article I have already mentioned a hint against this assumption, but it must be put on firmer ground. For instance, to test whether the EEG is colored noise is straightforward, using the new improved method of FNN and false strands (Kennel and Abarbanel 1996). It has the advantage that it needs much

less computation than the standard surrogate data approach used for this purpose. Furthermore, it distinguishes successfully low-dimensional chaos from noisy periodicity and other highly resonant linear systems that frequently fool surrogate data methods.

Articles on this subject rarely describe thoroughly the procedure followed. Decisive steps, such as choosing the necessary embedding dimension and time delay are usually described vaguely if not totally omitted. In this article I have made an effort to present the details of the procedure, to make EEG analysis by non-linear means a more accessible tool for everyone. Furthermore, the analysis procedure described herein is general and can be applied to any time series originating from a deterministic nonlinear dynamical system.

5. Acknowledgments

The author thanks very specially Prof. P.-M. Binder, Prof. D. Campos, Prof. J.C. Martínez, and Prof. J. Bohórquez for most valuable advice and discussion. I am also grateful to Prof. J. Holzfuss for making available his programs Lyapunov and Dimension and to Dr. F.W. Schneider for his program Mutinfo. And last but not least, I would like to thank the Centro MOX de Computación Avanzada and Centro de Microelectrónica CMUA, both at Universidad de los Andes, for the use of a Cray J916 and SUN workstations, respectively.

6. References

- Abarbanel, H.D., R. Brown, J.J. Sidorowich, & L.S. Tsimring. 1993. The analysis of observed chaotic data in physical systems. *Reviews of Modern Physics* **65**(4): 1331–1392.
- Albano, A.M. & P.E. Rapp. 1992. On the reliability of dynamical measures of EEG signals in Jansen B.H. & M.E. Brandt (ed.) Second annual conference on nonlinear dynamical analysis of the EEG. World Scientific Publishing. Houston. 117–139.
- Babloyantz, A. & A. Destexhe. 1986. Low-dimensional chaos in an instance of epilepsy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **83**: 3513–3517.
- Binder, P.-M. & D.H. Campos. 1996. Direct calculation of invariant measures for chaotic maps. *Physical Review E* **53**(5): R4259–4262.
- Broughton, R.J. 1993. Polysomnography: principles and applications in sleep and arousal disorders in Niedermeyer E. & F.L.d. Silva (ed.) *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Williams and Wilkins. Baltimore. 765–802.
- Casdagli, M., S. Eubank, J.D. Farmer, & J. Gibson. 1991. A theory of state space reconstruction in the presence of noise in Atmanspacher H. & H. Scheingraber (ed.) *Information dynamics*. Plenum Press. New York.
- Chhabra, A. & R.V. Jensen. 1989. Direct determination of the $f(\alpha)$ singularity spectrum. *Physical Review Letters* **62**(12): 1327–1330.
- Doyon, B. 1992. On the existence and the role of chaotic processes in the nervous system. *Acta Biotheoretica* **40**: 113–119.
- Eckmann, J.P., S.O. Kamphorst, D. Ruelle, & S. Ciliberto. 1986. Liapunov exponents from a time series. *Physical Review A* **34**(6): 4971–4979.
- Eckmann, J.P. & D. Ruelle. 1992. Fundamental limitations for estimating dimensions and Lyapunov exponents in dynamical systems. *Physica D* **56**: 185–187.
- Elbert, T., W.J. Ray, Z.J. Kowalik, J.E. Skinner, K.E. Graf, & N. Birbaumer. 1994. Chaos and physiology: deterministic chaos in excitable cell assemblies. *Physiological Reviews* **74**(1): 1–47.
- Farmer, J.D. 1982. Information dimension and the probabilistic structure of chaos. *Zeitschrift für Naturforschung* **37a**: 1304–1325.
- Farmer, J.D., E. Ott, & J.A. Yorke. 1983. The dimension of chaotic attractors. *Physica D* **7**: 153–180.
- Fell, J., J. Röschke, & P. Beckmann. 1993. Deterministic chaos and the first positive Lyapunov exponent: a nonlinear analysis of the human electroencephalogram during sleep. *Biological Cybernetics* **69**: 139–146.
- Frank, G.W., T. Lookman, M.A.H. Nerenberg, C. Essex, J. Lemieux, & W. Blume. 1990. Chaotic time series analyses of epileptic seizures. *Physica D* **46**: 427–438.
- Fraser, A.M. & H.L. Swinney. 1986. Independent coordinates for strange attractors from mutual information. *Physical Review A* **33**(2): 1134–1140.
- Gallez, D. & A. Babloyantz. 1991. Predictability of human EEG: a dynamical approach. *Biological Cybernetics* **64**: 381–391.
- Grassberger, P. 1983. Generalized dimensions of strange attractors. *Physics Letters* **97A**(6): 227–230.
- Grassberger, P. 1991. Information and complexity measures in dynamical systems in Atmanspacher H. & H. Scheingraber (ed.) *Information Dynamics*. Plenum Press. New York. 15–33.
- Grassberger, P. & I. Procaccia. 1983a. Characterization of strange attractors. *Physical Review Letters* **50**(5): 346–349.

- Grassberger, P. & I. Procaccia. 1983b. Estimation of the Kolmogorov entropy from a chaotic signal. *Physical Review A* 28(4): R2591–2593.
- Grassberger, P. & I. Procaccia. 1983c. Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica D* 9: 189–208.
- Halsey, T.C., M.H. Jensen, L.P. Kadanoff, I. Procaccia, & B.I. Shraiman. 1986. Fractal measures and their singularities: the characterization of strange sets. *Physical Review A* 33(2): 1141–1151.
- Holzfuss, J. & W. Lauterborn. 1989. Liapunov exponents from a time series of acoustic chaos. *Physical Review A* 39(4): 2146–2152.
- Holzfuss, J. & G. Mayer-Kress. 1986. An approach to error-estimation in the application of dimension algorithms in Mayer-Kress G. (ed.) *Dimensions and entropies in chaotic systems*. Springer-Verlag. Berlin. 114–122.
- Kantz, H. & T. Schreiber. 1994. Dimension estimates and physiological data. *Chaos* 5(1): 143–154.
- Kaplan, J.L. & J.A. Yorke. 1979. Numerical solution of a generalized eigenvalue problem for even mappings in Peitgen H.O. & H.O. Walter (ed.) *Functional Differential Equations and Approximation of Fixed Points*. Springer-Verlag. Berlin.
- Kennel, M.B. & H.D.I. Abarbanel. 1996. False neighbors and false strands: a reliable minimum embedding dimension algorithm. *In print*.
- Kennel, M.B., R. Brown, & H.D.I. Abarbanel. 1992. Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. *Physical Review A* 45(6): 3403–3411.
- Landa, P.S. & M.G. Rozenblyum. 1989. Method for evaluating the embedding dimension of an attractor from experimental results. *Sov. Phys. Tech. Phys.* 34(1): 6–10.
- Mañé, R. 1981. On the dimension of the compact invariant sets of certain non-linear maps in Rand D. & L.-S. Young (ed.) *Dynamical Systems and Turbulence*. Lecture Notes in Mathematics. 898. Springer. Berlin. 230–242.
- Mindlin, G.B., H.G. Solari, M.A. Natiello, R. Gilmore, & X.-J. Hou. 1991. Topological analysis of chaotic time series data from the Belousov-Zhabotinskii reaction. *Journal of Nonlinear Science* 1: 147–173.
- MIT-BIH 1992. Polysomnographic Database. 2. ed., Biomedical Engineering Center at the Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology.
- Molinari, L. & G. Dumermuth. 1992. Once more: dimension and Lyapunov exponents for the human EEG in Jansen B.H. & M.E. Brandt (ed.) *Second annual conference on nonlinear dynamical analysis of the EEG*. World Scientific Publishing. Houston. 140–155.
- Niedermeyer, E. 1993. Sleep and EEG in Niedermeyer E. & F.L.d. Silva (ed.) *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Williams and Wilkins. Baltimore. 153–166.
- Oseledec, V.I. 1968. A multiplicative ergodic theorem. Lyapunov characteristic numbers for dynamical systems. *Trans. Moscow Math. Soc.* 19: 197–231.
- Packard, N.H., J.P. Crutchfield, J.D. Farmer, & R.S. Shaw. 1980. Geometry from a time series. *Physical Review Letters* 45(9): 712–716.
- Palus, M. 1992. Testing for nonlinearity in the EEG in Jansen B.H. & M.E. Brandt (ed.) *Second annual conference on nonlinear dynamical analysis of the EEG*. World Scientific Publishing. Houston. 100–114.
- Pesin, Y.B. 1977. Characteristic Lyapunov exponents and smooth ergodic theory. *Russian Math. Surveys* 32(4): 55–114.
- Reilly, E.L. 1993. EEG recording and operation of the apparatus in Niedermeyer E. & F.L.d. Silva (ed.) *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Williams and Wilkins. Baltimore. 104–124.
- Röschke, J. & J.B. Aldenhoff. 1992. A nonlinear approach to brain function: deterministic chaos and sleep EEG. *Sleep* 15(2): 95–101.
- Röschke, J. & J.B. Aldenhoff. 1993. Estimation of the dimensionality of sleep-EEG data in schizophrenics. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience* 242: 191–196.
- Schreiber, T. 1995. Efficient neighbor searching in nonlinear time series analysis. *International Journal of Bifurcation and Chaos* 5(2): 349–358.
- Takens, F. 1981. Detecting strange attractors in turbulence in Rand D. & L.-S. Young (ed.) *Dynamical Systems and Turbulence*. Lecture Notes in Mathematics. 898. Springer. Berlin. 366–381.
- Theiler, J. 1995. On the evidence for low-dimensional chaos in an epileptic electroencephalogram. *Physics Letters A* 196: 335–341.
- Vastano, J.A. & E.J. Kostelich. 1986. Comparison of algorithms for determining Lyapunov exponents from experimental data in Mayer-Kress G. (ed.) *Dimensions and entropies in chaotic systems*. Springer-Verlag. Berlin. 100–107.
- Wolf, A., J.B. Swift, H.L. Swinney, & J.A. Vastano. 1985. Determining Lyapunov exponents from a time series. *Physica D* 16: 285–317.
- Yao, Q. & H. Tong. 1994. On prediction and chaos in stochastic systems. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 348: 357–369.
- Young, L.-S. 1982. Dimension, entropy and Lyapunov exponents. *Ergod. Th. & Dynam. Sys.* 2: 109–124.

MODELO LOGISTICO: UN PARADIGMA EN LA TEORIA DEL CAOS

por

Diógenes Campos Romero¹

Resumen

Campos-Romero, D.: Modelo logístico: un paradigma en la teoría del caos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 503-518. 1996. ISSN 0370-3908.

Se describe la aplicación logística en conexión con el modelo de Verhulst para la dinámica de poblaciones. Se hace énfasis en la distinción entre comportamiento regular y comportamiento caótico. El objetivo de la contribución es introducir al lector en la teoría del caos y mostrar su relevancia para las ciencias naturales.

Palabras claves: Aplicación logística, exponente de Lyapunov, caos.

Abstract

The logistic map is described in connection with the Verhulst model for population dynamics. The distinction between regular and chaotic behavior is stressed. The goal of this paper is to introduce the reader to the chaos theory, and to show its relevance for the natural sciences.

Key words: Logistic map, Lyapunov exponent, chaos.

1. Introducción

La palabra caos aparece en diferentes contextos religiosos, filosóficos, físicos. Si se consulta el diccionario (Real Academia Española 1992), caos es “el estado amorfo e indefinido que se suponía anterior a la constitución del cosmos”. En general, desde los tiempos antiguos este término ha sugerido misterio, incertidumbre, complejidad,

confusión, desorden. En el presente trabajo nos restringimos al uso de esta palabra dentro del contexto de las ciencias naturales. En las tablas 1A y 1B se incluyen algunos datos que facilitan ubicar la presentación dentro de un contexto histórico.

Boltzmann (1844-1906), uno de los fundadores de la teoría estadística de procesos de no equilibrio, supuso que

¹ Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. E-mail: dcamposr@ciencias.ciencias.unal.edu.co

Año	Autor	Contribución
1687	I. Newton (1642-1727)	Leyes fundamentales de la dinámica clásica y la ley de la gravitación.
1776	P. S. Laplace (1749-1827)	Determinismo y predicción ¹
1883	G. Cantor (1845-1918)	El conjunto de Cantor ²
1871	L. Boltzmann (1844-1906)	Hipótesis ergódica
1903	H. Poincaré (1854-1912)	Aproximación geométrica a la dinámica, el problema de los "pequeños denominadores", albores de la teoría del caos ³ .
	A. M. Lyapunov (1857-1918)	Continúa el trabajo de Poincaré, introduce el concepto de estabilidad en sistemas dinámicos.

Tabla 1A. Algunos datos históricos relevantes en la teoría del caos.

el movimiento molecular en un gas diluido debería ser aleatorio, al azar, desordenado (caos molecular), y que cada molécula exploraría la totalidad del espacio de fase energéticamente accesible a ella. Esta afirmación se identifica con el nombre de hipótesis ergódica. Dentro de este enfoque, un sistema tiene comportamiento caótico (en el sentido de estocástico) como consecuencia de una propiedad interna del sistema y no como resultado de fuerzas aleatorias que lo afecten. El movimiento atómico desordenado desempeña un papel constructivo en la teoría cinética, permitiendo introducir el concepto de función de distribución, determinar con su ayuda valores promedio de magnitudes físicas y describir la manera como el sistema macroscópico se aproxima a la situación de equilibrio termodinámico.

Henry Poincaré (1854-1912) al estudiar el problema de la estabilidad del sistema solar, en un modelo simplificado de tres cuerpos, formuló ideas precisas sobre el comportamiento de sistemas dinámicos. Encontró que bajo ciertas condiciones se presenta un fenómeno conocido con el nombre de *resonancias*, el cual da origen a un movimiento inesperado, altamente irregular (caótico, en lenguaje moderno). Kolmogorov (1954), Arnold (1963) y Moser (1962), en trabajos independientes continuaron con el desarrollo de las ideas de Poincaré y sus esfuerzos conllevaron al teorema KAM, pieza fundamental dentro de la investigación moderna de sistemas dinámicos mecánicos (Lazukin 1991; Lichtenberg and Lieberman 1992).

Al partir de las ecuaciones deterministas y reversibles de la mecánica, Poincaré llegó a la conclusión de que la mecánica y la teoría cinética eran incompatibles y recomendó, como consecuencia, omitir la lectura de los trabajos de Boltzmann (Klimontovich 1991). La rivalidad entre la

situación respectiva de los seres que la componen, y que, por otra parte, fuera suficientemente amplia como para someter estos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más ligeros; nada le sería incierto, y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante ella". Citado en (Février 1957), pg. 18.

- 2 Conjunto de Cantor: conjunto cerrado, totalmente desconectado, subconjunto perfecto del intervalo $[0, 1]$. Un conjunto es totalmente desconectado si no contiene intervalos. El conjunto es perfecto si cada punto es un punto de acumulación o un punto límite de los otros puntos del conjunto (Devaney 1989). Un ejemplo típico es el *conjunto de Cantor del tercio medio* (figura 1), el cual se genera por un proceso iterativo en el cual se remueve el tercio medio de los segmentos previos. Este conjunto tiene longitud cero y dimensión no entera. Nótese que él es más que un punto pero menos que el intervalo $[0, 1]$.
- 3 Una causa muy pequeña que nos pase desapercibida determina un efecto considerable que no podemos evitar ver ... aun si se diera el caso de que las leyes naturales no tuvieran más secretos para nosotros, sólo podríamos conocer la situación inicial aproximadamente ... Puede ocurrir que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales generen grandes diferencias en los fenómenos finales. Citado en (Holton and May 1995a), pg. 97

¹ "Debemos pues considerar el estado presente del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que debe seguirlo. Una inteligencia que en un instante dado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza y la

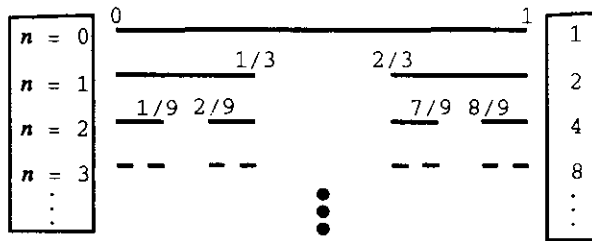


Figura 1. Conjunto de Cantor del tercio medio.

teoría estadística de Boltzmann y la teoría dinámica de Poincaré conllevó al desarrollo de dos aproximaciones diferentes para el estudio de sistemas macroscópicos.

Como consecuencia de desarrollos recientes de la teoría de sistemas dinámicos se sabe que los dos esquemas de pensamiento son compatibles y que existe una estrecha relación entre dinámica no lineal y teoría ergódica. La aplicación logística tratada en el presente artículo servirá para ilustrar este hecho.

La palabra caos se utilizó por primera en la literatura científica en 1975 (Devaney 1992; Hoppensteadt 1993) cuando Li y Yorke publicaron un artículo titulado "Period Three Implies Chaos" (Li y Yorke 1975). Desde entonces, ideas antiguas y modernas, debidamente depuradas, han convergido para dar origen a la *teoría del caos*, esto es, a la disciplina científica que estudia sistemas dinámicos no lineales.

En este artículo utilizamos la aplicación logística para ilustrar algunos hechos característicos de sistemas que presentan comportamiento caótico. La selección de este ejemplo, asociado históricamente con el estudio de dinámica de poblaciones, permite mostrar que el concepto de caos es relevante no sólo en la física, en elucidar la confrontación Boltzmann-Poincaré, sino también en diferentes campos de las ciencias naturales y de la ingeniería, al igual que en la adopción de posiciones filosóficas.

No obstante el comportamiento determinista, en un *sistema caótico* es imposible la predicción del futuro distante debido a que dos condiciones inicialmente vecinas originan trayectorias radicalmente diferentes, que se separan con el transcurrir del tiempo de manera exponencial. Estos sistemas son altamente sensibles a pequeños cambios en las condiciones iniciales.

2. Modelos

En las ciencias naturales, al igual que en otras áreas del conocimiento, se utilizan modelos para explicar o predecir fenómenos. En esencia, en un *modelo* el sistema se representa en términos de ecuaciones matemáticas que incorporan aspectos fundamentales de la realidad y desprecian aspectos secundarios. Los modelos se perfeccionan con la incorporación de nuevos elementos que permitan lograr una mejor correspondencia entre las predicciones teóricas y los hechos observados. Por ejemplo, la caída libre de un cuerpo se puede estudiar mediante un modelo que tiene en cuenta la atracción gravitacional de la tierra pero desprecia la forma del cuerpo y los efectos de la fricción con el aire. Un modelo más perfeccionado incorpora estos elementos en la descripción del movimiento, pero seguramente no tendrá en cuenta los efectos de la atracción gravitacional de la luna. Lo que se busca con un modelo es ganar conocimiento del sistema a través de una representación simplificada del mismo. El modelo describe un sistema artificial, un mundo ficticio que en buena medida constituye una caricatura del sistema real.

Un modelo no necesita ser matemático y puede ser "verbal" (Odum 1972), de naturaleza descriptiva. Un ejemplo es la teoría de Darwin sobre el mecanismo de la evolución de las especies de los seres vivos, la cual propuso con el fin de responder dudas acerca de la estabilidad de las especies y que fundamentó en cantidad de observaciones y documentos científicos.

Independiente de la disciplina a que pertenezca, para que un modelo se pueda incorporar dentro del dominio de la teoría del caos es *condición necesaria* que el modelo se pueda representar en términos de ecuaciones matemáticas de una naturaleza especial, que describan la evolución del sistema (en tiempo discreto o en tiempo continuo) por medio de reglas deterministas, no lineales, bien definidas (*sistemas dinámicos*).

El objetivo básico de la teoría de sistemas dinámicos es comprender el comportamiento asintótico de un proceso descrito por ecuaciones diferenciales (tiempo continuo, t) o por iteraciones de una función (tiempo discreto, n). Lo que se quiere es predecir el futuro distante ($t \rightarrow \infty$) o el pasado remoto ($t \rightarrow -\infty$). La aplicación logística es un modelo en tiempo discreto que usaremos en el presente artículo para describir hechos característicos de sistemas dinámicos

Año	Autor	Contribución
década 1950		Invencción de computadores de alta velocidad ⁴ .
1954 1960	Kolmogorov, Arnold, Moser	Comportamiento complicado en sistemas hamiltonianos, teorema KAM.
1963	E. N. Lorenz	Encuentra soluciones aperiódicas en sistemas deterministas disipativos de baja dimensionalidad.
década 1970	Mandelbrot	Introducción del concepto de fractal ⁵ .
1971	D. Ruelle & F. Takens	Turbulencia y atractores extraños ⁶ .
1975	T. Y. Li & J. A. Yorke	Introducción de la palabra <i>caos</i> en la literatura científica moderna (Li y Yorke 1975).
1976	R. M. Mai	Caos en la aplicación logística (May 1976).
1975- 1979	M. Feigenbaum	Leyes universales que gobiernan la transición de comportamiento regular a caótico (Feigenbaum 1985).
décadas 1980, 1990		Variadas contribuciones en diferentes campos de las ciencias

Tabla 1B. Algunos datos históricos relevantes en la teoría del caos.

que presentan tanto un comportamiento regular como uno caótico.

⁴ J. P. Eckert y J. Mauchly de la Universidad de Pennsylvania construyeron el Eniac (Electronic Numerical Integrator and Calculator), la cual operó durante la Segunda Guerra Mundial pero sólo se conoció en 1946 (Patterson and Hennessy 1995).

⁵ De manera intuitiva, un *fractal* es un conjunto que tiene la característica de que al ampliar un subconjunto (verlo con un microscopio) éste se ve exactamente igual que el conjunto original (propiedad de autosimilitud). El conjunto de Cantor del tercio medio es un ejemplo de fractal. Mandelbrot introdujo este concepto con el fin de analizar las irregularidades observadas en el mundo físico: "Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las líneas costeras no son círculos, las cortezas de los árboles no son lisas, ni la luz viaja en línea recta" (Stewart 1992).

⁶ Los sistemas disipativos se caracterizan por la presencia de *atractores* en el espacio de fase. Dado un conjunto de condiciones iniciales, al esperar un tiempo suficientemente largo que elimine el transiente, los puntos representativos del

3. Modelo logístico y dinámica de poblaciones

3.1 Modelo de Verhulst

En 1845 P. F. Verhulst introdujo un modelo para simular el crecimiento de una población en una área cerrada, utilizando las siguientes suposiciones: en el transcurso del tiempo no cambian las condiciones (clima, número de depredadores, cantidad total de alimento), hay suficiente alimento, no hay interferencia entre individuos, no hay superposición de generaciones, y el medio sólo acepta una población máxima, $N_{\max}$. El modelo de Verhulst-Pearl o modelo logístico establece que la población $N(t)$ cambia con el tiempo t según la relación (Olinck 1978; Peitgen et al. 1992)

estado del sistema dinámico se mueven sobre un conjunto acotado de puntos, el cual recibe el nombre de *atractor*. Los *atractores extraños* son atractores con geometría fractal, esto es, objetos de dimensión no entera (¡no son curvas lisas!).

$$\frac{d}{dt}N(t) = N(t) \left(a - b N(t) \right), \quad N(0) = N_0 \quad (1)$$

donde N_0 es la población inicial, y a y $b = a/N_{\max}$ son constantes positivas. Al resolver esta ecuación se obtiene

$$P(t) := \frac{N(t)}{N_{\max}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{P_0} - 1 \right) \exp(-a t)}, \quad (2)$$

con $P_0 = P(0) = N(0)/N_{\max}$. El comportamiento típico de $P(t)$ se esquematiza en la figura 2.

3.2 Modelo logístico

El biólogo Robert May es uno de los primeros científicos que reconoce la importancia del modelo de Verhulst. Inspirado en este modelo y en la relación

$$\frac{d}{dt}N(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N(t + \Delta t) - N(t)}{\Delta t}, \quad (3)$$

May publica en 1976 un trabajo de revisión (May 1976) en el cual analiza el modelo de Verhulst en tiempo discreto y encuentra que, no obstante la naturaleza determinista de las ecuaciones que gobiernan el sistema, el comportamiento cualitativo de la solución es extremadamente sensible a las condiciones iniciales y que para fines prácticos el comportamiento en el futuro distante es impredecible.

Un primer método para deducir la ecuación que analizó May es como sigue. Se considera el intervalo $[0, t]$ y se hace una partición en la forma $[t_0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_M]$, con $t_0 = 0$ y $t_M = t$. Todos los subintervalos se eligen con



Figura 2. Comportamiento típico de la población en el modelo de Verhulst.

ancho constante $\Delta t := (t - t_0)/M$ y se exige que Δt sea suficientemente pequeño. Se usa la relación (3) para aproximar la derivada y se definen las relaciones auxiliares

$$r := 1 + a \Delta t, \quad x_n = \frac{b \Delta t}{1 + a \Delta t} N(t_n). \quad (4)$$

La ecuación de Verhulst conduce entonces al sistema dinámico discreto

$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n), \quad 0 < r \leq 4, \quad (5)$$

donde $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ y la restricción sobre el parámetro r garantiza que $0 \leq x_n \leq 1$.

Un método alternativo es el siguiente (Peitgen y Richter 1986). Con el fin de modelar la población en generaciones sucesivas se designa por N_0 la población inicial y por N_n la población en la n -ésima generación. Por definición, la rata de crecimiento R es el incremento relativo por año,

$$R := \frac{N_{n+1} - N_n}{N_n} \geq 0. \quad (6)$$

Si R fuera constante, la población crecería indefinidamente y después de n generaciones su tamaño sería $N_n = (1 + R)^n N_0$. Para limitar el crecimiento de la población y tener en cuenta que un nicho dado sólo puede sostener una población de un tamaño máximo $N_{\max}$, se supone que la rata de crecimiento varía con el tamaño de la población, según la relación

$$R = \varepsilon \frac{N_{\max} - N_n}{N_{\max}}, \quad (7)$$

donde la constante $\varepsilon > 0$ es un parámetro. Las cantidades auxiliares

$$x_n := \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \frac{N_n}{N_{\max}}, \quad r := 1 + \varepsilon, \quad (8)$$

permiten describir el cambio de la población de una generación a otra por medio de la relación (5),

$$x_{n+1} = r x_n (1 - x_n), \quad 0 < r \leq 4. \quad (9)$$

La constante r se denomina parámetro de crecimiento o *parámetro de control*, depende del área disponible y de la fertilidad, y su valor determina la rata de crecimiento de la po-

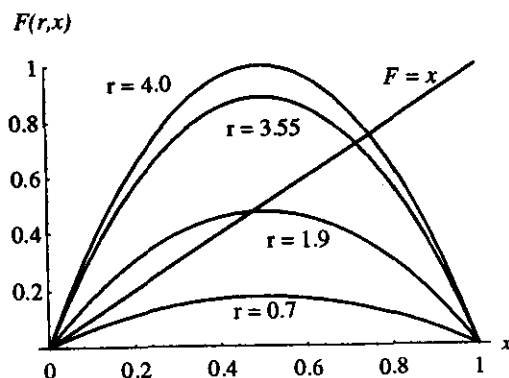


Figura 3. Gráfico de $F(r, x) := rx(1-x)$ para diferentes valores del parámetro de control r . El valor máximo, $F(r, 1/2) := r/4$, se obtiene en $x = 1/2$.

blación. La relación (9) se conoce con el nombre de *aplicación logística* o *cuadrática*.

Dos propiedades de la ecuación logística son relevantes para la dinámica de poblaciones: (i) Si inicialmente la población es cero ($x_0 = 0$), entonces así permanece siempre ($x_n = 0$). (ii) La población crece cuando x_n es pequeña y declina cuando x_n es grande. Esta propiedad es razonable debido a que si la población es pequeña hay suficiente alimento y espacio disponible de tal manera que la población puede crecer sin obstáculo alguno. Sin embargo, cuando la población es suficientemente grande ($x_n \approx 1$), las nuevas generaciones disminuyen por insuficiencia de alimento debido a la sobrepoblación.

Parece ser que, en ciertas épocas de su desarrollo, algunas poblaciones de insectos en zonas templadas se ajustan de manera adecuada al modelo de Verhulst (Gulick 1992). Por otro lado, la validez de la ecuación (9) no está limitada a este modelo. Por ejemplo, en una cuenta de ahorros se hace un depósito inicial N_0 , con una tasa de interés R dada por la ecuación (6). Como el gerente del banco observa que el saldo a favor del cliente crece indefinidamente, según la relación $N_n = (1 + R)^n N_0$, propone modificar la tasa de interés y la fija según la relación (7). El cambio de variables (8) conduce nuevamente a la ecuación (9).

La relación logística tiene "vida matemática" independiente del contexto particular para el cual se aplique y es un

caso especial de aplicaciones unimodales⁷ de carácter más general (r es el parámetro de control),

$$x_{n+1} = F(r, x_n). \quad (10)$$

En lo que sigue revisaremos brevemente sus propiedades. En la figura 3 se representa el comportamiento de la población como función del tiempo discreto n , para diferentes valores del parámetro r . Se denomina *órbita* al conjunto de puntos $\{x_0, x_1, x_2, \dots\}$ generados, para un r fijo, por repetición sucesiva de la aplicación logística.

4. Puntos fijos y su clasificación

El análisis de la dinámica comienza determinando, para cada valor de r , los puntos fijos y su estabilidad. Designamos por $F \circ G(r, x) := F(r, G(r, x))$ la composición de las funciones F y G , y representamos la composición de F consigo misma, k veces, por

$$F^k(r, x) := \underbrace{F \circ F \circ \dots \circ F(r, x)}_{k \text{ veces}}.$$

Un *punto fijo* de F , de período k , es aquel valor de x (digamos, x') que es invariante bajo k repeticiones de la aplicación F , $x' = F^k(r, x')$. El conjunto de k puntos x' que satisfacen esta ecuación se organizan en *ciclos* de período k y de submúltiplos de k .

Con base en el criterio de estabilidad de Lyapunov (Jackson 1989), los puntos fijos se clasifican en estables e inestables. Un punto fijo es *estable* o *inestable*, si al ser perturbado ligeramente la perturbación muere o crece de manera indefectible. Esto es, el punto que describe la órbita regresa al punto fijo o se aleja de él. Los términos *atractivo* y *repulsivo* se usan como sinónimos de estable e inestable, respectivamente.

5. Hechos característicos del modelo logístico

Con relación al comportamiento de la población en el *futuro distante* ($n \gg 1$), la aplicación logística predice que la dinámica aumenta en complejidad a medida que se incre-

⁷ Una aplicación $F(x)$ definida en el intervalo $I = [0, 1]$, $F: I \rightarrow I$, es unimodal si (i) $F(0) = F(1) = 0$, (ii) F tiene un punto crítico c en el intervalo I . La aplicación unimodal crece en el intervalo $[0, c]$ y disminuye en el intervalo $(c, 1]$.

Parámetro de control, r	En el futuro distante ($n \gg 1$) surge un ciclo de período
$r_1 = 3.$	$2^1 = 2$
$r_2 = 1 + \sqrt{6}$ ≈ 3.4494897	$2^2 = 4$
$r_3 = 3.54409 \dots$	$2^3 = 8$
$r_4 = 3.5644 \dots$	$2^4 = 16$
$r_5 = 3.568759 \dots$	$2^5 = 32$
$\dots$	$\dots$
$r_\infty = 3.569946 \dots$	∞
$r > r_\infty$	caos (comportamiento aperiódico), ciclo-3, ventanas de comportamiento periódico, intermitencia.

Tabla 2. Algunos valores del parámetro de control r , donde se producen bifurcaciones y se cambia el número de puntos fijos de 2^{k-1} a 2^k (Strogatz 1994).

menta el valor del parámetro de control r (tabla 2). Entre los hechos relevantes que predice la ecuación logística distinguimos los regímenes descritos a continuación.

5.1. Régimen de comportamiento estable

Si r está en el intervalo $0 < r < 1$, sin importar el valor inicial x_0 ($0 < x_0 \leq 1$), la población disminuye de manera rápida hasta su *extinción* total (figura 4). Esto es, el origen es un punto fijo atractivo. Por el contrario (figura 5), si $1 < r < 3$, la población se estabiliza en el punto fijo atractivo $(1 - 1/r)$, mientras que el origen se transforma en un punto fijo repulsivo (Devaney 1989).

5.2. Régimen de comportamiento periódico

Si $3 < r \leq r_\infty$, donde $r_\infty \approx 3.5699456$, a medida que se incrementa el valor de r , el comportamiento aumenta en complejidad. En primer lugar, al sobrepasar el punto $r = r_1 = 3$ se presenta una *bifurcación*; esto es, una transición de un punto fijo atractivo a un ciclo de período dos. En el futuro distante la población no se estabiliza en un único

valor sino en dos puntos (o valores) que van alternando su ocurrencia de una generación a otra (figura 6).

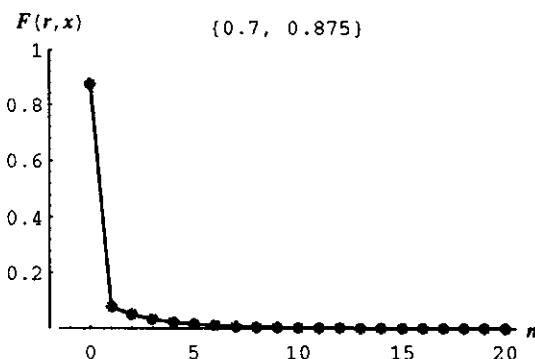


Figura 4. Extinción de la población

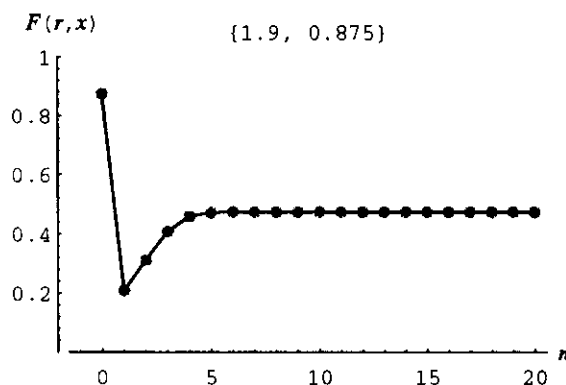


Figura 5. Estabilización de la población.

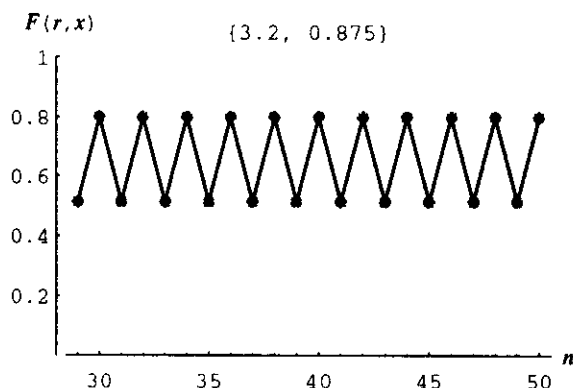


Figura 6. Estabilización en un ciclo de período dos.

Al seguir incrementando r se alcanza un nuevo punto crítico, $r_2 \approx 3.4494897$, en el cual los dos puntos del ciclo se tornan simultáneamente inestables y por medio de una

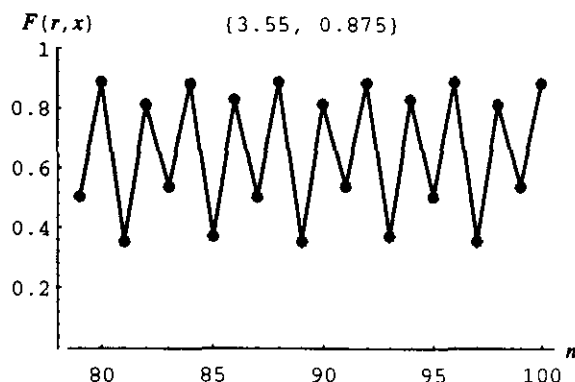


Figura 7. Estabilización en un ciclo límite de período cuatro.

bifurcación se genera un nuevo ciclo límite de período cuatro (figura 7); esto es, la población pasa en el futuro distante por cuatro valores consecutivos, que cambian de generación en generación y que se reconstruyen cada cuatro generaciones (ciclo de período 4).

Al seguir incrementando r , el proceso de bifurcación se repite de manera indefinida, de tal manera que cada vez que se sobrepasa un punto crítico r_k ($k = 1, 2, \dots$) surge un ciclo de período 2^k . Este comportamiento se repite cada vez con más frecuencia hasta llegar a un valor límite, $r_\infty \approx 3.5699446$.

Al estudiar la cascada de bifurcaciones (figura 8), Feigenbaum advierte que las sucesivas duplicaciones co-

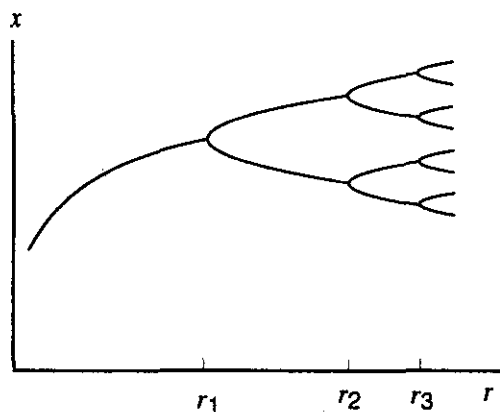


Figura 8. Con el incremento del parámetro de control r (régimen regular) surge una cascada de bifurcaciones y aparecen ciclos.

responden básicamente al mismo fenómeno, salvo cambios de escala, y encuentra dos constantes universales (α y δ) (Jackson 1989):

$$\alpha := 2.502\,907\,875\,095\,892\,848\,5 \dots$$

$$\delta := \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{r_k - r_{k-1}}{r_{k+1} - r_k} = 4.669\,201\,609\,102 \dots$$

Así como la constante π es básica para determinar el área y el volumen de ciertas figuras geométricas, las constantes α y δ son fundamentales para sistemas caóticos.

5.3. Régimen de comportamiento caótico

Si $r_\infty < r \leq 4$, se entra en el *régimen caótico*, en el cual hay una mezcla inesperada de orden y caos, con regiones de r donde el movimiento es *aperiódico* (no hay ciclos de período 2^k) y regiones con ventanas periódicas intercaladas entre zonas aperiódicas (figura 9). En particular, sobresale una gran ventana que comienza alrededor de $r \approx 3.8295$ y que contiene un ciclo límite estable de período tres (figura 10). Por ejemplo, para $r = 3.8339$ el ciclo es $0.152781 \rightarrow 0.496255 \rightarrow 0.958421$. La figura 10 inferior muestra que para $r = 3.7404$ existe un ciclo de período cinco.

Ahora bien el trabajo de Li y Yorke (1975) mostró que si hay un ciclo de período tres, entonces la aplicación tiene ciclos periódicos de todos los órdenes (Devaney 1992). Por ejemplo, para $r = 3.7404$ encontramos un ciclo de período cinco (figura 10), con los valores $0.227292 \rightarrow 0.656928 \rightarrow 0.842987 \rightarrow 0.495078 \rightarrow 0.935009$. Adicionalmente (Ott 1994), Li y Yorke demostraron que la existencia de una órbita de período tres implica la existencia de un conjunto innumerable de órbitas que nunca originan ciclos periódicos y que permanecen indefinidamente con un comportamiento aperiódico (para describir esta situación introdujeron el término *caos*).

La complejidad del comportamiento que presenta la aplicación logística al variar el valor del parámetro de control r se ilustra en un diagrama de bifurcaciones (figura 11). Para obtener este diagrama se seleccionan j puntos en el intervalo $0 < r < 4$ y para cada uno de ellos se dibujan en el eje vertical los k puntos que conforman el atractor. Por ejemplo, si $r < 3$ la población se estabiliza en el futuro distante en un único valor, de tal manera que el atractor se representa por un punto en el eje vertical.

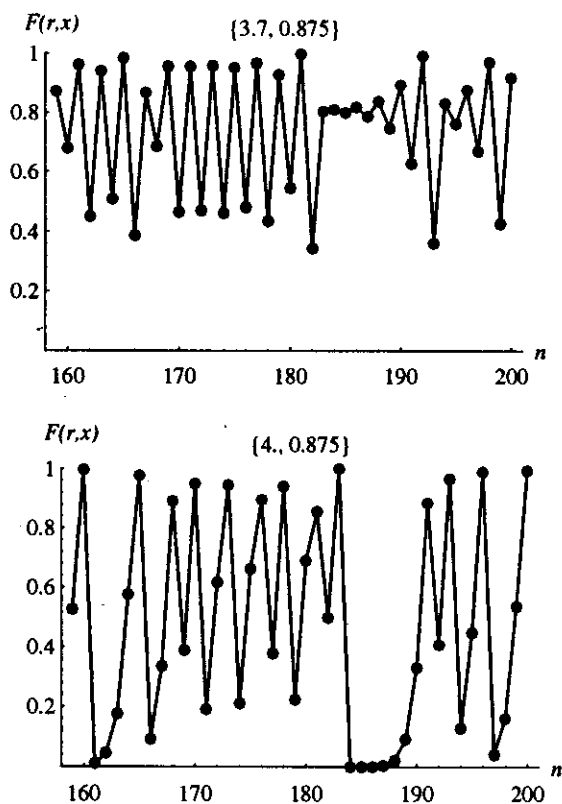


Figura 9. Comportamiento de la población en el distante futuro ($n \gg 1$) para diferentes valores del parámetro de control r en el régimen caótico. Se indican los valores $\{r, x_0\}$.

6. Exponente de Lyapunov

El comportamiento caótico de un sistema se caracteriza por diferentes propiedades (Peitgen et. al. 1992): (a) sensibilidad a las condiciones iniciales, (b) mezcla, (c) existencia de órbitas periódicas. En esta sección discutiremos la primera de ellas; esto es, el hecho de que el futuro distante ($n \gg 1$) se afecta profundamente debido a pequeños cambios en las condiciones iniciales.

Para ilustrar esta situación estudiamos mediante el modelo logístico la ecología de una población de leones y ga-

celas que viven en una pradera determinada (Shinbrot 1995). Designamos por x_n la fracción de leones en la n -ésima generación. Si inicialmente tenemos 10 leones y 9990 gacelas entonces $x_0 = 0.001$. Ahora bien, si en lugar de diez sólo tuviéramos nueve leones entonces $x_0 = 0.0009009$. La figura 12 compara la evolución del sistema para estas dos condiciones iniciales, asignando además al parámetro de control el valor $r = 3.9$. La pequeña diferencia del 1% en la condición inicial se amplifica sucesivamente de generación en generación y alcanza en la novena o décima generación una diferencia del orden del 100%. Lo mismo ocurre para generaciones más distantes como las comprendidas entre 20 y 30.

En conclusión, en sistemas caóticos el futuro distante es impredecible pues una pequeña imprecisión en la condición inicial afecta radicalmente el comportamiento del sistema.

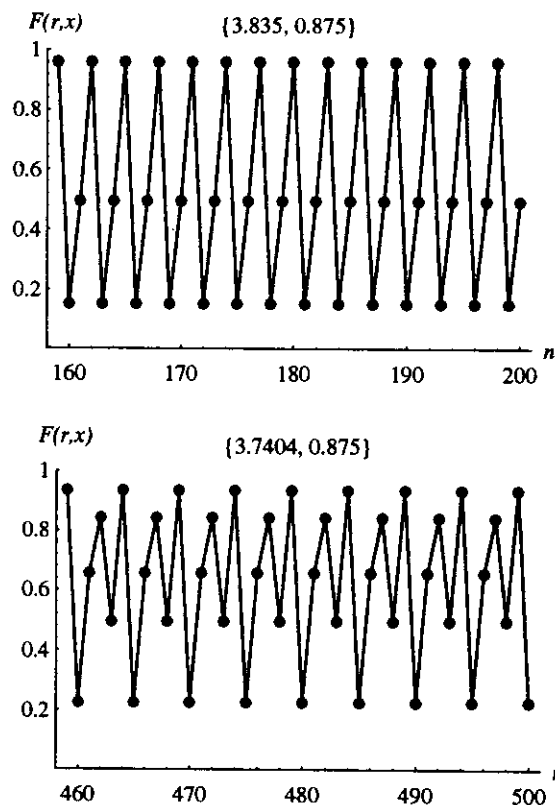


Figura 10. Ciclos de período tres y cinco correspondientes de manera respectiva a $r = 3.8339$ y $r = 3.7404$. Estos valores de r están inmersos en la región caótica.

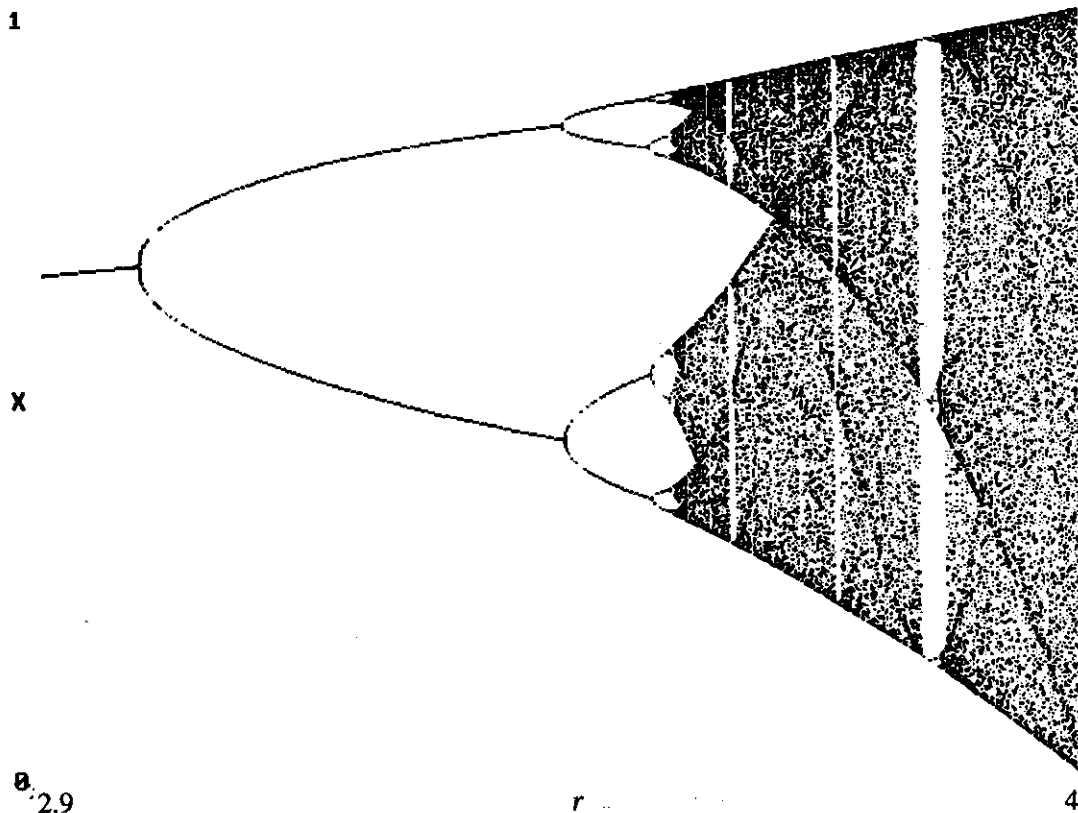


Figura 11. Diagrama de bifurcaciones para la aplicación logística.

El *exponente de Lyapunov* $\lambda(r, x_0)$, asociado con la aplicación $x_{n+1} = F(r, x_n)$ y con la condición inicial x_0 , es una cantidad que mide de manera cuantitativa el grado

de separación exponencial que alcanzan en el futuro distante ($n \gg 1$) dos puntos que eran inicialmente vecinos (figura 13). Sean x_0 y $x_0 + \epsilon$ dos puntos iniciales (generación $n = 0$), los cuales después de N generaciones se

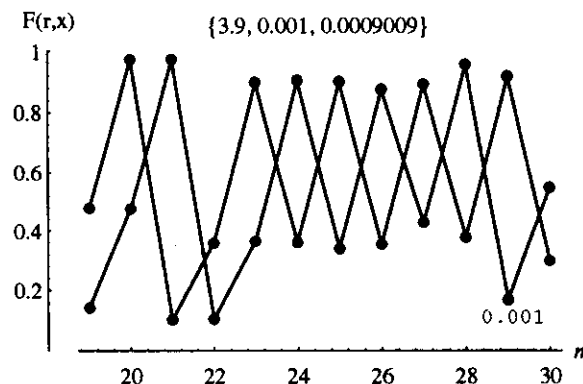
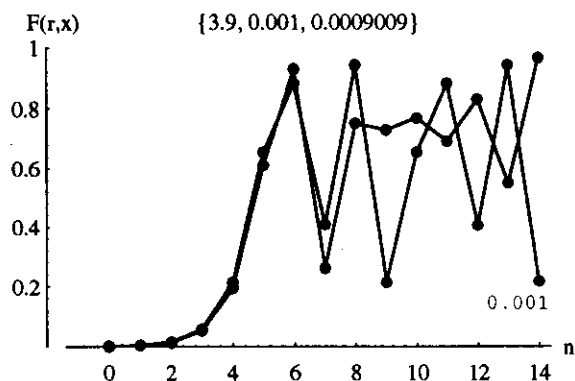


Figura 12. Una pequeña diferencia en las condiciones iniciales se amplifica de manera rápida. Cálculos con $r = 3.9$ para dos condiciones iniciales diferentes (0.001 y 0.0009009) y diferentes generaciones.

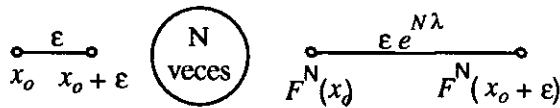


Figura 13. Definición del exponente de Lyapunov.

transforman en los puntos $F^N(x_0)$ y $F^N(x_0 + \epsilon)$, respectivamente. Los puntos que originalmente estaban separados por una distancia ϵ alcanzan después de N generaciones una separación

$$\epsilon \exp(N \lambda(r, x_0)) = |F^N(r, x_0 + \epsilon) - F^N(r, x_0)|.$$

Para puntos inicialmente cercanos de manera infinitesimal ($\epsilon \rightarrow 0$) y para un futuro infinitamente distante ($N \rightarrow \infty$), el exponente de Lyapunov $\lambda(r, x_0)$ se obtiene por la relación (Gulick 1992)

$$\begin{aligned} \lambda(r, x_0) &= \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \ln \left| \frac{F^N(r, x_0 + \epsilon) - F^N(r, x_0)}{\epsilon} \right| \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \ln \left| \frac{\partial F(r, x)}{\partial x} \right|_{x_n} \end{aligned} \quad (11)$$

Si al ser promediada sobre toda la órbita $\{x_0, x_1, x_2, \dots\}$, la pendiente $\partial F(r, x)/\partial x$ tiene una magnitud mayor que la unidad entonces $\lambda(r, x_0)$ será positivo y la órbita será caótica, por definición. Si $\lambda(r, x_0) < 0$, existirá un ciclo límite estable (atractivo) y una vez eliminado el transiente la órbita será periódica. Los valores de r para los cuales $\lambda(r, x_0) = 0$ corresponden a puntos de bifurcación, donde el comportamiento cambia radicalmente. Para la aplicación logística se sabe que $\lambda(r, x_0)$ es independiente de la condición inicial x_0 , excepto para un conjunto de medida cero (Lichtenberg y Lieberman 1992), de tal manera que podemos escribir $\lambda(r) = \lambda(r, x_0)$.

Para determinar en este trabajo el exponente de Lyapunov seguimos el procedimiento de Eckmann y Ruelle (Eckmann y Ruelle 1985) y empleamos el algoritmo de Sandri (Sandri 1996). La figura 14 muestra la convergencia del cálculo del exponente de Lyapunov para varios valores del parámetros de control, $r = 3.55$, $r = 3.7$, $r = 4.0$. Dependiendo del valor de este parámetro, la aplicación lo-

gística presenta diferentes tipos de comportamiento: regular o caótico.

El comportamiento del sistema es *regular* cuando un cambio pequeño en la condición inicial genera un cambio pequeño en el futuro distante, la órbita converge a una órbita periódica estable y el exponente de Lyapunov es menor o igual a cero ($\lambda \leq 0$). El *comportamiento caótico* se presenta cuando el sistema muestra alta sensibilidad a pequeños cambios en las condiciones iniciales, de tal manera que en el futuro distante la órbita tiene un comportamiento aperiódico y el exponente de Lyapunov es positivo ($\lambda > 0$), indicando así una divergencia exponencial de trayectorias originalmente vecinas.

En la figura 15 se esquematiza el comportamiento del exponente de Lyapunov como función del parámetro de control r . Se observa que el exponente de Lyapunov puede ser negativo, positivo o cero, según el valor de r . Si elegimos un valor de r en la región caótica $r_\infty < r < 4$, existe una probabilidad finita de que a este valor le corresponda un exponente de Lyapunov positivo. Pero este valor de r está rodeado a su vez por otros valores de r para los cuales el exponente de Lyapunov es negativo, de tal manera que la órbita después de 100 millones o más iteraciones alcanza un único atractor (por ejemplo, un ciclo de período 1137). Estos atractores cambian con cambios infinitesimales en el parámetro de control r , generando un rápido proceso de bifurcación. El conjunto de valores de r para los cuales el comportamiento es caótico forma un conjunto de Cantor de medida positiva (Holton y May 1995b; Jakobson 1981).

7. Ergodicidad y mecánica estadística

Un exponente positivo de Lyapunov ($\lambda > 0$) es condición necesaria pero no es requisito suficiente para que se presente caos. Dos trayectorias inicialmente vecinas podrían separarse y nunca volverse a aproximar. Se requiere además la propiedad de mezclamiento, esto es, mientras que las trayectorias se separan localmente ($\lambda > 0$), al estar confinadas a una región finita ($0 \leq x \leq 1$), se ven obligadas a doblarse y aproximarse una a otra de manera arbitrariamente cercana, un número indefinido de veces.

Dado un valor de r , dividimos el intervalo $I := [0, 1]$ en un número grande de M celdas iguales y seleccionamos un punto al azar, el cual cae en la celda inicial i . El punto inicial lo designamos por x_0 y por uso continuado de la aplicación logística se genera una órbita, $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_N\}$. Si al valor de r le corresponde un exponente positivo de

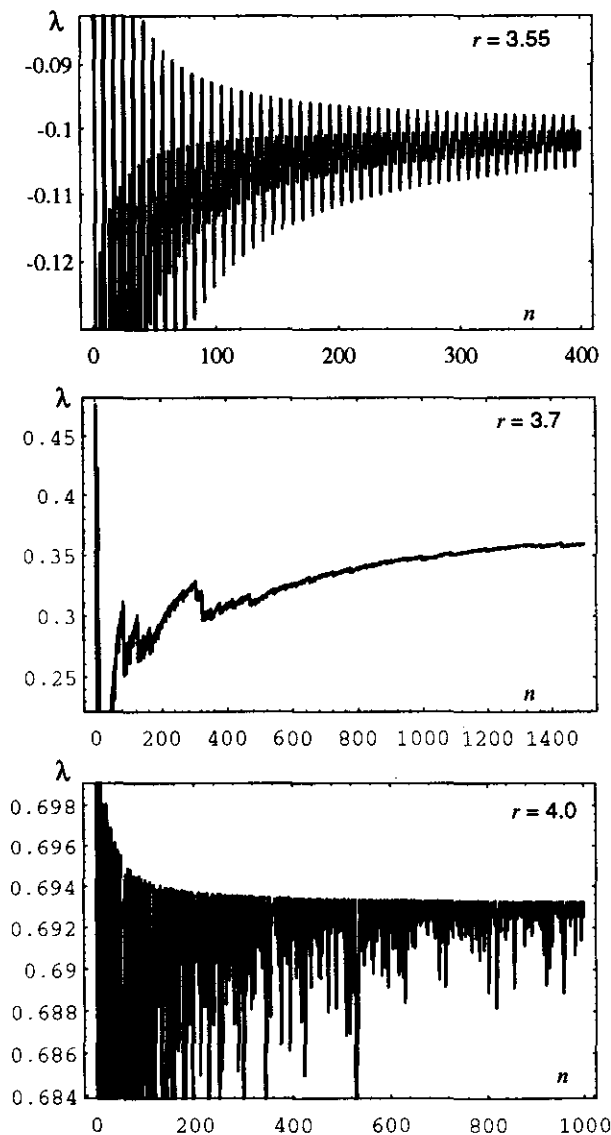


Figura 14. Convergencia del exponente de Lyapunov λ para varios valores del parámetro de control r , fijando la condición inicial como $x_0 = 0.1$.

Lyapunov (condición para comportamiento caótico), la órbita visitará una gran cantidad de las M celdas en que se ha subdividido el intervalo I (figuras 16). Se dice que, en el régimen caótico, el modelo logístico tiene la propiedad de *mezclamiento* (Peitgen et al. 1992).

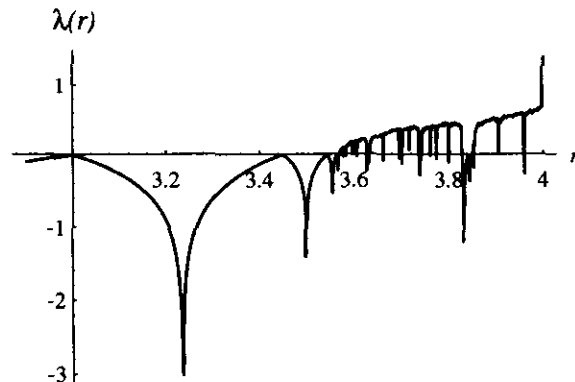


Figura 15. Exponente de Lyapunov $\lambda(r)$ como función del parámetro de control r . El intervalo $2.9 \leq r \leq 4$ se dividió en 1000 subintervalos y para cada valor de r se realizaron 1000 iteraciones. $\lambda(r)$ se anula en los puntos de bifurcación.

Dependiendo del valor del parámetro r , la órbita visitará el subintervalo caracterizado por la posición x con una frecuencia que describimos por medio de una función densidad de probabilidad⁸

$$\rho(r, x) := \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=0}^N \delta(x - F^k(r, x_0)), \quad (12)$$

donde el símbolo $\delta(x)$ es la delta de Dirac. Si $\rho(r, x)$ no depende de la condición inicial x_0 , decimos que el sistema es *ergódico*. La ergodicidad conduce a la *relación entre mecánica estadística y caos* (Csordás et al. 1993) ya que implica que el promedio temporal de una función arbitraria $A(x)$ se puede representar por un valor promedio sobre el intervalo I ,

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N A(x_n) = \int_I \rho(r, x) A(x) dx. \quad (13)$$

Esta igualdad se cumple para trayectorias típicas, esto es, puede existir un conjunto de medida cero de trayectorias para las cuales la condición no es válida (Zaslavsky 1987). Nótese que $\rho(r, x)$ tiene que ser estacionaria, pues la

⁸ Para cualquier función diferenciable $p(y)$ con un conjunto de ceros simples, designados como $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$, se cumple (Wolf 1979)

$$\delta(p(y)) = \sum_{v=1}^N |p'(y_v)|^{-1} \delta(y - y_v).$$

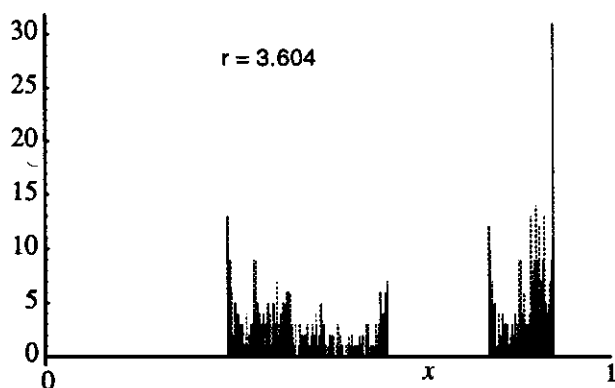


Figura 16. El intervalo $0 < x \leq 1$ se divide en 1000 subintervalos y para $r = 3.604$ se genera una órbita con 1000 iteraciones. En el eje vertical se muestra la frecuencia con la cual se visitan los subintervalos. igualdad anterior sólo tiene sentido si $\rho(r, x)$ es independiente del tiempo.

Cuando el sistema es ergódico, el punto representativo que genera la trayectoria pasa arbitrariamente cercano a cualquier otro punto del intervalo I , de tal manera que la órbita cubre densamente el intervalo unidad. Obsérvese que valores de r para los cuales el exponente de Lyapunov es negativo (comportamiento regular, movimiento periódico) no conduce a órbitas ergódicas, pues el atractor es un ciclo y la órbita sólo visita un número finito de puntos. En estos casos la densidad de probabilidad $\rho(r, x)$ está conformada por la contribución de una o más deltas de Dirac.

La relación anterior se cumple también para una función compuesta $A(F(r, x))$, así que

$$\int_I A(y) \rho(r, y) dy = \int_I A(F(r, y)) \rho(r, y) dy. \quad (14)$$

Por lo tanto, con la elección particular $A(y) = \delta(x - y)$ se obtiene que $\rho(r, x)$ satisface una ecuación integral, conocida como *ecuación de Frobenius-Perron*,

$$\rho(r, x) = \int_I \delta(x - F(r, y)) \rho(r, y) dy. \quad (15)$$

Por ejemplo, si $r = 4$, la solución de esta ecuación es la función

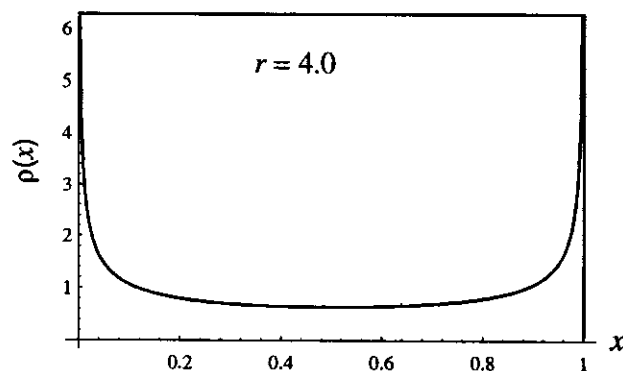


Figura 17. Densidad de probabilidad $\rho(4, x)$.

$$\rho(4, x) = \frac{1}{\pi \sqrt{x(1-x)}}, \quad (16)$$

cuyo comportamiento se muestra en la figura 17. Se observa una marcada tendencia de la trayectoria a visitar de manera preponderante los extremos del intervalo I . Al cambiar el valor de r se modifica la densidad de probabilidad. Por ejemplo (figura 18), el comportamiento de la función $\rho(3.6, x)$ muestra unos valores de x que son visitados de manera intensa por la trayectoria mientras que otros valores de x nunca son visitados o lo son con muy baja frecuencia.

La expresión (11) para el exponente de Lyapunov se puede expresar, con ayuda de la densidad de probabilidad $\rho(r, x)$, en la forma

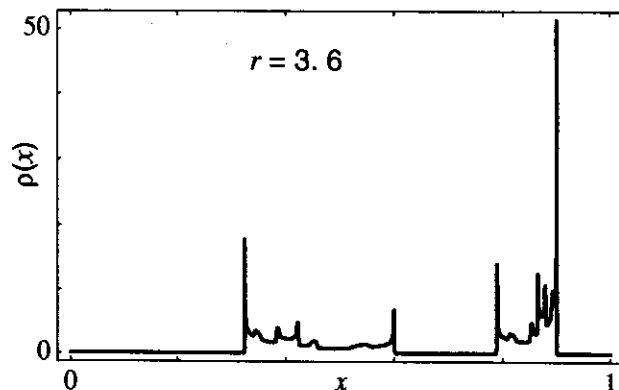


Figura 18. Densidad de probabilidad $\rho(3.6, x)$ calculada por Binder y Campos (1996). Cortesía de los autores.

$$\lambda(r, x_0) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \ln \left| \frac{\partial F(r, x)}{\partial x} \right|_{x_n},$$

de tal manera que por aplicación de (13) se obtiene

$$\lambda(r, x_0) = \int_I \rho(r, x) \ln \left| \frac{\partial F(r, x)}{\partial x} \right| dx. \quad (17)$$

Este resultado muestra que existe una íntima conexión entre la estructura de la densidad de probabilidad $\rho(r, x)$ y el exponente de Lyapunov, $\lambda(r, x_0)$. Si este último es positivo, el sistema presenta un comportamiento caótico. Si es negativo, el comportamiento es regular. Si es cero, se tiene un punto de bifurcación en donde la naturaleza del movimiento cambia de manera significativa, de un tipo de comportamiento a otro.

8. Conclusiones y consideraciones finales

La aplicación logística es un modelo unidimensional que describe mediante una ecuación cuadrática la evolución de un sistema idealizado en tiempo discreto. Su origen se hizo plausible con base en un modelo de dinámica de poblaciones.

La aplicación logística constituye un paradigma de lo que es el comportamiento caótico de un sistema. Muestra la imposibilidad de predecir el futuro remoto, ya que, como consecuencia de la alta sensibilidad del sistema a pequeños cambios en las condiciones iniciales, las trayectorias divergen de manera exponencial. En consecuencia, la afirmación de Laplace¹ no tiene validez dentro del contexto de las ciencias naturales pues en todo proceso de medición de una variable (física, biológica, etc.) intervienen de manera forzosa imprecisiones en los datos de medida.

La aplicación logística es un modelo determinista, esto es, en principio, a partir del conocimiento del estado presente se puede determinar el futuro. Sin embargo, el conocimiento impreciso de las condiciones iniciales conlleva la imposibilidad de predecir el futuro distante. Esto comportamiento es consecuencia de la naturaleza no lineal de la ecuación que describe la evolución temporal.

La no linealidad de los sistemas es lo general en el mundo real, en el campo de las ciencias naturales. Por lo tanto, bajo condiciones adecuadas de los parámetros de control y de las condiciones iniciales, en toda área del conocimiento donde intervengan modelos no lineales, tanto en

tiempo discreto como en tiempo continuo, existirán circunstancias bajo las cuales el sistema presenta tanto movimiento regular como caótico.

El modelo logístico sirve para ilustrar que la controversia Poincaré-Boltzmann perdió vigencia ya que la hipótesis ergódica encuentra su justificación debido a la propiedad de mezclamiento del sistema bajo régimen caótico. En sistemas más generales, el comportamiento caótico es fundamental para clarificar los fundamentos de la mecánica estadística. Originalmente se creía que existía una contradicción aparente entre determinismo (leyes de la mecánica) y la introducción del azar en las leyes de la física (mecánica estadística). Lo que la teoría del caos muestra es que los sistemas naturales descritos por leyes de evolución deterministas, no lineales, presentan sensibilidad a las condiciones iniciales y mezclamiento (caos). La imprecisión en las condiciones iniciales genera en el régimen caótico una compleja dinámica que requiere un tratamiento estadístico. La sensibilidad del sistema a pequeños cambios en las condiciones iniciales genera un comportamiento irregular con apariencia de aleatorio pero que está producido por un mecanismo determinista. De esta manera, el azar y el determinismo son compatibles debido a la impredecibilidad del futuro distante.

Es sorprendente el largo lapso transcurrido entre las ideas originales de Poincaré³ y el desarrollo moderno de la teoría del caos. En parte la explicación se encuentra en el hecho de que los computadores sólo aparecieron hacia fines de la década de 1950. Esta herramienta es fundamental para el estudio de sistemas caóticos debido a la complejidad de los cálculos y a la imposibilidad de un tratamiento analítico.

El caos interviene en diversidad de fenómenos: microestructuras de semiconductores (Lin y Delos 1993; Marcus et al. 1993), átomos en campos magnéticos muy intensos (Delande 1991; Gay 1992), reacciones químicas con un comportamiento temporal oscilatorio, como la reacción de Belousov-Zhabotinsky (Strogatz 1994). El estudio y comprensión del comportamiento de sistemas caóticos contribuirá al desarrollo tecnológico y a la modificación de nuestro sistema de pensamiento. Dentro de este contexto, es pertinente la afirmación de May (1976) quien quedó impresionado con los complejos resultados de la aplicación logística y expresó: "No sólo en investigación, sino también en el mundo cotidiano de la política y de la economía, todo estaría mejor si mucha gente se diera cuenta que sistemas simples no necesariamente poseen propiedades dinámicas simples".

9. Bibliografía

- Binder, P. M. & D. H. Campos.** 1996. Direct calculation of invariant measures for chaotic maps. *Phys. Rev. E* **53** (5): R4259.
- Csordás, A., G. Györgyi, & P. Szépfauusy.** 1993. Statistical properties of chaos demonstrated in a class of one-dimensional maps. *Chaos* **3** (1): 31-49.
- Delande, D.** 1991. Chaos in Atomic and Molecular Physics en **Giannoni M.J., A. Voros, & J. Zinn-Justin** (ed.) *Chaos and Quantum Physics*. North-Holland. Amsterdam.
- Devaney, R. L.** 1989. *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Devaney, R. L.** 1992. *A First Course in Chaotic Dynamical Systems: Theory and Experiment*. Reading: Addison-Wesley.
- Eckmann, J. P. & D. Ruelle.** 1985. Ergodic theory of chaos and strange attractors. *Rev. Mod. Phys.* **57** (3): 617-656.
- Feigenbaum, M. J.** 1985. Universal Behavior in Nonlinear Systems en **Campbell D. & H. Rose** (ed.) *Order in Chaos*. North-Holland. Amsterdam. 16-39.
- Février, P.** 1957. *Determinismo e Indeterminismo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gay, J. C., ed.** 1992. *Irregular Atomic Systems and Quantum Chaos*. Philadelphia, Reading: Gordon and Breach.
- Gulick, D.** 1992. *Encounters with chaos*. New York: McGraw Hill.
- Holton, D. & R. M. May.** 1995a. Chaos and one-dimensional maps en **Mullin T.** (ed.) *The Nature of Chaos*. Clarendon Press. Oxford. 95-119.
- Holton, D. & R. M. May.** 1995b. Models of chaos from natural selection en **Mullin T.** (ed.) *The Nature of Chaos*. Clarendon Press. Oxford. 120-148.
- Hoppensteadt, F. C.** 1993. *Analysis and Simulation of Chaotic Systems*. New York: Springer Verlag.
- Jackson, E. A.** 1989. *Perspectives of nonlinear dynamics*. 1. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jakobson, M.** 1981. Absolutely continuous invariant measures for one-parameter families of one-dimensional maps. *Commun. Math. Phys.* **81**: 39.
- Klimontovich, Y. L.** 1991. *Turbulent Motion and the Structure of Chaos: A New Approach to the Statistical Theory of Open Systems*. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Lazukin, V. F.** 1991. *KAM Theory and Semiclassical Approximations to Eigenfunctions*. Berlin: Springer.
- Li, T. Y. & J. Yorke.** 1975. Period Three Implies Chaos. *American Mathematical Monthly* **82**: 985-992.
- Lichtenberg, A. J. & M. A. Lieberman.** 1992. *Regular and Chaotic Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag.
- Lin, W. A. & J. B. Delos.** 1993. Order and chaos in semiconductor microstructures. *Chaos* **3** (4): 1993.
- Marcus, C. M., R. M. Westervelt, P. F. Hopkins, & A. C. Gossard.** 1993. Conductance fluctuations and quantum chaotic scattering in semiconductor microstructures. *Chaos* **3** (4): 643.
- May, R. M.** 1976. Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature London* **261**: 459.
- Odum, E. P.** 1972. *Ecología*. México: Nueva Editorial Interamericana.
- Olinck, M.** 1978. *An Introduction to Mathematical Models in the Social and Life Sciences*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Ott, E.** 1994. *Chaos in Dynamical Systems*. New York: Cambridge University Press.
- Patterson, D. A. & J. L. Hennessy.** 1995. *Organización y diseño de computadores*. Madrid: McGraw-Hill.
- Peitgen, H.-O., H. Jürgens, & D. Saupe.** 1992. *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. Berlin: Springer Verlag.

- Peitgen, H. O. & P. H. Richter.** 1986. *The Beauty of Fractals: Images of Complex Dynamical Systems*. Berlin: Springer.
- Real Academia Española.** 1992. *Diccionario de la Lengua Española*.
- Sandri, M.** 1996. Numerical Calculation of Lyapunov Exponents. *The Mathematical Journal* 6 (3): 78-84.
- Shinbrot, T.** 1995. Progress in the control of chaos. *Adv. in Phys.* 44 (2): 73-111.
- Stewart, I.** 1992. *Does God Play Dice?* Cambridge MA: Blackwell.
- Strogatz, S.** 1994. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Reading: Addison-Wesley.
- Wolf, K. B.** 1979. *Integral Transforms in Science and Engineering*. New York: Plenum.
- Zaslavsky, G. M.** 1987. *Chaos in Dynamical Systems*. London: Harwood Academic Publishers.

RECORDACION DEL PINTOR SALVADOR RIZO 180 AÑOS DESPUES DE SU SACRIFICIO

por

Luis Carlos Mantilla R., O.F.M.¹

Resumen

Mantilla, L.C.: Recordación del pintor Salvador Rizo 180 años después de su sacrificio. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **20**(78): 519-525. 1996. ISSN 0370-3908.

Salvador Rizo, mayordomo, director de la Escuela de Dibujo y uno de los principales pintores de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783 - 1816) entregó su vida por la Patria y en defensa de sus ideales el 12 de octubre de 1816. En su recuerdo se reproducen varios documentos en los que se destacan algunos de sus méritos como integrante de la citada Expedición.

Palabras claves : Expedición Botánica, Colombia, Rizo.

Abstract

Salvador Rizo, administrator, director of the School of Drawing and one of the principal painters of the Royal Botanical Expedition of the New Kingdom of Granada (1783 - 1816), gave his life for his country and in defense of his ideals on october 12, 1816. In his memory, various documents are presented wich highlight some of his merits as a member of the Expedition.

Key words : Colombia, New Granada Botanical Expedition, Rizo.

De este personaje que tantos y tan calificados servicios prestó a la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783 - 1816) en su condición de ecónomo y de primer pintor sabemos bien poco y en todo caso mucho menos de lo que amerita su hoja de vida , a tal punto que aun no se conoce con certeza el año ni el lugar de su nacimiento, pues mientras que para algunos era natural de Santafé, otros lo hacen nativo de Mompo, con ascendientes de raza negra.

Las referencias más conocidas sobre los méritos de Salvador Rizo las debemos a don José Celestino Mutis, quien por sus cualidades morales lo mantuvo a su lado como al hombre de toda su confianza y en su arte del dibujo y en el colorido lo consideró como el mejor . En una de sus ultimas cartas al Virrey Amar, cuando Mutis sentía cercanos los pasos de la muerte, le expresa su voluntad de ayudar a Rizo pidiendo para el una remuneración por que *"ha trabajado a mi mano por espacio de veinte y cuatro años en calidad de primer pintor y mayordomo de la Expedición"* (Archivo Epistolar, ed. G. Hernández de Alba 1947,t.I,p.275). Rizo por su parte acompañó al sa-

¹ Miembro de Número de la Academia Colombiana de Historia.

bio en el postrer momento. Como testimonio fehaciente de tan estrecha amistad entre ambos personajes, Rizo nos dejó un retrato alegórico del sabio, pleno de su admiración, en cuyo pedestal se enreda la *Mutisia clematis* florecida, siendo una fortuna que hoy se conserve este cuadro en tan buen estado en la Casa Museo del 20 de julio en Bogotá, perpetuándose de este modo el arte del pintor y el recuerdo del sabio naturalista.

Como testimonio de gratitud a este personaje tan significativo entre los pintores de la Expedición Botánica, al conmemorarse en el presente año los 180 de su sacrificio, y sin otra pretensión que la de aportar de su propia mano una página a su merecida biografía, damos a conocer la representación que el pintor elevó ante el Virrey don Antonio Amar y Borbón en octubre de 1803 para solicitarle aumento de sueldo con qué sostener a su crecida familia y con miras a preparar un alivio para su vejez. Aunque no sabemos si obtuvo la merced que solicitó, de haber sido efectiva es cierto que no la pudo disfrutar como deseaba pues las balas del pacificador Morillo cegaron su preciosa vida el 12 de octubre de 1816 en el improvisado cadalso de la plazuela de San Francisco de Bogotá, cuando se presume que tenía 55 años de edad.

La copia de la referida representación, objeto de esta publicación, se halla en el Archivo General de Indias de Sevilla (Santa Fe 628) dentro del expediente de 10 folios que contiene tres documentos, a saber:

- 1) la carta de presentación que hace el Virrey Amar y Borbón al Consejo de Indias de dicha solicitud;
- 2) la solicitud de don Salvador Rizo y
- 3) el parecer de don José Celestino Mutis respaldando lo solicitado por el peticionario.

La carta del Virrey Amar y Borbón al Consejo de Indias dice :

"Excelentísimo señor. La adjunta copia comprehende la instancia hecha por don Salvador Rizo, Mayordomo y principal dibujante de la Real Expedición Botánica de este Reino en solicitud de que se de cuenta a Su Majestad del dilatado mérito y cabal desempeño que ha manifestado en el destino que ocupa para que se digne su real piedad expedirle confirmación y aumentarle hasta mil pesos el sueldo de seiscientos que disfruta anualmente, y la paso a las superiores manos de V.E. a fin de que se sirva darle el curso que corresponda.

En el informe que abraza también la expresada copia, pedido al director de la Expedición doctor don Joseph

Celestino Mutis, apoya este jefe la pretensión del dependiente Rizo considerándolo por sus recomendables prendas de destreza, constate aplicación y arreglado manejo, digno de las gracias a que aspira, y careciendo yo de los conocimientos que debo suponer en el mencionado director en cuanto a las circunstancias expresadas, solo puedo manifestar a V.E. que no encuentro reparo en que se defiera al autorizado parecer que ha producido en dicho informe, concediéndose a Rizo la confirmación y aumento de sueldo que solicita respecto a que se le puede satisfacer este del fondo destinado al ramo de pintores de la Expedición sin nuevo gravámen del erario. No obstante S.M. resolverá lo que sea de su mayor agrado. Nuestro Señor guarde a V.E. muchos años. Santafé 19 de noviembre de 1803. Excmo. Sor. Antonio Amar.

Excmo. Señor don Joseph Antonio Caballero.

Viene a continuación la solicitud de Rizo:

"Excelentísimo señor. Don Salvador Rizo, primer dibujante de la Real Expedición Botánica de este Reino, y encargado del manejo de gastos que se impenden en su objeto, ante V.E. con el más profundo respeto parezco y digo: que va a cumplirse ya el dilatado espacio de veinte años que sirvo en dicha Expedición con la honradez, juicio, fidelidad y conducta que son constantes al señor Director de ella doctor don Joseph Celestino Mutis, y a todo el público. Desde el año de 1784 en que el Excelentísimo Señor Virrey don Antonio Caballero y Góngora tuvo a bien imaginar que nombrarme en aquellos empleos he procurado desempeñarlos con el celo y ardor que exige la naturaleza de un asunto en que tanto se interesa el servicio del Soberano y el honor de toda la nación. En tan larga serie de años he trabajado constantemente no solo en el dibujo y colorido de las Láminas de esta Flora que se me han encomendado, sino también dando toda la perfección posible a las que se ponen al cuidado de los demás oficiales. El dibujo, pues, este arte precioso tan necesario a las ciencias demostrativas y a las artes utiles ha sido uno de los ramos de mi diaria y continua ocupación, ya ejerciéndolo yo mismo, ya perfeccionándolo en los oficiales que vinieron de Quito, y ya comunicando los principios que poseo de él a los jóvenes, cuya enseñanza se me ha confiado, habiéndose a este fin establecido una escuela, cuyos buenos efectos conoce el público y ha sentido ya la misma Expedición.

Pero el mérito y servicios que voy a representar a Vuestra Excelencia no consisten solamente en los que acabo de referir. Puedo asegurar a Vuestra Excelencia con la sencilla franqueza que inspiran la verdad, la percepción y distribución de las rentas destinadas en su objeto, el go-

bierno económico y gastos diarios que están a mi cuidado : encargos, viajes y excursiones botánicas, todo pasa por mis manos y de todo he formado cuentas prolijas y escrupulosas que he presentado al señor Director y han merecido siempre su aprobación. Mientras se mantuvo en la ciudad de Mariquita la Expedición en su transporte considerable a esta capital y en el arreglo de la Casa para el servicio de los empleados en ella trabajé con la actividad, amor y desinterés que me anima cuando se trata de contribuir a su honor y a su adelantamiento. Es verdad que el Señor Director de ella es el alma que anima y vivifica a este cuerpo, el cual sin su dirección se alteraría y desconcertaría, y sin su presencia llegaría a su ruina, pero también lo es que se frustrarían sus ordenes y disposiciones, no se realizarían sus buenas ideas, si no tuviera un hombre que con su ejemplo y con su celo las cumpliera y las hiciese cumplir a los demás.

Este es, Señor Excelentísimo, mi mérito y mis servicios que tengo la satisfacción de representar hoy a Vuestra Excelencia, es decir, a un Jefe virtuoso e ilustrado que sabrá considerarlos y darles el valor que se merezcan servicios hechos al Soberano y a la patria, cuya recompensa no reclamaría yo, si no fuera impelido de los deberes sagrados que me imponen la religión y la misma naturaleza.

En efecto, señor, después de un trabajo diario e ímprobo como el que he tenido en veinte años, después de haber pasado mi juventud, es decir, los días mejores de mi vida, en el servicio de esta Real Expedición, no tengo otro fondo para mi sustentación ni otro recurso para mantener mi familia numerosa sino seiscientos pesos que se me han asignado anualmente. Este sueldo es muy corto y no tiene proporción alguna con mi trabajo, y lo que es más me hallo en peligro de perderlo por falta de la aprobación real de mi empleo. No sería justo, señor, que después de haber servido en mi juventud llegase a la vejez sin tener auxilio alguno, ni arbitrios para mantener una familia crecida que espera de mis manos la subsistencia. Nuestro piadoso soberano jamás ha mirado con indiferencia la desgracia de sus vasallos y siempre ha premiado al que le ha servido con celo, amor y desinterés.

En esta virtud se ha de servir V.E. como reverentemente lo suplico elevar esta mi representación hasta el Real trono acompañándola al mismo del informe que la bondad y rectitud de V.E. tuviere a bien concederme para que con tan firme apoyo y en vista de mis servicios se digne Su Majestad aumentar cuatrocientos pesos a los seiscientos que actualmente gozo. De este modo aseguraré mi subsistencia y la de mis hijos y podré lisongearme en mi vejez de haber empleado los más bellos días de mi

vida en servicio de los mejor de los reyes. A V.E. pido se sirva concederme la gracia que solicito. Salvador Rizo”.

Aunque la recomendación de don José Celestino Mutis en favor de la petición anterior, en obediencia al decreto del Virrey del 22 de octubre de 1803 - “Informe el Director de la Expedición Botánica”- fue publicada por don Guillermo Hernández de Alba en el *Epistolario* de Mutis (edición de 1968, t.II, p.206-208), con base en el original que se conserva en el Archivo General de la Nación, Bogotá, por parecernos que quedaría trunco el conocimiento del asunto que la originó, si no la publicáramos aquí, pero sobre todo porque ella retrata la enorme estima que profesaba Mutis por el pintor, la reproducimos nuevamente, pero con base en la referida copia del Archivo de Indias, que desde luego coincide con el original :

“Excmo.señor: la representación que hace a V.E. don Salvador Rizo exponiendo en ella sus dilatados servicios en el destino de la Real Expedición Botánica desde su establecimiento se dirige a obtener la real aprobación del nombramiento que yo hice en su persona para el empleo de primer dibujante pintor con la dotación de quinientos pesos anuales que regulé por entonces proporcionada a las unicas tareas de su profesión hasta reconocer su aplicación, su perseverancia en el real servicio y el desempeño de otras obligaciones que pensaba yo fiar a su cuidado y manejo según me lo prometían los favorables informes que precedieron a esta elección. Bajo esta contrata lo llevé a la ciudad de Mariquita, donde fijé la oficina de pintores, el centro de mis excursiones botánicas y el curso de otras comisiones del Real servicio fiadas a mi cuidado por el Excelentísimo señor Arzobispo Virrey.

Desde luego descubrí en don Salvador Rizo el talento en el dibujo y colorido superior al de sus compañeros, haciéndose cada día más sobresaliente en este destino y manifestando al mismo tiempo sus prendas geniales en el gobierno económico de los dependientes y el manejo de caudales relativos a todas las comisiones. Con este conocimiento determiné aumentarle por vía de gratificación otros cien pesos sobre los quinientos de la primera contrata, ampliándola hasta el día de su entrada al servicio y con la especialidad de sueldo fijo a distinción de los demás oficiales que trabajan devengando solamente sus jornales.

Sobre este pie se iban desempeñando las operaciones de la Expedición y el curso de las comisiones agregadas, agravándose sucesivamente no menos las atenciones de mi dirección que las tareas de Rizo, en quien forzosamente debían recaer los cuidados de enseñar a los pintores no acostumbrados al peculiar y sobresaliente estilo del colorado con que se trabajan las estampas de la Flora, como

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

aprendo, yo mismo me sorprende y tolera
que el tiempo pase tan rápidamente, que se
olvida.

[illegible]

rables resultas de su enseñanza por la moderación de jornales que devengan ahora sus discípulos respecto de los primitivos, jamás me haya insinuado los deseos de aumento de sueldo por su debida recompensa. En efecto, constándole tan de cerca los empeños en que ha entrado posteriormente la Expedición, en cuyo beneficio sacrifico yo la mayor parte de mi sueldo, y deberán cesar finalizados los unos y minorados otros luego que se restituyan a la capital las dos compañías que viajan por el reino, ha sabido conformarse con mis ideas confiado de que yo no olvidaría hacer valer este mérito a su tiempo.

En esta inteligencia contemplo muy justa la instancia del suplicante dirigida a reclamar en premio de sus dila-

tados servicios la real aprobación de su sueldo de mil pesos que sin nuevo gravámen a la Real Hacienda se le suministrará del fondo asignado al ramo de pintores a que tiene un derecho tan legítimo por sus dilatados servicios con el desempeño que dejo manifestado a V.E. Tal es la gracia que solicita don Salvador Rizo y a que lo considero por muchos títulos acreedor para que Vuestra Excelencia se digne elevarla a los pies del trono recomendándola con su favorable informe a la innata piedad de Su Majestad. Santafé 14 de noviembre de 1803. Excmo. Señor. Joseph Celestino Mutis. Excmo. Señor Virrey D. Antonio Amar y Borbón. Es copia Santa Fe 19 de noviembre de 1803. Josef de Leyva".

LAS CONSTITUCIONES DEL COLEGIO UNIVERSIDAD DE MOMPOX: UN MODELO PARA LA ENSEÑANZA ILUSTRADA

por

Diana Soto Arango¹

Resumen

Soto Arango, D.: Las Constituciones del Colegio Universidad de Mompox: un modelo para la enseñanza ilustrada. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **20**(78): 527-538. 1996. ISSN 0379-3908.

Las Constituciones elaboradas por Eloy Valenzuela en 1806 para el Colegio Universidad de Mompox representan la defensa del estudio de las ciencias, no solo para el reconocimiento científico, sino para la explotación de las riquezas naturales de la región. El documento pone de manifiesto la identidad del autor con las políticas del despotismo ilustrado y con el movimiento de la Ilustración, dentro de un eclecticismo de adaptación a la realidad americana. Valenzuela se opone al sectarismo religioso y a cualquier manifestación religiosa que aparte a los estudiantes del aprendizaje, rompiendo las tradiciones de los colegios españoles y coloniales de América. Las Constituciones plantean un cambio en la información, siendo la formación ciudadana el eje central junto con los catechismos civiles.

Palabras claves : Constituciones, Botánica, Ilustración, Eloy Valenzuela.

Abstract

The constitutions prepared by Eloy Valenzuela for the University College of Mompox in 1806 constitute a defense of the study of science not only for science's sake but also for the exploitation of a region's natural resources. The document shows the author's acceptance of illustrated despotism and the illustrated movement within the limits of the American reality. Valenzuela opposes religious sectarianism or any form of religious interference in a student's learning process, therefore breaking away from the traditions of Spanish and colonial schools in America. The constitutions establish a change in information handling, with the shaping of a citizen's culture with civilian catechisms as its main focus.

Key words : Constitutions, Botany, Illustrated movement, Eloy Valenzuela.

¹ Doctora en Filosofía y Ciencias de la Educación. Profesora de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Educación. Tunja.

Introducción

El primer plan Ilustrado y más conocido, en el virreinato de la Nueva Granada, fue el propuesto por el fiscal Francisco Moreno y Escandón que se aplicó durante escasos cinco años en la ciudad de Santafé de Bogotá (1774-1779). En los albores del Siglo XIX durante la etapa de represión política e ideológica en las universidades el criollo Eloy Valenzuela elaboró, por solicitud del fundador del Colegio-Universidad de San Pedro Apóstol en Mompox, las Constituciones de esta institución y un plan para la enseñanza de la Filosofía en 1806.

Estas Constituciones son poco conocidas. Puede decirse que en 1985, cuando las analizamos en conjunto con el investigador Guillermo Vera y determinamos que era autor de las mismas Eloy Valenzuela, se consideraba que tal documento había sido elaborado por Pedro Pinillos. En ese año comentamos el hecho al historiador Guillermo Hernández de Alba quien publicó más adelante el manuscrito², en tanto que nosotros editamos el Plan de Filosofía en 1994³. Hay que destacar que sobre las Constituciones de este Colegio-Universidad el único análisis parcial ha sido el realizado por nosotros⁴. Por consiguiente, ahora nos centraremos en el análisis y valoración del conjunto de éstas dentro del pensamiento de su autor Eloy Valenzuela.

1. El botánico y catedrático Eloy Valenzuela promotor del Plan de Estudios y Constituciones del Colegio-Universidad de Mompox.

Eloy Valenzuela (1756-1834)⁵ llega de la mano de Mutis en 1770 al Colegio Mayor del Rosario⁶ del que se hace

catedrático de Filosofía en 1777 para explicar bajo la Reforma de Moreno y Escandón la nueva filosofía Ilustrada. No fue un azar el hecho que en esta reforma el estudio de las matemáticas se hiciera obligatoria porque se intentó dar una formulación científica al conocimiento, al pretender introducir una nueva enseñanza, cuyos contenidos estaban basados en el conocimiento experimental.

Hay que destacar que el tiempo de docencia de Eloy Valenzuela fue corto⁷ pero impacto por la dedicación a sus estudiantes y los contenidos de sus enseñanzas basados en la física experimental y en Newton que los venía explicando José Celestino Mutis⁸ en el Colegio Mayor de Rosario. Don Joaquín Escobar, vicerrector del Colegio⁹ del Rosario describe que el catedrático Valenzuela "había cumplido su ministerio con tanta exactitud... que con cuyo tesón logró instruir a sus discípulos en los tratados de lógica crítica, aritmética, álgebra, geometría y secciones cónicas, los que sustento con ellos en dos públicas conclusiones"¹⁰.

Hay, sin embargo que mencionar los contenidos de las conclusiones públicas que dirigió el catedrático Valenzuela y los nombres de sus alumnos que luego sobresalieron en la actividad académica de los Colegios y en la política nacional. En el primer año defendió en dominicales con "Ignacio Tejada las preliminares de lógica. Las segundas de aritmética con José Antonio Rota. Las terceras de álgebra con José Antonio Ramón González y dos más con Rota la geometría con González la trigonometría"¹¹. En 1778 defendió en las dominicales las siguientes conclusiones públicas: con Pedro Fermín Vargas las preliminares de física; con Fernando Vergara¹² varios ca-

² Hernández de Alba, G. (1986): *Documentos para la Historia de la Educación en Colombia*. Bogotá, Editorial Kelly, Tomo VII, pp. 27-71.

³ Soto Arango, D. (1994): *La Ilustración en las universidades y colegios mayores de Santafé, Quito y Caracas. Estudio bibliográfico y de fuentes*. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional. COLCIENCIAS, pp. 223-2242.

⁴ Arboleda, L.C. y Soto Arango, D. (1995): "Los estudios de botánica en los planes ilustrados del virreinato de la Nueva Granada", en *ASCLEPIO*, Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Madrid, Vol. XLVII, n° 2, pp. 117-142.

⁵ Nace en Girón el 6 de julio de 1756 y muere asesinado en Bucaramanga el 31 de octubre de 1834. En 1766 conoce a José Celestino Mutis en Bucaramanga y en 1770 ingresa como colegial en el Rosario donde fue alumno de Mutis. Soto Arango, D. (1989): *Mutis: filósofo y educador*. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, p. 35.

⁶ "Informaciones de Dn. Eloy Valenzuela, para su ingreso en el Colegio Mayor del Rosario", Santa Fe, 20 de octubre de 1770. *Archivo Colegio Mayor del Rosario* en adelante *ACMR*, Vol. 119, fls. 267 a 270.

⁷ Inició la cátedra el 19 de octubre de 1777 y la dejó al finalizar el curso en 1778 al pasar el año siguiente a ocupar el vice-rectoría de este Colegio. El 13 de septiembre de 1777 inicia las reclamaciones por el salario que se le adeuda del trienio. *ACMR*, Volumen 125, Libro 1° de Colegiales, fl. 7. y Volumen 124, fl. 178. *Biblioteca Nacional de Colombia* en adelante *BNC*, Libros Raros y Curiosos, Instrucción Pública, n° 13531, fls. 41 y v.

⁸ Mutis fue catedrático en el Rosario de 1770 a octubre de 1774. Continúa Joaquín Urrutia a quien le correspondió iniciar el nuevo Plan de Estudios de Francisco Moreno Escandón. Soto Arango, D. (1989), p. 35.

⁹ Santafé, 1779. *ACMR*. Vol. 124, fl. 178.

¹⁰ Santafé, 1 de septiembre de 1777. *ACMR*. Volumen 125, Libro 1° de Colegiales, fls. 8 a 10. *BNC*, Libros Raros y Curiosos, Instrucción Pública, n° 13531, Sala 1, fl. 40.

¹¹ *ACMR*. Volumen 125, Libro 1° de Colegiales, fl. 8.

¹² Fernando Vergara con el apoyo de Mutis dirigió en 1785 una carta al arzobispo-virrey solicitando la reapertura de la cátedra de matemáticas. La cátedra se reabrió el 29 de enero de 1787 con el plan de estudios que había presentado Mutis. Valenzuela fue el catedrático pero Mutis se reservó el derecho de ser el titular de la misma. *Archivo General de Indias* en adelante *AGI*. Sección Quinta, Audiencia de Santa Fe, leg. 759. Véase Soto Arango, D. (1989), pp. 38 a 41.

pítulos sobre la naturaleza y atributos del cuerpo en particular, con Juan de la Rocha los elementos de la mecánica en castellano; con Tadéo Cabrera el sistema newtoniano sobre los colores y la heterogeneidad de la luz"¹³.

Ya hemos valorado en otros trabajos el éxito del Plan de Estudios de Moreno y Escandón que no puede considerarse como un mero episodio educativo de la ciudad de Santafé. En cierto sentido, diríamos que en esta época se presenció un cambio ideológico en algunos sectores de la élite de colegiales y catedráticos, que se convirtieron en agentes activos del progreso, principalmente para cambiar la mentalidad que se tenía frente a la concepción de las ciencias.

Sin embargo, el sector que se oponía a la reforma del Plan de Estudios no compartía estos progresos. Para ellos la aplicación del nuevo método significaba retroceso y caos para el Virreinato. El rector del Colegio del Rosario, quien ya desde 1775 había presentado una propuesta paralela a la del fiscal Moreno, precisa la situación como "triste y de última ruina". Este rector señala que la causa principal de esta situación se debe a la aplicación del Plan de Moreno, "por ser sumamente perjudicial", y principalmente por haberse ordenado que no se jurará doctrina alguna. Para el rector esta nueva norma iba en contra de las Constituciones de Colegio que señalaba que se debía jurar la doctrina de Santo Tomás¹⁴. De todas maneras se debe tener presente que este rector no estaba solo porque un grupo del claustro colegial le apoyó para solicitar que se volviera al antiguo Método¹⁵.

También era evidente que la situación política-educativa había cambiado en el Virreinato con el apoyo que el visitador Gutiérrez de Piñeres le otorgaba a la comunidad de Santo Domingo y en efecto el Plan de Moreno se suspendió por la Junta de Estudios del 16 de octubre de 1779. Esta Junta ordenó que se enseñara y explicara "la filosofía del método escolástico". Como era de esperar Eloy Valenzuela se retira de la vicerrectoría del Colegio de Rosario y entra a trabajar con el arzobispo Caballero y Góngora¹⁶ quien le ordena de sacerdote.

Conviene destacar que la influencia de José Celestino Mutis sobre Eloy Valenzuela fue permanente. De hecho, cuando se aprueba la Expedición Botánica, en 1783, Mutis lo vincula como sub-director de ésta y le traslada a Mariquita. Es allí donde escribe el **Primer diario de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada**¹⁷. En esta obra describe el viaje que realizó desde Santafé hasta la citada población de Mariquita en donde permaneció durante un año en sus investigaciones botánicas.

Es importante apuntar que Valenzuela siguió los pasos de su protector Mutis en lo académico y religioso. Asimismo, retomando su tarea de sacerdote se retira al curato de Bucaramanga donde desarrolla una labor loable en el desarrollo de la región y en el estudio y descripción de plantas de la zona.

En esta población desarrolló tareas propias de un administrador ilustrado de la Corona, entre otras, "la erección de un nuevo templo, la construcción de caminos, el incremento de la agricultura, mejorando la calidad de los pastos y de las especies de caña dulce"¹⁸. Podríamos añadir que su convicción de una nueva política para el desarrollo del reino le llevó a costear el camino de Bucaramanga a la aldea de Chita para traer la sal¹⁹.

Como puede verse, a través de sus escritos, no sólo investigó las plantas sino que también propuso los medios para mejorar la producción y la calidad. Entre sus obras conocidas podemos citar:

Nueva Granada de 1782 a 1789. Durante su gobierno fundó la Expedición Botánica en 1783, restableció la cátedra de matemáticas en 1786 y presentó el Plan de estudios en 1787. Vivió en Cartagena (Turbaco) de 1784 a 1789. Antes de regresar a España en 1789, para ocupar el cargo de arzobispo de Córdoba, donó su biblioteca al arzobispado de Santa Fe. Entre los libros que obsequio se encontraban los de Newton, Locke, Buffon, Fleury, Montaigne, Montesquieu y Blaise Pascal. Pérez Ayala, J. M. (1951), **Antonio Caballero y Góngora, virrey arzobispo de Santa Fe, 1723-1796**. Imprenta Municipal, Bogotá, p.200.

¹⁷ Pérez Arbelaez, E. y Acevedo Díaz, M. (1952): **Apuntamientos. Primer diario de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada por V.E. Agregado científico de ella, el cual comprende desde el día 29 de abril de 1783 hasta el día 8 de mayo de 1784**. Bucaramanga, Biblioteca Santander, Vol. XXI, 1952. 427 págs, y en Instituto Colombiano de Cultura Hispánica(1983). Bogotá, 458 págs.

¹⁸ Acevedo Díaz, M. (1944): "Genio y figura del doctor Eloy Valenzuela", en **Estudio**, Órgano del Centro de Historia de Santander, Vol. 13, n°155. Bucaramanga, octubre de 1944, p. 235.

¹⁹ Acevedo Díaz, M. (1944), pp. 227-259.

¹³ **ACMR**. Volumen 125, Libro 1º de Colegiales, fls. 9-10.

¹⁴ **ACMR**. Vol. 125, libro 1º, Colegiales, fl. 5v.

¹⁵ Carta de los alumnos del Colegio San Bartolomé, julio de 1778. **AGI, Sección Quinta, Audiencia de Santa Fe**, leg. 759.

¹⁶ Antonio Caballero y Góngora nació en Córdoba el 24 de mayo de 1723 y murió el 24 de marzo de 1796 en la misma ciudad. Viajó a América como obispo de Mérida (Yucatán) en 1775. En este cargo estuvo hasta 1778 porque fue nombrado arzobispo de Santa Fe el 2 de septiembre de 1777. Se posesionó del cargo de arzobispo el 24 de marzo de 1779. Gobernó el virreinato de la

- "Informe del cura de Bucaramanga sobre reducir los caseríos del campo a poblaciones urbanas". Bucaramanga, 30 de agosto de 1802²⁰.
- **Flora de Bucaramanga**. Bucaramanga, 1808.
- "Noticia de una especie de Grama útil para potreros o prados artificiales"²¹, 1809.
- "Noticia sobre la caña solera"²², 1809.
- "Noticia de una mina de alumbre y otros fósiles"²³, 1810.
- **Plana estadística del curato de Bucaramanga**²⁴. 1828-1832-1833.

Nos interesa reseñar aquí la extensa correspondencia botánica que sostuvo con José Celestino Mutis. Esta relación epistolar es amplia²⁵ y de ella hace gala el sabio gaditano al señalar que "descansa mi corazón cuando hablo con Ud. Cada carta de Ud. es para mi tan apreciable como lo eran las mías para Linneo, quien, si hoy viviera celebraría no menos la sabia correspondencia con Ud"²⁶. Mutis le dedica a Valenzuela la planta con el título de "el Genus Valenzuelia" que correspondía a un género nuevo dentro de la flora bogotana.

Por su parte, Francisco Antonio Zea (1762-1822) le solicitó al botánico español José Antonio José Cavanilles (1745-1804) que le dedicase una planta "al sobresaliente Dn. Eloy Valenzuela digno de tener lugar en la his-

toria de la botánica"²⁷. En la descripción que da Zea de Valenzuela señala que se ha retirado a Bucaramanga "donde se ha dado al estudio de la medicina sin abandonar la botánica. Como cura del lugar tiene mil proposiciones de adelantar sus descubrimientos en todos los ramos de la Historia Natural. Se que escribía la historia de los Juncos dibujando él mismo las láminas de tan hermosas plantas. Sin salir de estos reinos tiene allí abundante materia para muchos escritos. En la flora de Bogotá hay muchos descubrimientos suyos y el Dr. Mutis le ha dedicado un precioso genero"²⁸.

Una vez más, es posible que Mutis influyera en la carrera académica de Valenzuela al ser designado por Dn. Pedro Martínez de Pinillos (1748-1809)²⁹ para que elaborara las Constituciones y el Plan de Estudios de Filosofía para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox en 1806. Obvio es decir que Valenzuela adelanto en estos documentos su pensamiento sobre la enseñanza de la botánica y la manera cómo él desarrollaría una Expedición Botánica en esta región del norte del virreinato de la Nueva Granada.

Es significativo que en 1808, Eloy Valenzuela, desde su curato de Bucaramanga, solicita al juzgado eclesiástico la dispensa de su residencia para ir a ejercer de rector del Colegio de Mompox para el que ha sido nombrado. Sin embargo, el viaje no lo realizó y nunca llegó a ejercer la rectoría del Colegio-Universidad de Mompox donde hubiese adelantado el vasto proyecto de la Expedición Botánica para tal región.

Consideramos que los hechos políticos de 1810 le impidieron trasladarse a la ciudad de Mompox debido a

²⁰ El original de este documento, señala Enrique Pérez Arbeláez, que lo conserva Otero D'Costa. Otero d'Costa, E. (1934): "Escritos del padre Valenzuela", en *Estudio*, Organo del Centro de Historia de Santander, Bucaramanga, año III, n°s. 30-31, 1934.

²¹ Publicado en *Semanario del Nuevo Reino de Granada*, Santafé de Bogotá, enero 8 de 1809.

²² Ibid.

²³ Cartagena de Indias, Diego Espinosa de los Monteros, 1810, p.14.

²⁴ Santa Fe, Bruno Espinosa de los Monteros 1829-1832 y 1834.

²⁵ La última carta de la que tenemos conocimiento que escribió Valenzuela a Mutis es la de julio 19 de 1808, teniendo en cuenta que Mutis muere el 11 de septiembre de 1808. En la citada carta le manifiesta que le remite "las dos mejores piezas que guardaba" de las gramíneas como una muestra de gratitud. Hernández de Alba, G. (1975): *Archivo Epistolar del sabio naturalista don José Celestino Mutis. Cartas al sabio Mutis*. Letras H-Z. Bogotá, Editorial Kelly, Tomo IV, pp.262-2263.

²⁶ Acevedo Díaz, M. 1944): "Genio y figura del doctor Eloy Valenzuela", en *Estudio*, Organo del Centro de Historia de Santander, Vol. 13, n°155. Bucaramanga, octubre de 1944, p. 232. Hernández de Alba, G. (1975): *Letras H-Z*, Tomo IV, pp. 256-258. Hernández de Alba, G. (1968): *Cartas de José Celestino Mutis*. Bogotá, Editorial Kelly, Tomos I y II.

²⁷ Carta de Zea a Cavanilles, Cádiz, 23 de enero de 1799. *Archivo Cavanilles en adelante AC*, en el *Real Jardín Botánico de Madrid en adelante ARJB*, carta n° 10, numeración nuestra.

²⁸ Carta de Zea a Cavanilles, Cádiz, 4 de febrero de 1799. *AC*, en el *ARJB*, carta n° 11, numeración nuestra.

²⁹ Nació en la Villa de Torrecillas de los Carneros en la Provincia de Burgos el 18 de enero de 1748 y murió en Cartagena el 22 de mayo de 1809. Llegó a Cartagena en 1767 y se instaló en Mompox en 1775 donde se casó con Tomasa de Nájera (1750-1825). De profesión comerciante, ocupó cargos relevantes en la Villa de Mompox como el de comisario, alcalde, regidor y procurador general. En 1796 fue nombrado diputado del Consulado de Cartagena en Mompox pero no aceptó. Hernández de Alba, G. (1926): "El Colegio San Pedro Apóstol en Mompox y su fundador don Pedro Pinillos", en *Estudios Históricos*. Bogotá, Talleres de Ediciones Colombia, 1926, pp.106-131. *La Voz de Mompox*. (1932): "Colegio Universidad de San Pedro Apóstol. Semblanza del fundador don Pedro de Pinillos", Mompox, mayo 21 de 1932, n° 17.

que esta Villa tomó partido por la independencia y Valenzuela en esta época continuaba siendo monárquico³⁰.

2. El Colegio-Universidad de San Pedro Apóstol: un producto de la bonanza comercial de la Villa de Mompox

El Colegio-Universidad de San Pedro-Apóstol como hemos señalado se fundó en la villa de Mompox³¹. Esta Villa a finales del siglo XVIII se caracterizó por el intenso comercio y por ser uno de los puertos más importantes sobre el río Magdalena. Era el sitio obligado para los mercaderes procedentes de Cartagena, Santa Marta y Riohacha y para los que venían del centro del país a través de Honda. Allí se concentraba el comercio de esclavos, el del oro, con el de las mercancías de telas y productos vegetales como la quina y el tabaco.

Se describe a Mompox a comienzos de 1810 como una Villa de "14.000 habitantes, tres escuelas primarias, la nueva universidad, un clero numeroso e ilustrado.... y era esta villa el gran mercado de oro y otros productos del país, y el gran depósito de donde los pueblos del interior se proveían de mercancías europeas"³².

No es extraño, por lo tanto, que en 1784 se fundará en esta Villa la primera Sociedad de Amigos del País de América colonial. La Sociedad "creó corresponsales y

apoderados en todo el Reino con el apoyo del virrey Caballero y Góngora"³³. Además, se nombró miembro de honor al sabio Mutis quien estaba unido a esta ciudad por ser el sitio de residencia de su hermano y también porque había estado en la misma desde su llegada al Virreinato en 1762 y posteriormente también se había desplazado a la Villa a realizar un estudio sobre el terreno y el cambio de lugar del cementerio³⁴.

El comerciante Pedro Martínez Pinillos, fundador del colegio, en 1802 destinó 176.500 pesos³⁵ para la creación de dos escuelas de primeras letras y el citado colegio-universidad con seis becas. Esta institución tenía como objetivo formar a la población civil y además se estableció que el patronato fuera real administrado a través del Ayuntamiento de la Villa³⁶. Desde luego una vez aprobado, el real Colegio-universidad, el virrey procedió a nombrar los profesores previa oposición que hicieron a los cargos. La administración de los dineros quedó en la compañía mercantil "Pinillos y sobrinos" con un capital permanente de 120.000 pesos.

Los dineros se dispusieron de la siguiente manera: "Para los gastos que demandaba el funcionamiento de este plantel destinó sesenta y siete mil seiscientos pesos, cuyos réditos al 5% anual, que se comprometía a satisfacer oportunamente y con todas las garantías convenientes, la razón social "Pinillos y sobrinos" daban lo necesario para pagar el rector y el regente de estudios 250 pesos; al vicerrector 100 pesos; a los dos maestros de primeras letras 220 pesos; a los catedráticos de latinidad, filosofía y teología, leyes y cánones 300 pesos a cada uno; al de medicina 400 pesos; al de dibujo 450 pesos; para premios que estimulasen la aplicación de los jóvenes 100 pesos; finalmente 480 para seis becas a razón de 80 pesos para cada colegial, asignando 300 pesos para un médico con obligación de asistir a las enfermerías del hospital-hospicio; 200 pesos para un boticario y otro tanto para un capellán"³⁷.

³⁰ A Valenzuela se le había concedido un permiso de diez y ocho meses para arreglar sus asuntos en Bucaramanga y realizar su traslado a Mompox.

³¹ La villa de Santa Cruz de Mompox la fundó don Alonso de Heredia el día 3 de mayo de 1537. Esta Villa está localizada al norte del país y fue en la época uno de los principales puertos fluviales sobre el río Magdalena de obligado tránsito hacia la capital del Virreinato. La Corona española en reconocimiento de su "espíritu emprendedor, a su crecimiento y desarrollo económico y cultural de dio el título de Villa". Carlos III en 1774 la erigió en Provincia autónoma. Posteriormente, es una de las primeras ciudades que firma el Acta de Independencia lo hace el 6 de agosto de 1810. Dn. Manuel Rodríguez Torices, mediante Decreto del 3 de noviembre de 1812, la declara Benemérita de la Patria y le da el título de valerosa. La ley 163 de 1959 declara la ciudad Monumento Nacional.

³² Bibliografía consultada: ANALES DEL ESTADO DE BOLÍVAR, (s/f): **Estadística de Mompox**.-BOLETINES Historiales de la Academia de Historia de Santa Cruz de Mompox.-Fals Borda, O.(1979): **Mompox y Loba**. Bogotá, Carlos Valencia.-Fernández de Piñerez, M. (1967): **Unas vidas novelescas y un sacrificio glorioso**. Mompox, Tipografía el Esfuerzo.- Gutiérrez de Piñerez, E. (s/f): **La fundación de Mompox**. Mompox.-Peñas Galindo, D. (1987): **Eféméris de Mompox**. Cartagena, Espitia Impresores.-- (1981): **La independencia y la mafia colonial**. Bogotá, Tercer Mundo.-Salcedo del Villar, P.(1939): **Apuntaciones historiales de Mompox**. Cartagena, Gobernación del Departamento de Bolívar, primera edición. Santafé de Bogotá en esa época tenía 24.000 habitantes.

³³ El 7 de agosto de 1784 se creó la Sociedad con el director perpetuo el Coronel Dn. Gonzalo Josef de Hoyos. El 19 de septiembre del mismo año se dictaron los Estatutos de la Sociedad. Salcedo del Villar, P. (1987): **Apuntaciones historiales de Mompox**. Cartagena, Edición conmemorativa de los 450 años. Comité hijos de Mompox, Gobernación Departamento de Bolívar.

³⁴ **La Voz de Mompox**, mayo 21 de 1932, n° 17

³⁵ Además se agregaba los intereses que producía anualmente este capital al 5% anual que ascendía a 3.380 pesos.

³⁶ "El Ayuntamiento aceptó el patronato é hizo publicar por bando la Real Cédula del 10 de enero de 1806". **Annales del Estado de Bolívar** (s/f), "Estadística de Mompox", pp.137-148.

³⁷ **La Voz de Mompox**.(1932):" Fundación del Colegio-Universidad de San Pedro Apóstol". Mompox, mayo 29 de 1932, n° 18.

Da la impresión que el trámite de la solicitud de fundación del colegio-universidad tenía sus apoyos en la Corte porque no deja de ser significativa la rapidez con la que se expide la Real Cédula si se tiene en cuenta la lentitud administrativa de la época³⁸. La Real Cédula le concedió al Colegio el privilegio de otorgar grados al establecerla como universidad. Decía la Real Cédula: "Visto todo lo referido a mi Consejo de Indias con lo que informó su contaduría general... he venido en acoger bajo mi soberana protección y aprobar las dichas fundaciones y en mandar se eriga en universidad el referido colegio, con las mismas facultades y prerrogativas que el de esa capital, vistiendo sus colegiales igual beca con el escudo de su titular San Pedro y facultad de conferir en ella los grados en las facultades que se cursen en la misma universidad"³⁹.

La Universidad se instaló con las normas de rigor el 29 de agosto de 1809. Interinamente, hasta que Valenzuela ocupara el cargo de rector y catedrático, se nombró al abogado de la Real Audiencia José María Gutiérrez y Cabiedes⁴⁰ quien a su vez desempeñó el cargo de vicerrector y catedrático de filosofía y por lo tanto le correspondió la lección inaugural del curso académico. Gutiérrez y Cabiedes se había distinguido en su época de estudiante por la exposición que realizó en las conclusiones públicas⁴¹. También, es de resaltar su participación en la tertulia del Buen Gusto en la ciudad de Santafé. Su nombramiento se reseñó en la época de la independencia, en el *Correo del Orinoco*, de la siguiente manera: "Gutiérrez fue recibido por la Audiencia en el número de abogados, y el Virrey le confirió luego una comisión muy

importante para la villa de Mompox, nada menos que para poner en planta el Colegio Universidad que allí se había erigido por Cédula Real á espensas del filántropo español Dn. Pedro Pinillos, hombre bien hechor de aquel país..."⁴². De todas maneras es importante apuntar que desde el 29 de julio de 1806 el virrey había dictado el edicto del nombramiento de todos los catedráticos, rector y vicerrector.

La Universidad funcionó en el antiguo colegio de los Jesuitas⁴³. Sus labores duraron poco tiempo debido a que se clausuró en 1811 y sólo se reabre en 1823 bajo la rectoría del Pbro. Luis José Serrano Díaz⁴⁴. En el *Correo del Orinoco* se reseña el cierre cuando se comenta la biografía de Gutiérrez, se dice: "Gutiérrez cumplió exactamente con su encargo; y el establecimiento se hubiera adelantado mucho, si no se hubiese sobrevenido la revolución de la Nueva Granada, que obligó al director a partir a la capital con otro joven maestro de leyes, compañero de su fortuna"⁴⁵. Este Colegio sufrió los avatares de las luchas políticas en el país y por este motivo sufrió cuatro cierres más en: 1840 a 1845; 1858 a 1872; 1895 a 1896; 1900 a 1905. Finalmente, en 1936 por medio de la Ley 179 se le da el carácter de Instituto Nacional⁴⁶.

3. Las Constituciones del Colegio-universidad de San Pedro Apóstol: un modelo del pensamiento ilustrado.

Las Constituciones que vamos a analizar fueron presentadas por Eloy Valenzuela el 13 de abril de 1806⁴⁷. El

³⁸ El 3 de abril de 1803, el Virrey Mendieta solicitó al monarca Carlos IV la aprobación de esta Fundación. El Consejo de Indias la aprobó el 27 de julio de 1804 y se otorgó la Real Cédula el 10 de noviembre de 1804. Esta Real Cédula aprobó igualmente el Hospicio-hospital del Corazón de Jesús. Salcedo del Villar, P. (1987): p. 79. Gusto. *La Voz de Mompox*. (1932): "Constituciones de la Universidad". Mompox, n° 19 del 4 de junio de 1932.

³⁹ Ibidem., p. 113.

⁴⁰ Fue abogado de la Real Audiencia, después de su regreso de Mompox se dedicó al "ramo científico de Ingenieros" levantó cartas topográficas y planes de fortificación. Fue fusilado en el patíbulo en 1816. Se comenta en el *Correo del Orinoco* que "él expiró en el patíbulo por el crimen de opinión, quien siempre fue el de los grandes hombres, y el mismo hubiera sido uno de ellos en el teatro del mundo sin una muerte prematura".

⁴¹ Se comenta en el periódico *Correo del Orinoco* que el "primer ensayo de Gutiérrez fue un acto público de aritmética tan bien sostenido, que no solo pudo resolver y demostrar los mas dificultosos problemas, más aún inventar un método mas simple para la extracción de las raíces, el qual fue apreciado por el profundo Mutis, y que por esta recomendación merece ser mencionado en este lugar". *Correo del Orinoco*, n° 50, Angostura, sábado 29 de enero de 1820.

⁴² *Correo del Orinoco*, n° 50, Angostura, sábado 29 de enero de 1820.

⁴³ El edificio lo compró Pedro Martínez Pinillos en 1801. En el primer piso funcionó el Hospicio y en el segundo el Colegio. Actualmente funciona en este mismo edificio las oficinas del Ayuntamiento (Alcaldía). *La Voz de Mompox*. (1932): "Apéndice a la monografía de la Universidad". Mompox, n° 20 del 11 de junio de 1932.

⁴⁴ De 1821 a 1815 el colegio fue sede del cuartel patriota; de 1815 a 1820, sede del cuartel realista; de 1820 a 1823 sede del cuartel patriota. El general Santander lo reabre en 1823. En 1832 se instauran los estudios de Jurisprudencia. *La Voz de Mompox*. (1932): "Apéndice a la monografía de la Universidad". Mompox, n° 20 del 11 de junio de 1932.

⁴⁵ *Correo del Orinoco*, n° 50, Angostura, sábado 29 de enero de 1820.

⁴⁶ Debo agradecer la información que me suministró el señor rector del Colegio de Santa Cruz de Mompox, Sr. Orlando Ramírez, el 23 de julio de 1992, en dicha ciudad. El Sr. Ramírez fue rector del "Colegio Pinillos" como se conoce actualmente al antiguo colegio de San Pedro Apóstol.

⁴⁷ "Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox. Las firma Pedro Martínez de Pinillos, fundador del Colegio, pero fueron elaboradas por el presbítero Eloy Valenzuela", Mompox, 13 de abril de 1806. *Archivo Histórico Nacional de Colombia*, en adelante AHNC, Sección Colonia, Fondo Conventos, tomo 22, fls. 483-515.

fundador del Colegio D. Pedro Martínez Pinillos le otorgó a Valenzuela plenos poderes para que le representará en Santafé en todo lo relativo a la aprobación de las constituciones de su Colegio de la villa de Mompo⁴⁸. Las gestiones son eficientes porque de inmediato el fundador, su esposa y el Procurador le solicitan al virrey que se nombre a Valenzuela rector y catedrático de filosofía del nuevo Colegio-Universidad de Mompo⁴⁹. El Fiscal dio la aprobación y el virrey le nombró en el cargo solicitado⁵⁰. Como era de esperar de inmediato Valenzuela se lo comunica a su maestro Mutis⁵¹ e inicia las gestiones del permiso para hacerse cargo de la rectoría del citado colegio que, como hemos comentado, no llegó a ejercer⁵².

El rasgo característico que le imprimió Valenzuela a las Constituciones fue el de la defensa del estudio de las Ciencias para el reconocimiento científico y de explotación de las riquezas naturales del territorio americano. Igualmente, se refleja en estas Constituciones su identidad con la política del despotismo ilustrado y el movimiento cultural global de la ilustración dentro del eclecticismo de adaptación a la realidad de la zona de Mompo. Como ilustrado se opone al sectarismo religioso y rechaza cualquier manifestación religiosa que distraiga a los

alumnos de las tareas de aprendizaje. Además, es relevante su posición monárquica y regalista que detalla en este documento y a su vez el nacionalismo con el apoyo al consumo de los productos nacionales.

Un común denominador de los planes de estudio ilustrados fue el de la crítica al método tradicional. Quizá el más radical y más avanzado, de todos los que conocemos en esta época en el virreinato de la Nueva Granada, sea el de Eloy Valenzuela. En el Plan señala que la enseñanza escolástica “ha ofuscado y enmarañado los entendimientos”. En las Constituciones se reafirmaba en su posición al plantear que la filosofía de Goudin “atolondra, enmaraña y confunde y así no conviene mucho esmero en estudiarla”. Y del método que tradicionalmente se utilizaba, decía que “no ilustraba ni cultivaba las mentes”⁵³.

Las Constituciones se presentan en 12 Títulos. El título primero se refiere al “Edificio sus aposentos y oficinas”. En este apartado es novedoso el hecho que se acaben con las “informaciones” que determinaban, hasta ese momento, en los colegios coloniales que sólo se permitía el ingreso a los de raza blanca. Se dice: “ha de estar patente a todo el mundo. Se han de admitir ricos y pobres, blancos mulatos, menestrales y aprendices, de todos los oficios y hasta los muchachos descalzos, con tal que no estén sucios ni contagiados. El maestro cuidará de separarlos, en bancos o mesas distintas”⁵⁴.

Merece también destacar por su entidad el pensamiento que tiene en relación a frenar el gasto que se llevaba a cabo en las capillas de los colegios. Más aún, considera un “abuso intolerable” el gasto en este rubro por lo que propone que se debía en cambio destinar estos caudales “en el socorro de colegiales pobres, en premios para estimularlos, o en sobresueldos para esforzar a los maestros”⁵⁵. En este capítulo describe las aulas, dormitorios y distribución general del edificio.

El título segundo se refiere a los empleados. Para Valenzuela existían tres tipos de personas en el Colegio: Los empleados, los colegiales y los sirvientes. La novedad de este apartado radica en oponerse a los cargos vitalicios porque consideraba que era “dar ocasión al empleado, para descansar, holgar, y pervertirse, con el seguro de su oficio inamovible”⁵⁶. Con esta perspectiva reglamenta el tiempo del

⁴⁸ “Poder de don Pedro Martínez Pinillos a favor de Eloy Valenzuela para que lo represente en Santa Fe en las diligencias pertinentes a la erección del Colegio de San Pedro Apóstol de Mompo y elabore los documentos necesarios”, Mompo, 9 de julio de 1806. AHNC, Sección Colonia, Fondo, Colegios, tomo VI, fls. 504-505.

⁴⁹ “Dn. Pedro Martínez Pinillos y su esposa proponen como rector del nuevo Colegio a Dn. Eloy Valenzuela”, Mompo, 13 de agosto de 1806. AHNC, Sección Colonia, Fondo, Colegios, tomo VI, fls. 518 v. “Cándido Nicolás Girón, Procurador de los del número y don Pedro Martínez Pinillos solicitan que Eloy Valenzuela sea el rector del nuevo Colegio y el primer catedrático de Filosofía porque el mismo ha elaborado las reglas del Colegio”, Santa Fe, 16 de agosto de 1806. Hernández de Alba, G. (1986): *Documentos para la Historia de la Educación en Colombia*. Bogotá, Tomo VII, 1804-1809, Editorial Kelly, pp. 75-76.

⁵⁰ El 17 de agosto de 1806 el Fiscal opina que no existe inconveniente para nombrar a Eloy Valenzuela rector y primer catedrático de Filosofía del Colegio de San Pedro Apóstol de Mompo. El 12 de diciembre del mismo año se nombra a Eloy Valenzuela primer catedrático de Filosofía y el 9 de mayo de 1807 se le nombra rector. Hernández de Alba, G. (1986): *Documentos para la Historia de la educación en Colombia*. Bogotá, Tomo VII, 1804-1809, Editorial Kelly, pp. 77-78.

⁵¹ “Carta de Valenzuela a Mutis, donde le comenta que tiene el título de rector y catedrático para el Colegio de Mompo, Bucaramanga, 6 de septiembre de 1806. ARJB, Sección Mutis, Serie AA, nº 455.

⁵² “Dn. Eloy Valenzuela, cura de Bucaramanga, solicita al juzgado eclesiástico la dispensa de su residencia para ir a ejercer de rector del Colegio de Mompo, para el que ha sido nombrado”. Bucaramanga, 1808. Biblioteca Nacional de Colombia, en adelante BNC, Sección Libros Raros y Curiosos, Manuscritos. Pieza 22, fls. 505-531.

⁵³ “Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompo, 13 de abril de 1806”. Doc. cit., fl. 499 v.

⁵⁴ “Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompo”, 13 de abril de 1806. Doc. cit., fl. 483.

⁵⁵ Doc. cit., fl. 484 v.

⁵⁶ Doc. cit., fl. 485.

rector y del secretario que era de cinco años, los maestros con tres y el vicerrector, consiliarios, procurador, bibliotecario y censor de un año. Las funciones del rector quedaban subordinadas a la Junta Gubernamental y las funciones de Censor le correspondía al más antiguo de los colegiales.

El título tercero se refiere "al recibimiento de los colegiales". Estos se dividían en: 1) los de dotación que inicialmente tenían seis becas dotadas por el fundador⁵⁷; 2) los pensionistas quienes pagaban "sus alimentos, alumbrado, habitación y enseñanza"⁵⁸.

El aspecto que hemos señalado del cambio que realizó a las informaciones tradicionales se refiere al hecho de no pedir "la hidalguía ni limpieza de sangre". Se especificaba que "si sus padres o abuelos han sido negros de raza, o esclavos de condición, con cuyo favorable despacho bastará para que sean admitidos al colegio y tratados como los otros". Con esta perspectiva se agrega en la nota correspondiente a las informaciones que: "si solamente se admiten nobles, se quedarán muchos sin este beneficio. Y se perderán grandes talentos y habilidades". Pero temiendo que se resintieran los de la clase "noble" y desampararan el colegio, agregaba que "el remedio es, que a todos esté patente esta carrera del ingenio y del estudio y que separados en clase, no se igualen, ni confundan, las condiciones"⁵⁹. En cambio era severo en demostrar su piedad a la religión y la obediencia a los padres y al gobierno. Se manifiesta en las Constituciones lo siguiente: "Que sea esta divisa de los colegiales, amorosos, sumisos, respetuosos y obedientes a la autoridad y a las canas".

Es necesario valorar en su justa medida las alteraciones que introduce a las costumbres tradicionales de los colegiales de Santafé. Una de estas es la relativa al vestido colegial. Como era de esperar para incluir esta reforma inicia su crítica al "vestido de los colegiales del reino que los describe como "vestuario de mijiganga" por parecerse al de los clérigos sin serlo. Por lo tanto, insiste en que el traje sea "modesto, aseado y barato". Pero además, debía ser de las telas nacionales como una muestra del "mejor patriotismo". En reemplazo del bonete se usaría el sombrero de paja que lo obsequiarían los campesinos de la región.

El mismo espíritu nacionalista se encuentra en el capítulo referente al "alimento diario". Recomendaba el uso del pastel de hoja o el buñuelo para fomentar la "indus-

tria de las negras pasteleras". Por otra parte prohibía el uso de té y el café por ser productos extranjeros. En cambio, señala como bebida obligatoria el chocolate porque: "es sin contradicción mejor bebida que aquéllas y es de nuestra propia cosecha. Su mayor consumo redundaba en beneficio de nuestra agricultura, por esos no más le desprecian los extranjeros".

Reglamenta, igualmente las fiestas, horarios de salidas, y hasta darle a los estudiantes un día mala comida para que "no extrañen para cuando se les ofrezca viajar, o que las circunstancias no les deparen otros recursos".

Es importante apuntar que reduce de tres a uno el número de meses de vacaciones por considerar que "es mucha pérdida de tiempo y demasiado descanso aun para los trabajadores de hacha y machete; es convidarles con la flojera cuando se les había de enseñar la aplicación laboriosidad y constancia".

En el capítulo del estudio y distribución de horario además de lo señalado, especifica la jornada de estudio y la cátedra de filosofía, la de música, la de dibujo y hasta el juego de la pelota y el de la raqueta. Considera prioritario el primer año de estudio enseñarle al estudiante la elaboración de cartas personales, mercantiles, letras de cambio y "todo uso de comerciantes" con el objeto que si abandonaba los estudios al finalizar ese año por lo menos este ciudadano podría trabajar de oficial de una contaduría.

La estricta evaluación del aprendizaje y la interacción personal con los alumnos: exámenes y tertulias diarias.

Eloy Valenzuela señala con detalle cómo deben ser los exámenes parciales y el rigor del aprendizaje, que debe ser comprobado día a día, en el capítulo séptimo de las Constituciones. El examen se presenta al final de la jornada tomando la modalidad de una tertulia entre profesor y estudiante⁶⁰.

⁶⁰ Eloy Valenzuela en el Plan de Filosofía reseña con mayor detalle los exámenes en el apartado de los "calendarios hortenses". Al respecto dice: "Día por día y hora por hora, aquéllos en cabeza de renglones atravesados y éstas al frente de los verticales, se anotará lo que sea digno de observación y cada día de paso se presentarán para su examen que seguramente se convertirá en una tertulia muy curiosa en que un maestro instruido y celoso podrá infundirles muchas noticias de la fisiología vegetal y lo que es más es la afición al culto metódico y racionado". "Plan de estudios de Filosofía, para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompos, elaboradas por Eloy Valenzuela", 2 de septiembre de 1806. AHNC, Sección Colonia, Fondo Conventos, tomo 22. BNC, Sección Libros Raros y Curiosos, Protocolo de Instrucción Pública, 1672-1818. Número 338, fls. 298-309. Publicación en Soto Arango, D. (1994): pp. 223-242.

⁵⁷ En las constituciones señala que la dotación será de cien pesos. Doc. cit., fl. 488v.

⁵⁸ Doc. cit., fl. 488 v.

⁵⁹ Doc. cit., fl. 488 v y 489.

En general los exámenes los clasifica en: públicos y privados. Los públicos son anuales "para el estímulo y lucimiento de los alumnos". Para este examen o conclusión pública se escoge un alumno y ocho días antes se "convidará a los replicantes con un resumen de las principales proposiciones". Los privados se refieren a los que se realizan cada mes y se llaman "sabatinas", consistiendo en "una especie de examen a manera de pequeñas conclusiones que se tiene los sábados a las dos de la tarde". Otro tipo de examen es el anual, que se realiza del dos al cinco de enero, sobre lo que se ha estudiado en los once meses. A quien repruebe este examen "se le devolverá al trienio de filosofía, a que repare su flojera y desaprovechamiento"⁶¹. Curiosamente, Valenzuela que describe al detalle cada uno de sus puntos de vista no analiza el tema de los grados académicos en las Constituciones ni en el Plan de Estudios de filosofía.

Otra aportación, no sólo en cuanto a la peculiaridad, sino también en lo que significaba en el juego de poderes políticos del Virreinato es el referente a la provisión de las cátedras. En efecto, la condición de eliminar el espíritu de partido o el de no favorecer a los egresados del Colegio-Universidad de Mompox van a diferenciar estas Constituciones de las de los colegios y universidades de Santafé. De ahí que, para la posesión, no se exige juramento alguno "mucho menos de seguir determinada escuela o partido". Indica, que lo contrario es un abuso que "ha perjudicado mucho a las ciencias en España y en otras comunidades que se dividen en Tomistas, Escotistas, Javieristas, etc. Jamás los de un partido han podido convertir a los de otro y esto prueba, o que van distantes de la verdad o de la buena fe; lo cierto es que nada interesan al beneficio común y que sus contiendas ni siquiera divierten como las del Quijote"⁶²

Asimismo, por las razones ya argumentadas el concurso de catedráticos se determina que sea público y la convocatoria se hará en todo el país. La terna saldrá de la votación que realicen los miembros de la Junta y colegiales y la elección final la realiza el real patronato.

La formación del ciudadano prioridad del catecismo civil

Hemos anotado que en estas Constituciones conviene destacar que prima el sentimiento civil al religioso. Se disminuye las horas de rezo al ponerse media por la ma-

ñana y la otra media por la tarde. Pero lo más importante para Valenzuela de las devociones prescritas es "la aplicación al trabajo".

Por otra parte señala que siendo el colegio destinado a la enseñanza se le dará prioridad en el presupuesto a estas actividades antes que al pago del capellán o arreglo de la capilla.

En este punto la más importante novedad es la introducción en la enseñanza de los catecismos civiles el que se debería dar "junto o después de aquel". Por lo visto si el hombre necesitaba saber lo necesario para salvarse también era substancial el estudio del comportamiento en la sociedad. Por consiguiente, los valores sociales, entre otros, el de la honradez frente a la estafa eran prioritarios en un buen ciudadano⁶³.

El título noveno corresponde a los "delitos y penas". Estos los divide en dos: Los comunes de los ciudadanos y los del claustro.

En los delitos del ciudadano se reconoce el apoyo a la justicia pero a su vez el apoyo al colegial poniéndole un abogado. De los delitos escolares el más grave era el de la pérdida de respeto a los superiores y por supuesto la insubordinación. Igualmente era reprochable el hurto y la embriaguez. Los castigos graves iban desde tres días de encierro hasta la expulsión del colegio. No obstante, se prohíbe el uso de penas vergonzosas o viles.

Tampoco es un azar el hecho que los sirvientes del colegio se reglamenten por los "domésticos del mismo claustro o por criados o sirvientes de afuera". La formación civil se aprendía con la práctica en el colegio. Dentro de este planteamiento el cargo del ecónomo se le designa a uno de los estudiantes de filosofía y en esas condiciones el puesto era rotativo cada semana y tenía como objetivo enseñarle a los estudiantes a manejar el gasto de la familia.

Igualmente, el cargo del bedel le correspondía, por turno, a los estudiantes de gramática y el de maestre-sala lo asumían los filósofos. También era evidente, como lo hemos señalado en las informaciones, su preocupación por la educación de los diferentes sectores sociales, obvio es decir que los fámulos o sirvientes domésticos recibían por su trabajo la comida y además la enseñanza gratis.

Bien claro queda que quienes venían de afuera y no tenían ninguna vinculación con los colegiales eran los

⁶¹ "Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox, 13 de abril de 1806". Doc. cit., fls.497 v. a 499 v.

⁶² Doc. cit., fl. 499.

⁶³ Decía: "así también debía saber y aún predicársele lo que no debe omitir, para mantenerse sin petardear o estafar"

cocineros, aguadores y vianderos. Hay que destacar que se muestra contrario a la esclavitud por el trato que se les da pero paradójicamente señala que los criados no deberían ser esclavos ni negros por "la infidelidad, sus males contagiosos.. y por ser estos conspiradores".

La posición política de apoyo a la monarquía queda manifiesta en el título once que corresponde a las "constituciones generales". La formación política era importante y la conducta de los colegiales debía de servir de ejemplo a los ciudadanos. Por lo tanto el hito importante era: 1) dar demostraciones de amor al soberano; 2) en cada coronación se realizaría un tributo al monarca; 3) en caso de guerra se hará donativos para la misma; 4) los estudiantes aptos para las armas debían ofrecerse para recibir el respectivo adiestramiento militar.

Las ciencias útiles y un nuevo método fundamentan las constituciones.

Para Valenzuela era indispensable "hacer gustar los conocimientos útiles aunque sea de un modo elemental y diminuto"⁶⁴. De hecho, en el último capítulo de las constituciones se preocupa por incluir la enseñanza de los nuevos estudios.

En primer lugar destaca por su entidad la enseñanza de la química que debería ser impartida por un profesor proveniente de España o de Santafé. Para él era necesaria la química por ser una de las ramas de las ciencias naturales con gran aporte a la medicina, a la explotación de las minas y además porque "era un tesoro inagotable de inventos y secretos para todas las artes sin exceptuar la militar". Este estudio duraría tres años, con sabatinas mínimo una vez al mes, y se impartiría dentro de la cátedra de filosofía y medicina.

Para Valenzuela no era menos importante la enseñanza de la biología. En la reglamentación de esta cátedra pone de manifiesto todo su conocimiento botánico y sus planes científicos para el desarrollo de la zona de Mompox⁶⁵. El objeto central de los contenidos de la botánica era pasar "a los vivientes vegetales, explicando sus partes, su nacimiento y nutrición". Consideraba que la enseñanza de los principios de la botánica estaba íntimamente unida al aprovechamiento de las plantas en la medicina. De ahí que asegurara en su Plan de Estudios que "era indispensable el huerto" porque "con el tiempo habrá enfermería en el colegio y

se cultivarán muchas yerbas útiles con que se provea la casa y se suplan los vecinos"⁶⁶.

El huerto que describe nuestro autor debía tener "dos patios o cuadros, uno para yerbas y otro para arbustos". En el cuadro de las yerbas se cultivarían "algunas medicinales, raras, preciosas". El propósito del huerto era el de desarrollar el talento de los alumnos o por lo menos la afición por el cultivo de las plantas que les serviría más adelante para el manejo y cultivo de una hacienda.

Más aún, recomendaba impartir los conocimientos botánicos a través de la experiencia, por medio del método de "los calendarios hortenses" que detalló minuciosamente en el Plan de Estudios de filosofía. Estos calendarios consistían en distribuir entre los alumnos diferentes semillas y estacas germinantes que sembraban en el huerto del Colegio. Los estudiantes anotaban en un cuaderno "el día y hora de la siembra, la calidad de la tierra y así sucesivamente todas las variaciones que se fueren observando en los cotiledones, germen o yemas en el término de las tres visitas diarias que se harán después del desayuno, de la comida y a las cinco de la tarde". Además del aprendizaje en el huerto del colegio, se indica en el Plan que para hacer "más práctica la enseñanza" se debían realizar descripciones "en el huerto de la casa y en el campo en los domingos de rusticación".

Un elemento novedoso en el Plan de Filosofía es la inclusión de la cátedra de Dibujo como complemento a la clase de botánica. Este estudio debía impartirse en los tres años del curso de filosofía. En el primer año se tenía una dedicación de seis meses, con una clase diaria de tres a cuatro de la tarde, para dibujar las plantas pero prefiriendo "las útiles y raras"⁶⁷. En el segundo año, los primeros seis meses de la cátedra de dibujo, los alumnos se ocupaban de "perfeccionar el diseño, sombreado y colorido de las plantas descendiendo hasta las partes mínimas de la fructificación y exponiéndolas con exactitud y claridad". Consideraba que, de esta manera, se "podría suplir las colecciones botánicas tan raras como costosas y sin las cuales no se puede adelantar en esta ciencia"⁶⁸.

⁶⁶ "Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox. 13 de abril de 1806, Mompox. Doc. cit., fls. 511.

⁶⁷ Durante este mes debían "dibujar plantas copiándolas al natural primero por los ejemplares vivos que se les presenten y después por las estampas buenas que puedan haberse, sueltas, o en colecciones prefiriendo las útiles y raras, a las de mera curiosidad o de beneficio desconocido". "Plan de estudios de Filosofía, para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox, elaboradas por Eloy Valenzuela". 2 de septiembre de 1806, en Soto Arango, D. (1994), p. 229.

⁶⁸ Soto Arango, D. (1994), p. 227.

⁶⁴ "Plan de Estudios de Filosofía, para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox", 2 de septiembre de 1806. Doc. cit.

⁶⁵ Estos estudios los amplía en el Plan de Filosofía.

Además de lo señalado, propone en las Constituciones para el Colegio de Mompox un Plan que consistía en un estudio detallado de la población, el comercio, la flora y los animales. En relación con la flora de la Villa señalaba que se debían “coleccionar todas las plantas espontáneas de su suelo y comarca, dibujadas y coloridas al natural con hojas, flores y frutos y la anatomía sexual y característica”⁶⁹.

Hay que decir que al igual que en la enseñanza que se impartía en el Real Jardín Botánico de Madrid, indica que la clase de Botánica debía concluir “con un índice o catálogo de las plantas exóticas que más concurren en el comercio como lino, cáñamo, canela, clavo, malaguera, sen, ruibarbo, etc., definidas y especificadas según los principios del ya citado Linneo”⁷⁰.

La tercera parte de los estudios útiles comprendía la enseñanza de los animales, divididos en: cuadrúpedos, aves y peces. Sobre estos comenta que se realizará una completa descripción de los existentes en el país para que una vez elaborados queden en la biblioteca del colegio.

Para estimular el aprendizaje, instaura en las Constituciones un sistema de “recompensas y premios, a imitación de los que hacían en España las sociedades patrióticas”. Además, propone costear por parte del colegio dos viajes a Europa para los alumnos de filosofía y medicina. El objetivo del viaje era el de “introducirllos con los sabios, entablar correspondencia, frecuentar los observatorios astronómicos, laboratorios químicos, bibliotecas públicas, huertos botánicos y en todas partes observar, imponerse, hacer apuntes y procurarse copias, láminas, mapas y dibujos de lo más escogido y conducente”⁷¹. Por todo ello, deberían traer para el colegio libros, instrumentos, máquinas, aparatos para la física la astronomía, la química y la anatomía.

4. La frustración de la última reforma ilustrada de la época colonial en el virreinato de la Nueva Granada

Como hemos señalado en este Colegio-Universidad de San Pedro Apóstol en Mompox le correspondió a José

María Gutiérrez Caviedes ser el primer rector y catedrático de filosofía porque Valenzuela no viajó a esta ciudad por los ya señalados problemas políticos.

El Colegio se creó con las cátedras de: latinidad, filosofía, teología, medicina, dibujo, leyes y cánones pero en la realidad cuando el colegio inició labores lo hizo sólo con las cátedras de: latinidad, filosofía y teología⁷².

Se debe tener en cuenta que el Plan de Filosofía era una reglamentación de la parte final de las Constituciones. Este Plan se sometió, por parte del Fiscal Director de Estudios, al concepto de los rectores de los Colegios de Santafé y al de los catedráticos de Filosofía.

El único catedrático que le dio el apoyo incondicional al Plan de Estudios de Valenzuela fue Custodio García, profesor del Colegio San Bartolomé. Señala el catedrático García que “las materias son en sí tan deleitables, tan útiles y aún tan necesarias”. El inconveniente que señala García es el poco tiempo para la enseñanza y la dificultad que pueda tener en el aprendizaje en los alumnos”. Al respecto señalaba que “Por tanto mi parecer es que el Plan se adopte en todo, que si al reducirlo a la práctica se halla la dificultad que presenta es de arbitrio del rector, o del mismo autor mandar que se omitan aquellas partes, que se puedan aprender con más facilidad fuera del aula o del Colegio...Más si esta dificultad no se encuentra, se deberá practicar en todas sus partes”⁷³.

Los otros catedráticos de los colegios del Rosario y Universidad Santo Tomás le dieron la aprobación al Plan pero introduciéndole reformas a los estudios con la inclusión de la metafísica y la ética⁷⁴. Pero si los catedráticos

⁷² El Colegio-Universidad se inauguró el 29 y 30 de agosto de 1809. El presupuesto de 5.030 pesos incluía premios, 6 becas, un médico, un boticario y un capellán. El Colegio funcionó inicialmente en las instalaciones del segundo piso del antiguo colegio de los jesuitas que Pinillos había comprado para la casa-hospicio e impartió clases, en esta primera etapa, hasta 1811 y sólo se reabrió en 1823. Salcedo del Villar, P. (1987), pp. 64 a 172.

⁷³ “Informe del profesor Custodio García del 20 de octubre de 1806”, en Hernández de Alba, G. (1987), pp.104-107.

⁷⁴ El catedrático del Colegio Mayor del Rosario, Ramón Bustamante, se mostraba de acuerdo en la aplicación del Plan pero se debía introducir metafísica y reducir las materias del tercer año. Casi, en el mismo sentido, que Bustamante, fundamenta su informe el Lector y vice-rector de la Universidad Santo Tomás al señalar que se agregue al Plan los estudios de Metafísica y de Ética” Informe de Fr. José de Jesús Savedra de la Universidad Santo Tomás, 27 de octubre de 1806”. Ibidem., pp.107 a 113. 67. “Informe del canónico doctor Domingo Duquesne, rector del Colegio San Bartolomé, del 20 de junio de 1807”. Ibidem., pp.133-146.

⁶⁹ “Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox, 13 de abril de 1806, Mompox”. Doc. cit., fls. 512.

⁷⁰ Soto Arango, D. (1994), p. 230.

⁷¹ Durante dieciocho o veinte meses los estudiantes visitarían las ciudades de Madrid, París y Londres. Al finalizar el viaje los estudiantes tendrían la obligación de dictar dos cursos de Filosofía o de Medicina. “Constituciones para el Colegio de San Pedro Apóstol de Mompox, 13 de abril de 1806”. Doc. cit., fl. 515.

de filosofía de los Colegios de Santafé opinaban que se podía aplicar el Plan agregándole la metafísica y la ética, diferente fue el concepto del rector del Colegio de San Bartolomé, quien se siente aludido por las críticas a la escolástica y arremete contra el Plan señalándolo de "inútil e inconducente" y por lo tanto señalando que se debía hacer otro nuevo⁷⁵. El doctor Vicente de la Rocha, rector del Colegio del Rosario, sigue la línea de pensamiento de Duquesne y aunque plantea que el Plan se puede ejecutar, sin embargo por las reformas que insinúa se convierte en un Plan de Estudios completamente diferente.

Es posible que Gutiérrez haya dado algunos conocimientos de botánica en su cátedra porque, a petición de Eloy Valenzuela, Mutis le colaboró en la preparación de lo que sería su enseñanza en el Colegio-Universidad de Mompox⁷⁶. Sin embargo, hay que decir que en la lección inaugural de la cátedra de filosofía, Gutiérrez de Caviedes, se inclinó por las sugerencias de sus colegas de Santafé al incluir la enseñanza de la metafísica en el tercer año pero sin dejar de impartir "las ciencias naturales"⁷⁷.

Finalmente, se debe resaltar que el tiempo de aplicación del Plan fue muy corto porque la "muy noble y leal Villa de Mompox" se unió al tren de la revolución por la independencia nacional en 1811.

5. Conclusiones

Entre lo más significativo de las Constituciones analizadas tenemos que referirnos al hecho de imprimir en las

mismas la filosofía utilitaria y economicista de la ilustración para el conocimiento y difusión de las Ciencias Naturales. Por lo tanto se marca un hito en la crítica a la escolástica y se establece un nuevo método y estudios diferentes.

Teniendo en cuenta este pensamiento ilustrado se incluye en las mismas un modelo de Expedición Botánica con la idea de crear en la Villa de Mompox una similar a la que coordinaba José Celestino Mutis en Santafé. Sin embargo, no se puede olvidar el entorno político de la época donde la institucionalización de las ciencias útiles en los centros universitarios no podía contar con el apoyo de la administración y de los sectores tradicionales, pues en las nuevas realidades de sus colonias americanas ya era evidente que la prefiguración del proyecto nacionalista se apoyaba en la nueva filosofía ilustrada.

El Plan de Estudios de filosofía de Valenzuela fue cuestionado a pesar de que él demostró en las Constituciones su sentimiento monárquico que le lleva a plantear posiciones como que los colegiales se debían alistar a las armas en el caso de guerra para defender la monarquía.

Puede decirse, que en las condiciones políticas-culturales novogranadinas pesan otros hechos como el del monopolio educativo de la comunidad de Santo Domingo y el centralismo de la capital unido al pensamiento tradicional de los rectores de Santafé. Este nudo de la cuestión es el que motiva la discusión y el rechazo del Plan de Estudios de Valenzuela en Santafé por parte de los rectores de los colegios mayores y de la universidad Santo Tomás.

Además, era evidente que las Constituciones del Colegio-Universidad de la villa de Mompox rompían con las tradiciones de los colegios españoles y coloniales de América. Destacamos por su entidad el cambio en las informaciones porque ahora el ser colegial ya no significaba el pertenecer al más alto estatus social sino simplemente primaba la actitud de dedicación al estudio por parte del estudiante.

Más aún, la formación ciudadana pasa a ser el eje principal con los catecismos civiles y la formación religiosa, aunque es importante, deja el paso al estudio de las Ciencias Naturales.

En definitiva las Constituciones analizadas demuestran el último esfuerzo de un criollo, de la generación que se formó al lado de José Celestino Mutis, que vio en las Ciencias Naturales un medio para el estudio de las riquezas naturales del país y el desarrollo de la industria y el comercio de esta colonia americana.

⁷⁵ Los contenidos que señala son: "lógica, metafísica, ética, aritmética, geometría, trigonometría y álgebra" el tercer año se destinaba para un recuento de lo enseñado en el curso. "Informe de Vicente de la Rocha del 20 de junio de 1807". Ibidem., pp. 133-146.

⁷⁶ "Carta de Valenzuela a Mutis, donde le comenta que tiene el título de rector y catedrático para el Colegio de Mompox", 6 de septiembre de 1806, Bucaramanga. Señala en esta carta que da buena acogida a la pretensión del señor Gutiérrez de impartir la cátedra de filosofía para lo cual le pide a Mutis que auxilie a Gutiérrez en libros, instrumentos materiales, etc." para que desempeñe el Plan de Filosofía tal como se ha trazado, con el vasto y utilísimo proyecto de fijar esta enseñanza en los términos de un curso de erudición elemental, preparatoria y trascendental, a todos los estados, destinos y estudios que quieran continuarse después, o que precise y competa la suerte particular de los estudiantes y no como en Santa Fe, cuya filosofía no facilita sino el ergotismo y vale menos que el azadón de la capuchina que a lo menos produce bledos, y estercola lechugas". ARJB, Sección Mutis, Serie AA, n° 455.

⁷⁷ "Discurso inaugural de estudios que como catedrático de filosofía leyó el doctor José María Gutiérrez de Caviedes", Mompox, 1809. El original del manuscrito pertenece a la colección de Guillermo Hernández de Alba. Publicado en Hernández de Alba, G. (1986), pp. 176-180.

MATEMATICAS, EXPLICAR Y COMPRENDER*

por

Luis Moreno Armella**

Resumen

Moreno Armella, L. : Matemáticas, explicar y comprender. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 539-547, 1996. ISSN 0370-3908.

Se presenta un análisis de los períodos centrales ocurridos en la evolución histórica de la geometría, haciendo énfasis en el camino que condujo a la creación de las geometrías no euclidianas, proceso demostrable en forma óptima a través del marco conceptual suministrado por una epistemología constructivista.

Palabras claves: geometría no euclidiana - empirismo - racionalismo - objeto matemático - estructura formal.

Abstract

We intend to analyse some of the main periods of the evolution of geometry. Our interest is focused in those trends which led to non-Euclidian geometry. The conceptual framework adopted for interpreting the involved historical processes are provided by a constructivist epistemology; our goal is to show that the construction of non-Euclidian geometry can be best interpreted from that conceptual framework.

Key words: Non-Euclidian geometry - empiricism - rationalism - mathematical object - formal structures.

Introducción

La oportunidad es propicia para intentar una reflexión sobre la actividad científica y, en particular, sobre la matemática.

Hablaremos de epistemología. Entendemos el vocablo «epistemología», como el *estudio de la constitución*

de los conocimientos válidos. Tendremos que explicar lo que se entiende por conocimiento, por validez del conocimiento y por su constitución. Para ello, vamos a recurrir a unos ejemplos tomados de la historia de las ideas científicas, a su sociogénesis y al origen psicológico de las nociones y operaciones conceptuales.

Como se habla de validez, no podrán quedar al margen las estructuras lógicas de las organizaciones cognoscitivas y, en particular, las transformaciones que sufren cuando se pasa de un nivel de conocimientos a otro nivel que, por su grado de organización, consideramos superior.

** Dedicado a doña Emma Armella B.

* Centro de Investigación y estudios avanzados del IPN, México.

Este es un punto de vista genético.

Con cierta frecuencia se habla del conocimiento científico como «negador de su historia». Y se ha entendido que lo pertinente de una forma de conocimiento se halla en su estado presente.

Una consecuencia negativa de tal enfoque positivista se encuentra de inmediato en la educación. Las concepciones que tienen los docentes sobre la ciencia, impactan profundamente sus prácticas educativas; ha sido difícil modificar un estilo educativo que considera al conocimiento como una organización conceptual *que puede transmitirse tal cual ella es*, al margen del decodificador, del constructor de significados. Al margen del estudiante.

De allí que la reflexión sobre la naturaleza del conocimiento científico nos parezca de primerísima actualidad en nuestras sociedades, si es que estas buscan no sólo adoptar sino también contribuir al desarrollo de una cultura científica propia y construir un sistema educativo que responda a sus esperanzas.

La epistemología realista

La presencia de aquellas epistemologías que suponen *la existencia de una realidad independiente del sujeto cognoscente*, no puede explicarse al margen de su desarrollo histórico. Sus orígenes se encuentran en la filosofía griega y hay razones para que hayan sido parte central de la ideología dominante durante un buen tramo de nuestra historia intelectual.

La reflexión sistemática sobre la naturaleza, tal como se desarrolló en Grecia, se orientó a teorizar sobre el mundo material. Los filósofos presocráticos han dejado constancia de ello. Sus estudios sobre *lo uno y lo múltiple*, sobre la permanencia y el cambio, ejercieron una marcada influencia sobre el desarrollo posterior de la filosofía. Ante la diversidad, Heráclito escribió que lo sustantivo era la estructura del mundo, su organización.

En la escuela pitagórica, se arribó a una concepción aritmética: *todas las cosas son número*. Entonces, para comprender el mundo material, había que hallar el número que portaba la esencia de cada cosa.

Todas estas ideas nos hablan de una preocupación por *modelar de maneras estructurales y matemáticas las observaciones*. No podemos dejar de mencionar a este respecto una concepción expresada muchos siglos después, por Galileo, que pone de manifiesto esta suerte de alma numérica del mundo:

La naturaleza está escrita en ese gran libro que tenemos abierto siempre ante nuestros ojos, pero no podemos entenderla si primero no aprendemos el lenguaje en que está escrita. El libro está escrito en lenguaje matemático y sus símbolos son los triángulos, los círculos y otras figuras sin cuya ayuda es imposible entender una sola palabra; sin la cual caminamos a ciegas por un oscuro laberinto. (Galileo, *El Ensayador*, 1610).

La realidad profunda es matemática. Para Galileo, el experimento era la vía para acceder a ese conocimiento. Digamos de inmediato que la experimentación es una característica de la ciencia que estuvo ausente del método de indagación de los griegos, que era esencialmente especulativo.

Los ejes del posterior desarrollo filosófico griego están encamados por Platón y su discípulo Aristóteles. Su contribución al pensamiento filosófico es, de acuerdo con Russell, el mayor que se ha desplegado en toda la historia de la filosofía. Ellos representan las escuelas que serán conocidas como *idealismo* (Platón) y *empirismo* (Aristóteles).

Platón distinguía claramente entre el mundo material y el mundo (superior) de las ideas. Los objetos materiales y sus relaciones eran imperfectos, estaban sometidos al cambio y la decadencia; no podían representar las verdades últimas. Para ello estaba el mundo de las ideas, absoluto e inmodificable. Eran las verdades de este mundo las que interesaban al pensador: *las cosas materiales son como las sombras de las ideas que se arrojan al tablero de la experiencia*. Como Pitágoras, Platón sostenía que la inteligibilidad del mundo material sólo era posible mediante la matemática. Pero, ¿cómo era posible acceder a ese conocimiento? para responder esta pregunta utilizó un recurso magistral: *conocer es recordar*.

En efecto, al reflexionar con ayuda de una figura imperfecta, nuestro espíritu recuerda las propiedades esenciales del verdadero objeto (el ideal). La actividad cognitiva se reduce así al reconocimiento de lo que constituye una verdad sin mácula. En su diálogo Menón, se expone esta peculiar forma de cognición; en él, Sócrates conduce a un esclavo, a través de un cuestionamiento muy hábil, al descubrimiento de una versión del teorema de Pitágoras. La idea es que, el diálogo, permite al esclavo tomar conciencia del conocimiento que descansa en su espíritu. Reconocer un triángulo, una esfera o cualquier otra figura geométrica es reconocer una copia del «molde» perfecto que existe como idea.

Su discípulo Aristóteles se opuso. Para él, el molde existía, pero era resultado de una abstracción después de

haber tenido experiencias con muchas figuras concretas. En su sistema de ideas, el conocimiento lo era del mundo material. Se generaba mediante la intuición y la abstracción. La matemática era un instrumento que ayudaba en la investigación del mundo; suministraba el lenguaje para tratar con propiedades formales como eran las propiedades aritméticas y geométricas de los cuerpos. De acuerdo a sus planes, tal esfuerzo debía tener como recompensa la conquista de verdades sobre la naturaleza.

Se explicaba el éxito de las aplicaciones de las matemáticas a la óptica y la astronomía, por ejemplo, puesto que aquella disciplina era resultado de la abstracción a partir de los objetos materiales. La geometría versaba sobre figuras que representaban abstracciones de cuerpos continuos; la aritmética versaba sobre el número, abstracción de lo discreto. La epistemología aristotélica es empirista, pues sostiene que el origen del conocimiento (científico) está en las percepciones sensoriales del sujeto cognoscente. Además es realista pues para él, los conceptos están en una realidad externa al sujeto e independiente de él.

Los elementos de Euclides y la geometría no-euclidiana

Antes de la presentación axiomática de la geometría de Euclides, lo que existe es una geometría empírica basada, en alto grado, sobre la estructura de las figuras dibujadas. Sobre esta base se inicia el desarrollo del método deductivo que permite ir más allá de la mera verificación visual de los resultados.

El paso de lo visual a lo deductivo representa un cambio normativo en la matemática de profundas repercusiones. Está vinculado a las aplicaciones geométricas (como calcular la distancia de un barco a la costa) que no admiten una posterior comprobación; debieron por ello, tener una función importante en la toma de conciencia de la necesidad de perfeccionar el método deductivo como instrumento de validación en el seno de la geometría.

La teoría del conocimiento propuesta por Aristóteles estableció bases claras entre los objetos naturales y los objetos matemáticos que son resultado de la abstracción de aquellos. El dictum aristotélico: *todo cuerpo de conocimiento a lo largo de su desarrollo se orienta a la búsqueda de sus principios*, se tradujo después de considerables esfuerzos, en el sistema euclidiano clásico. Cada verdad que se hubiera conocido antes de Los Elementos, era recuperada por la vía deductiva con lo cual cambiaba substancialmente su estatus epistemológico.

La geometría euclidiana en su momento, es la respuesta al problema de la *representación matemática del espacio físico*. Para entender el sentido de este aserto, recordemos que el conocimiento en la epistemología aristotélica, debe agotar al objeto que captura, pues lo captura tal como él es «en realidad».

Del objeto material al objeto matemático.

Los objetos matemáticos pueden tener una *autonomía lógica* pero, *ontológicamente*, permanecen dependientes de los objetos físicos y, en consecuencia, aquellos objetos están obligados a respetar los límites impuestos a los objetos físicos por la finitud del mundo. Desde esta perspectiva, el objeto «*magnitud matemática*» permanece subordinado al objeto «*magnitud física*». Por ejemplo, la magnitud matemática sólo puede ser infinita en potencia. Hay un control permanente, de orden ontológico, sobre los objetos de esa matemática euclidiana. Los postulados debían ser «evidentes por sí mismos», carácter que heredaban de las condiciones materiales de las que provenían. Estas consideraciones ayudan a entender por qué Euclides hizo un esfuerzo considerable para mantener al Postulado de las Paralelas al margen de su desarrollo geométrico. En efecto, decir que:

por un punto exterior a una recta pasa una única paralela,

equivale a hacer una afirmación que elude el control del objeto físico correspondiente. En este momento de la obra estamos ante un postulado, de allí que tenemos que mantener ante nuestros ojos el problema ontológico y, en consecuencia, los límites impuestos a los objetos matemáticos. Como bien se sabe, lo primero que hizo Euclides fue sustituir la versión anterior del postulado de las paralelas por una versión que no mencionaba explícitamente al infinito. El costo fue muy alto: la nueva versión era muy larga, complicada y tenía todas las trazas de ser una proposición deducible de los restantes postulados. Dice así:

Dadas dos rectas y una transversal a ellas, si los ángulos internos de un mismo lado suman menos que dos rectos entonces, al prolongar estas rectas ellas deberán intersectarse del lado de estos ángulos.

De allí que haya suscitado una voluntad de simplificación en sus lectores, ya desde los más tempranos, quienes se dedicaron a tratar de demostrar esta nueva proposición, en lugar de aceptarla como «evidente por sí misma». La historia de estos trabajos es larga, muy larga, como que se despliega a lo largo de más de veinte siglos. Garantía quizá, que no estamos ante un problema menor

del conocimiento. El desenlace de este proceso ha sido la creación de las geometrías no-euclidianas.

La geometría euclidiana es la geometría del espacio físico. Esta hipótesis gravitó todo el tiempo durante los intentos de solución del problema del quinto postulado. Distinguiremos tres grandes periodos en el desarrollo de esta larga exploración. No deberá entenderse sin embargo, que éstos agotan la historia de la fundamentación de la geometría.

1. De Euclides al siglo XVII.

Podríamos llamar a éste el periodo «ingenuo». Los intentos de demostración del quinto postulado se hacen, durante un primer sub-periodo, tratando de utilizar una propiedad de las paralelas que no se desprende de su definición dentro del sistema euclidiano sino de una imagen construida sobre «cómo debería ser el comportamiento de las rectas». Desde nuestra perspectiva, lo que aquí se tiene es una confusión entre lo que se puede inferir lógicamente de los postulados y lo que se infiere de aquel comportamiento atribuido a los objetos matemáticos en cuestión. A este periodo pertenecen los intentos de Nassir-Eddin, matemático persa (1201-1274) quien atribuye a las paralelas la equidistancia entre ellas. La segunda parte del periodo, está marcado por la introducción de una nueva proposición que sustituye al quinto postulado y, a partir de la cual, se puede alcanzar una demostración de este último. Un ejemplo notable lo proporciona el trabajo de Wallis (1616-1703) durante el siglo XVII, quien supone que

así como existen circunferencias de tamaño arbitrario, también deben existir triángulos semejantes de tamaño arbitrario.

Basado en este aserto de mucho sentido común, Wallis logra dar una demostración del postulado.

Todos estos intentos son fallidos. La atribución de la equidistancia entre paralelas, la existencia de triángulos semejantes que no sean congruentes, son afirmaciones que «respetan la ontología» aunque lógicamente equivalen a lo que se desea demostrar. Es un pecado que los lógicos llaman «petición de principio».

2. La vía del absurdo.

Durante este periodo se cambia el acercamiento al problema. Se trata ahora de considerar como un postulado una de las formas de negación del postulado de las paralelas. A saber, que por un punto exterior a una recta pasa más de una paralela. El objetivo es desarrollar las consecuencias del nuevo sistema axiomático hasta que aparez-

ca una contradicción. Esta será atribuida a la presencia de una hipótesis absurda (i.e.: la negación del quinto postulado). Como conclusión queda establecida la validez del postulado quinto, puesto que su negación es absurda. Como solía decir Hardy, «el matemático no arriesga una pieza, como el ajedrecista, sino que arriesga la partida».

Hay varias consideraciones que vienen al caso. En primer lugar, los geómetras, después de una larga experiencia fallida, están dispuestos a aceptar como postulado uno que ya no es evidente por sí mismo!

Lo que presenciemos aquí es un abandono inconsciente del control ontológico del objeto matemático a favor de la estructura lógica del sistema geométrico en su conjunto. Decimos inconsciente porque el propósito mismo de la estrategia de solución está determinado por la convicción en la naturaleza euclidiana del espacio. Sin embargo, se ha dado un «giro copernicano» al problema: se trabaja bajo la hipótesis que la esperada contradicción que se quiere ver aparecer en el horizonte, establezca la veracidad de la geometría, lo cual supone (y es aquí donde se presiente la gestación de un nuevo punto de vista) que ahora la estructura matemático-lógica de la geometría puede imponer sus dictados a la ontología, aunque sea para estar de acuerdo con esta. De todas formas, se inicia lo que podríamos llamar *la tematización* de la estructura como objeto de estudio. A este periodo corresponden los trabajos de Saccheri (1667-1733), principalmente, y de otros geómetras.

Una reconsideración epistemológica

Los dos periodos que hemos analizado son solidarios de una concepción epistemológica realista. Ahora, debemos analizar la concepción epistemológica de Kant (1724-1804) que se erigió, quizá sin desearlo, en un formidable obstáculo a los desarrollos geométricos posteriores, pero que, una vez superado, hizo posible a las matemáticas acceder a un nivel de equilibrio conceptual del que no había disfrutado antes.

Hasta entonces, la cognición se subordinó a la concepción (realista) que se tenía de los objetos; para Kant, había llegado la hora de investigar si no se iba más lejos *subordinando el objeto a la cognición*. Hasta aquí, la nueva alternativa heredaba al racionalismo cartesiano, pero Kant sostuvo que la cognición, aunque subordine al objeto, comienza por él. Su epistemología pareciera ser una síntesis del racionalismo (de los pitagóricos, de Platón y de Descartes) y de las epistemologías empiristas (de Aristóteles hasta los empiristas ingleses).

En la introducción de su *Crítica de la Razón Pura* Kant expresa:

«No hay duda alguna de que todo nuestro conocimiento comienza con la experiencia. Pues ¿por dónde iba a despertarse la facultad de conocer... como no fuera por medio de objetos que hieren los sentidos... y elaboran así, con la materia bruta de las impresiones sensibles, un conocimiento de los objetos llamado experiencia?... mas si todo nuestro conocimiento comienza con la experiencia no por ello se origina todo él en la experiencia. Bien podría ser que nuestro conocimiento fuera compuesto de lo que recibimos por medio de impresiones y de lo que nuestra facultad de conocer () proporciona por sí misma sin que distingamos este añadido de aquella materia fundamental...» (subrayado nuestro)

De modo que nuestro conocimiento del mundo, no es una representación (en el sentido de una copia) de esa realidad externa en nuestro intelecto, sino una *interpretación*, una *reconstrucción* que hacemos tomando nuestros registros perceptuales como materia prima y sometiendo-los al influjo de esa "máquina de interpretar y organizar" constituida por nuestro intelecto.

Para Kant, nuestras experiencias sensoriales son posibles como fenómenos que se desarrollan en el espacio y en el tiempo. Pero, espacio y tiempo son las formas de sensibilidad mediante las cuales el intelecto capta las experiencias. *Las formas de sensibilidad* son innatas. Sin ellas las experiencias son imposibles.

Las experiencias son moldeadas por las formas de sensibilidad, así como el agua al entrar al recipiente, adopta la forma de éste. El intelecto pues, impone sus formas a la experiencia.

Nuestro conocimiento lo es del mundo de nuestras experiencias; no tenemos acceso a las «cosas en sí mismas». La objetividad del conocimiento no reside en la «realidad externa» como querían los empiristas, sino en la interacción de aquella con el sujeto. Pero, dado que todos compartimos las mismas formas de sensibilidad, entonces recuperamos la objetividad como un fenómeno intersubjetivo.

Como la intuición del espacio se origina en las formas de sensibilidad correspondiente, consideraremos como natural todas las propiedades del espacio que nos dicta la sensibilidad. Así, los postulados euclidianos y sus consecuencias, forman parte de nuestro conocimiento apriorístico. De modo que imponemos la forma euclidiana a todas nuestras percepciones espaciales y *no podemos concebir otra forma de organización para el espacio*.

La geometría euclidiana y la mecánica de Newton son instrumentos de organización de la experiencia que nos suministra la razón.

Kant desarrolló esta forma de pensar, en parte para dar respuesta a los cuestionamientos de la ciencia natural (la física) de su época. Se propuso realizar un análisis de las condiciones de posibilidad de esa ciencia y hacer una crítica al punto de vista empirista de que el mundo «es así como lo percibimos». Comprendió que debía quedar claro, en el punto de partida, cuáles eran las premisas que podían aceptarse como propias, indubitables.

Oponiéndose tanto al empirismo, que quiere develar al mundo real, como al platonismo de Galileo que supone al mundo preformado de acuerdo a principios matemáticos, Kant elige el camino que lo lleva a afirmar que

sólo es posible dar cuenta de la certeza de la ciencia natural y de sus posibilidades de matematización, si suponemos que la estructura de nuestra experiencia proviene de nuestras facultades cognitivas, que sirven de fundamento a priori a nuestras experiencias.

Sólo así es posible el conocimiento objetivo: estructurando las experiencias de acuerdo a nuestras formas de sensibilidad. De allí surge la posibilidad de matematizar la experiencia -- es la forma de estructurarla. La matematización es central porque es lo que permite extender el conocimiento, mediante la deducción, más allá de los principios.

Durante su tiempo, la revolución científica del siglo XVII que incluía el trabajo de Galileo, de Kepler, de Newton, estaba en un proceso de consolidación. Sus implicaciones no habían sido plenamente digeridas. Por ejemplo, el grado extraordinario de adaptación de la matemática a las ciencias físicas.

¿Por qué debía ser así; de dónde provenía esa correspondencia entre el mundo empírico y la matemática?

Estas preguntas acosaron largo tiempo a Kant. Su respuesta, como hemos visto, incluyó una modificación sustancial de la noción de «mundo empírico» y la atribución de un papel central, mucho más que el otorgado en el racionalismo cartesiano, a las capacidades cognoscitivas del sujeto.

Otro problema, en particular, que interesó a Kant es el referido a los fundamentos de la geometría, tal como venía siendo discutido vía el problema del quinto postulado. Mediante la tematización de la organización axiomática, la geometría empezó a emerger de la esfera pura-

mente empirista hacia una fase de mayor organización lógica. Dado el nivel de coordinación existente entre las condiciones materiales y la organización lógica de la geometría, fue posible una suerte de giro copernicano y la estructura formal pasó a ser vista como necesaria, a aparecer como inevitable. No se podía, en consecuencia, contradecir este sistema geométrico sin esperar consecuencias negativas. Este error (error relativo) cometido por Kant, es natural y proviene de atribuir al espacio en su totalidad (allí estaba la clave de su supuesta euclidianidad) un comportamiento que es derivado de nuestra experiencia local de ese espacio.

Tercer período: Gauss y Lobachevski

Ha sido necesaria esta incursión en la epistemología kantiana por dos razones. La primera, para acercarnos al trabajo de este tercer período de las geometrías donde se dará una ruptura definitiva con la concepción empírica y racionalista de la geometría y que, además, abrirá la puerta a una reconceptualización del método axiomático en el campo de la matemática. La segunda razón es que la epistemología kantiana se constituyó en la antesala de la epistemología constructivista que corresponde a la ciencia contemporánea. En la última parte del trabajo trataremos este segundo punto.

Gauss (1777-1855) llegó a la universidad de Gotinga en 1795. Entonces, el trabajo de Klügel de 1763, en donde se examinaban alrededor de treinta intentos de demostración del quinto postulado, gozaba de la mayor estima entre los geómetras. La atmósfera era propicia para *dudar de la posibilidad de alcanzar una demostración dentro de los límites impuestos por el sistema axiomático de Euclides*.

En un trabajo publicado en la *Gottingischen gelehrte Anzeigen* en 1801, el astrónomo Seyffer escribió:

Es altamente improbable que se pueda demostrar esta proposición (el postulado de las paralelas) sin el auxilio de un nuevo postulado, basta tomar en consideración los esfuerzos realizados desde Ptolomeo

Kant falleció en 1804. Había ya señales de que el problema estaba siendo conceptualizado de manera distinta. Se ha conservado mucha de la correspondencia de Gauss en donde se ve cómo fue evolucionando su pensamiento y cómo éste permaneció siempre articulado con sus concepciones epistemológicas.

Hacia finales del siglo XVIII los puntos de vista dominantes sobre el espacio eran los de Kant y los de Newton.

En su obra *Principia*, Newton nos dice que no va a definir ni espacio, ni tiempo puesto que son de todos conocidos. Para él, el espacio «verdadero» coincide con el euclidiano. Dada su autoridad, la naturaleza euclidiana del espacio quedaba fuera de toda duda. Esto debió representar para Kant un fuerte apoyo a sus concepciones sobre el carácter necesario de la geometría euclidiana, y para Gauss y Lobachevski, un formidable obstáculo. Fue en esta atmósfera en la que debieron desarrollar su trabajo.

Si bien en sus inicios Gauss intentó demostrar el quinto postulado, pronto su pensamiento dio un giro y empezó a considerar, cuidadosamente, *la imposibilidad de una demostración dentro del marco del sistema axiomático*. Razonó así: la demostración del quinto postulado implicaba para los geómetras de generaciones anteriores, que un sistema lógicamente coherente garantizaba la naturaleza euclidiana del espacio. Pero esto no era posible en el marco estrictamente euclidiano pues, de acuerdo a la naturaleza de los objetos geométricos, tal como estos se construían en la epistemología aristotélica, había un control del objeto físico sobre el objeto matemático, no al revés. Si los geómetras, Saccheri incluido, habían supuesto que la prueba de consistencia implicaba la euclidianidad del espacio, era porque inconscientemente *habían cambiado las reglas del juego!*

Gauss hizo explícito este cambio de reglas. Separó el problema de la consistencia del sistema axiomático del problema de la naturaleza del espacio físico. Sabiendo que el postulado de las paralelas era equivalente al aserto: la suma de los ángulos interiores de un triángulo es 180 grados y, siendo consciente de la diferencia entre las propiedades locales y globales del espacio, calculó la suma de los ángulos del triángulo formado por las cimas de las montañas Brocken, Hohenhagen e Inselberg. Desafortunadamente, el error cometido en la medición estuvo dentro del rango del error experimental permitido por el problema; su «experimento» geométrico no fue concluyente. Gauss, a diferencia de Kant, pensaba que la decisión sobre la naturaleza del espacio físico no podía ser un *a priori*. Taurinus en 1824:

La hipótesis: «la suma de los ángulos de un triángulo es menor que 180 grados» da lugar a una geometría curiosa, muy diferente a la nuestra (la euclidiana) que he desarrollado a mi entera satisfacción, tanto que puedo, en ella, resolver cualquier problema excepto la determinación de una constante que no puede ser determinada *a priori*...los teoremas de esta geometría parecen paradójicos y hasta absurdos...pero calma, una reflexión sostenida revela que no contienen nada imposible. Por ejemplo,

los tres ángulos de un triángulo se hacen arbitrariamente pequeños si tomamos los lados suficientemente grandes, a pesar de lo cual el área permanece siempre acotada... No encuentro contradicciones en esta geometría no-euclidiana a pesar de todos mis esfuerzos...varias veces he expresado mi deseo de que la geometría euclidiana no fuera verdadera porque entonces tendríamos una unidad absoluta de longitud...

Uno de los resultados aparentemente absurdos se refiere a la fórmula mediante la cual calculamos el área de un triángulo. Suponer que por un punto externo a una recta pasa más de una paralela implica que, dado un triángulo cuyos ángulos miden (en grados) a , b , y c , su área es:

$$\text{área} = k(180 - (a+b+c))$$

donde k es una constante positiva que no se puede determinar a priori. Es claro de esta fórmula, que a diferencia de lo que ocurre con la geometría euclidiana, el área de los triángulos depende de la longitud de los lados así: a medida que aumenta la longitud de los lados, disminuyen los ángulos, y por lo tanto aumenta el área, pero *permanece siempre acotada*. Gauss tenía razón en pedirnos calma. El resultado es asombroso. Desde luego, esta situación no puede presentarse en la geometría euclidiana. Recordando a Wallis, él intentó demostrar el quinto postulado tomando como hipótesis adicional que en la geometría podían existir triángulos de área arbitrariamente grande. Su error consistió en usar una hipótesis que es propia de la geometría euclidiana (suponer válido lo que se quería demostrar) *como se explica a partir de la fórmula de Gauss*.

Sin duda que la ausencia de contradicciones en su desarrollo deductivo de la geometría no-euclidiana debió ser un aliciente para que Gauss continuara sus reflexiones sobre el tema que se prolongaron por más de cuarenta años.

La pregunta que siempre guió su pensamiento fue: *¿cuál es la geometría «verdadera»?* en donde «verdadera» se entendía como aquella que tenía capacidad de describir matemáticamente el espacio físico. Es importante leer esta pregunta de cara al resultado $\text{área} = k(180 - (a+b+c))$, que se origina en el dominio matemático y, a los esfuerzos de Gauss por darle un sustento experimental. Nos parece que esta es una aportación central de sus meditaciones sobre la fundamentación de la geometría. Su búsqueda, estuvo orientada a la consecución de un modelo geométrico que sirviera de organizador de *nuestra experiencia* geométrica, que Gauss no veía desvinculada de las capacidades cognoscitivas del ser humano. Veamos un texto de S. von

Waltershausen (agradezco al Prof. Bottazzini, de la Universidad de Palermo, haberme facilitado este texto), leído en su obituario:

«Gauss, de acuerdo a sus convicciones más profundas, que expresaba frecuentemente, consideraba la tridimensionalidad del espacio como una propiedad específica de la mente humana. Solía invitarnos a imaginar una especie que sólo estuviera consciente de dos dimensiones; quizá, añadía, 'los que se hallan sobre nosotros pueden vernos de la misma manera'...»

Es decir, no construimos nuestra noción de espacio como una mera abstracción de lo empírico, como hubiera querido Aristóteles, sino que en tal construcción está involucrado cómo conoce el ser humano.

Vale la pena aquí recordar al pensamiento de Poincaré sobre la estructura de la geometría. En 1902, en su obra, *La Ciencia y la Hipótesis* escribió:

Los axiomas de la geometría no son juicios a priori, ni hechos experimentales. Los axiomas son convenciones; nuestra elección, entre todas las posibles está guiada por los hechos experimentales; pero sigue siendo libre y sólo limitada por la necesidad de coherencia. Es así que los postulados pueden ser rigurosamente verdaderos (aquí Poincaré se refiere a la coherencia del sistema axiomático) aún cuando las leyes experimentales que han determinado su adopción sólo sean aproximadas.

Debe decirse, empero, que en 1902, Poincaré y muchos otros matemáticos seguían considerando la aritmética como fundada en una noción apriorística del número. Es decir, la refutación kantiana a manos de las geometrías no-euclidianas fue más bien, la explicitación de la necesidad de fijar límites precisos a su esfera de aplicabilidad. Para refutar plenamente a la epistemología kantiana fueron necesarios aún otros esfuerzos tanto en el campo del pensamiento científico como epistemológico.

El trabajo de Gauss no fue conocido sino hasta después que otros pioneros como Lobachevski, hicieron público el suyo. Sólo entonces, Gauss brindó su apoyo a la nueva geometría.

En 1835 Lobachevski escribió (*Nuovi Principi della Geometria*, Boringhieri, 1974):

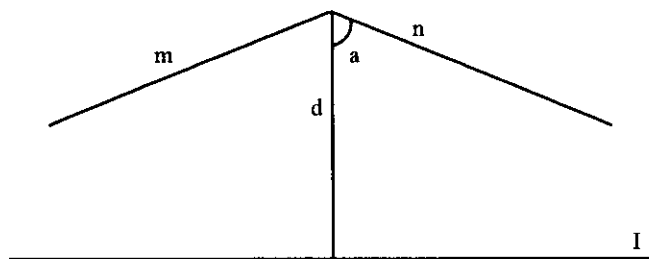
Es bien conocido que hasta la fecha, la teoría de las paralelas ha permanecido incompleta. Los esfuerzos infructuosos realizados desde los tiempos de Euclides hasta la fecha, a lo largo de más de dos mil años, me han llevado a la convicción de que los conceptos involucrados

en esta investigación no contienen la verdad de lo que se deseaba demostrar...convencido de mi conjetura escribí mis argumentos en 1826.

Un punto de vista semejante al de Gauss. Lobachevski no es sólo un lógico, también es un físico, un experimentador. El hecho que la «medición real» nos lleve a concluir la veracidad del teorema de Pitágoras y que la suma de los ángulos del triángulo es 180 grados, tan solo es una prueba de la concordancia de la geometría ordinaria con la experiencia ordinaria, dentro de los límites de la observación ordinaria, y no más allá de éstas. Por ejemplo, la suma de los ángulos de un triángulo puede diferir de 180 grados por una cantidad muy pequeña, insensible a las mediciones prácticas por precisas que estas sean. Pero las diferencias pueden hacerse ostensibles a medida que abandonamos la esfera de nuestra experiencia ordinaria. Esta reflexión llevó a Lobachevski a intentar la exploración empírica de la naturaleza del espacio físico mediante el cálculo de la suma de los ángulos del triángulo formado por la tierra, el sol y la estrella sirio. Desafortunadamente para sus propósitos, todavía a esta escala, las diferencias con respecto a los clásicos 180 grados resultaba despreciable.

Para Lobachevski, los principios geométricos no se derivan exclusivamente de la razón, con independencia de los objetos materiales. Los principios de una ciencia son el resultado último de la investigación, son resultado de un delicado proceso de abstracción. Todo su trabajo puede verse como inmerso dentro de un programa de sistematización de la investigación matemática. El elemento dialéctico de su obra se manifiesta en la toma de conciencia de la existencia de diferentes *esferas de validez* de las «leyes geométricas». La geometría euclidiana era, en este enfoque, la geometría práctica.

Lobachevski utilizó las fórmulas de la trigonometría hiperbólica como soporte de la coherencia lógica de su sistema geométrico. Bajo la hipótesis del ángulo agudo (es decir, que la suma de los ángulos de un triángulo es inferior a 180 grados), pudo demostrar que en la figura siguiente:



Si las rectas m y n son las paralelas a derecha e izquierda (en la geometría euclidiana el ángulo de paralelismo es recto y por lo tanto las rectas coinciden) entonces se cumple la siguiente relación fundamental:

$$\tan(a/2) = \exp(-d)$$

que muestra, analíticamente, la relación entre la unidad de medida angular y la unidad de medida de longitud. Ahora, a medida que d tiende a cero, el ángulo de paralelismo tiende a 90 grados, con lo cual queda establecido que la geometría euclidiana es un caso límite de la geometría no-euclidiana, y no algo desvinculado radicalmente de ella. Esta fórmula nos sirve para explicar y comprender, como queríamos en el título, por qué se tiene la impresión (que resulta muy práctica) que el espacio es euclidiano. Así es, porque nuestra experiencia es local, porque depende de nuestra estructura cognoscitiva y de su interacción con el espacio de nuestra experiencia. La explicación y la comprensión del fenómeno, sólo pueden provenir del modelo.

Una epistemología constructiva

Einstein, en su trabajo *Física y Realidad* (1936, Journal of Franklin Institute, vol. 221) después de un análisis manifiestamente epistemológico sobre la construcción del concepto de objeto y de espacio escribe:

Ahora nos damos cuenta, con especial claridad, qué tan erróneo es el punto de vista de aquellos teóricos que piensan que la teoría se extrae inductivamente de la experiencia.

Es decir, la ciencia no es búsqueda de esencias sino organización de la experiencia en modelos que permita la explicación y comprensión de fenómenos.

W. Heisenberg, por su parte, en su obra *La partie et le tout* (Flammarion, 1972) dice:

Pero en la física atómica, hemos aprendido que nuestras percepciones no pueden apoyarse en un modelo de la «cosa en sí»; [por ejemplo] no hay «átomo en sí». En la mecánica cuántica los resultados de nuestras percepciones no pueden ser objetivados de la misma manera que lo son en la física clásica.

Una de las enseñanzas epistemológicas que se extraen de la lectura de este extraordinario libro, consiste en el hecho que los conceptos que nos sirven para describir nuestra experiencia cotidiana tienen un dominio de aplicación limitado. Frente a términos como «objeto de la percepción», «simultáneo», «temperatura» etc. siempre

es posible imaginar situaciones, nos dice Heisenberg, en las cuales estos términos pierdan su significado habitual. Por ejemplo, *¿qué sería la temperatura de un átomo?*

A partir de la toma de conciencia sobre la diferencia entre el tipo de conocimiento que se produce en el interior de una organización matemática y el que se produce cuando tal organización funciona como modelo en las ciencias naturales, el desarrollo de la disciplina fue profundizando la ruptura con las posiciones «sustancialistas». La situación queda descrita en un espléndido texto de Courant, de su libro *¿Qué es la matemática?* (escrito con H. Robbins):

A través de los tiempos los matemáticos consideraron sus objetos--números, puntos etc.--como cosas substanciales en sí. Pero en vista de que aquellos desafiaban una descripción adecuada, los matemáticos del siglo pasado llegaron a la convicción de que el problema de la significación de dichos objetos como cosas substanciales no tenía sentido dentro de la matemática. Las únicas proposiciones relativas a ellos que importan son las que expresan las relaciones mutuas entre objetos indefinidos: su estructura y relaciones...la percepción de la necesidad de la desubstanciación de los objetos matemáticos ha sido uno de los resultados más fecundos del desarrollo axiomático moderno.

A lo largo de la historia de las ciencias, las posiciones epistemológicas siempre han consistido en dilucidar los papeles del sujeto cognoscente y del objeto de conocimiento en la relación

Sujeto <—————> Objeto

Las epistemologías empiristas privilegiaron siempre el papel desempeñado por el objeto (el conocimiento como copia) y las racionalistas el papel del sujeto. Nuestro análisis contiene elementos suficientes para establecer que el conocimiento se genera como resultado de la interacción. Pero, aún más, que cuando el sujeto se acerca al objeto no lo toma directamente (lo cual sería imposible) sino que lo interpreta. Para ello, pone en juego sus instrumentos asimiladores (sus estructuras cognoscitivas). En los términos felices de N. Hanson (*Patterns of Discovery*, Cambridge Univ. Press, 1965)

Toda observación está cargada de teoría

Si somos profanos, no vemos a través del microscopio lo que ve el biólogo; no captamos qué tan desafinado está un instrumento, cuando eso es obvio para el músico profesional. De modo que en la construcción del conocimiento, la observación estará guiada por lo que en ese momento son nuestras concepciones, nuestras estructuras cognoscitivas. La asimilación, la observación dependerán entonces del sujeto cognoscente.

Esta forma de ver el proceso de producción del conocimiento compromete de inmediato la manera tradicional de concebir la objetividad. Ahora, *la objetividad del conocimiento* se ve como resultado de la creciente actividad del sujeto cognoscente. Mediante la actividad de coordinación de puntos de vista, avanza en la construcción de dominios consensuales que le permiten la comunicación con los demás.

Hay una observación final que queremos hacer sobre la relación dialéctica entre el sujeto y su objeto de conocimiento. Cuando el sujeto asimila al objeto, esto quiere decir que lo incorpora a sus estructuras de conocimiento. Esta incorporación requiere, en mayor o menor grado, que el sujeto adapte, acomode estas estructuras de conocimiento a los contenidos del objeto asimilado. Y este proceso se realiza una y otra vez. Es decir, se realiza la dialéctica entre forma y contenido.

Jean Piaget, quien tematizó el análisis de los procesos de asimilación y acomodación, para la construcción del conocimiento lo ha dicho de modo inimitable: *el sujeto estructura al mundo al tiempo que estructura sus propias estructuras cognoscitivas.*

Estas son, a grandes rasgos, algunas de las ideas de la epistemología constructivista que fueron delineando Piaget y toda su escuela a lo largo de sesenta años. Epistemología que, ella misma, está en construcción permanente y que responde científicamente, a las exigencias correspondientes de la ciencia de hoy.

ANALISIS DE FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN LA DISTRIBUCION DE LOS SIMULIIDAE (DIPTERA: INSECTA) EN EL CONO AUSTRAL DE AMERICA DEL SUR

por

Sixto Coscarón¹, Ramiro Sarandón², Cecilia L. Coscarón-Arias³ y Edmundo Drago⁴

Resumen

Coscarón, S., R. Sarandón, C.L. Coscarón-Arias & E. Drago: Analisis de factores ambientales que influyen en la distribución de los simuliidae (diptera: insecta) en el cono austral de América del Sur. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **20**(78): 549-573, 1996. ISSN 0370-3908.

Se analizó la información disponible de 16 factores ambientales de 73 localidades correspondientes al Cono Sur de América (Brasil 2, Uruguay 1, Argentina 70), teniendo en cuenta además las especies presentes y las áreas de endemismo de Simuliidae. La información se ordenó en dos matrices de datos, una con 73 localidades y 19 variables y la otra con las localidades y las 39 especies halladas, las que fueron sometidas a un análisis multivariado similar: Análisis de Agrupamiento y A.C.P.; los resultados fueron complementarios basados en los datos biogeográficos y de habitat. La información fue volcada en mapas, resultando de la primera matriz 2 grandes grupos con 3 subgrupos cada uno y un pequeño tercer conjunto sin agrupar: el grupo **A** corresponde a la fauna tropical y subtropical que incluye el norte de Argentina, sudeste de Brasil y el oeste de Uruguay, el grupo **B** corresponde a la fauna austral y occidental, incluyendo Patagonia, Cuyo y las sierras Subandinas. Con la segunda matriz aparecen tres grupos bien diferenciados y un cuarto no agrupado: **A** en el nordeste y el área subtropical, **B** sobre el trópico occidental en el área de Yungas, que se extiende hacia el sur por el centro y el oeste sobre el área del Monte hasta el norte de Patagonia y sur de Pampas, y un grupo **C** sobre el suroeste en el área Subantártica. En síntesis se evidencia la presencia de dos faunas bien diferenciadas: una tropical y otra subantártica. La comparación entre los caracteres ecológicos y el de áreas de endemismo de especies de *Simulium* muestran una gran concordancia. Se hizo un análisis de cada uno de los factores ambientales y la distribución de las especies tratando de inferir la influencia de cada factor en la presencia de las

¹ Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina.

² LASBE, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Comahue, Cinco Saltos, Río Negro. Argentina

⁴ INALI, Santo Tomé, Santa Fé. Argentina.

especies. Con base en el análisis de resultados obtenidos se expone la hipótesis sobre una posible expansión de especies de importancia sanitaria en el área estudiada.

Palabras claves: Factores ambientales Distribución Simúlidos neotropicales.

Abstract

Ambiental factors and their relationships with the Simuliidae (Diptera: Insecta) distribution in the Austral cone of South America

Sixteen physico-chemical factors of immature stages breeding places of 73 localities from of Southern South America (Brazil 2, Uruguay 1 and Argentina 70) were analyzed considering also the species and endemism areas of Simuliidae species. Two data matrix with 73 localities and 19 variables and 39 species respectively were submitted to multivariate similar analysis: Cluster Analysis and P.C.A.; complementary results were obtained based on biogeographic and habitat data. Information overlapped on maps, gave with the first data matrix two big groups with three subgroups each one and a small third conjunct without grouping: the **A** group corresponding to the tropical and subtropical faune that includes northern of Argentina, south-eastern of Brazil and western of Uruguay areas, and the **B** group corresponding to the austral and occidental faune including Patagonia and Cuyo subandean mountains. Through the second matrix appear three groups well differentiated and another fourth not grouped: **A** on the lower tropic area of north-eastern, **B** on higher occidental tropic on Yungas realm that extend to the south by the center and west over Monte area until northern Patagonia and southern Pampas and **C** group on south-western on Subantarctic realm. In synthesis, is evident the presence of two well differentiated faunes: one tropical another subantarctic. The comparison between ecological characters and endemism areas of *Simulium* species shows a great concordance. An analysis of each environmental factor and distribution of simuliids is made trying to infer the influence of each factor on the species presence. Based on the analyzed information we expose an hypothetic possible future increment areas of distribution of sanitary importance species.

Key Words: Habitat factors Distribution Neotropical blackflies.

Introducción

La distribución geográfica de especies, géneros o taxa de rango superior, está determinada tanto por factores históricos como ecológicos (Begon *et al*, 1986). La ausencia de una especie en una localidad puede deberse tanto a fenómenos biogeográficos o históricos (i.e., la especie se ha extinguido de ese sitio, nunca lo colonizó o aún no ha llegado) como a factores ecológicos (i.e., las características físico-químicas o biológicas del habitat no son propicias para la supervivencia de la especie en cuestión). Por otro lado, la presencia de una especie en una localidad dada, implica que las condiciones ecológicas son propicias para la supervivencia de la misma.

El análisis de las características ecológicas de los hábitats en los que se encuentra una especie, puede ser útil para predecir la futura distribución de las especies en sitios en los cuales la especie está ausente y hacia los cuales puede, eventualmente, dispersarse. Este ejercicio intelectual es oportuno en relación a la predicción de las

consecuencias ecológicas de las transformaciones que, a distintas escalas espaciales y temporales, está ocasionando el ser humano en el medio; entre ellas la ampliación o modificación de la distribución de especies perjudiciales (Drake, 1989).

Los Simúlidos son insectos hematófagos, algunas de cuyas especies son bien conocidas por las molestias que ocasionan por sus picaduras que pueden llegar a producir reacciones alérgicas serias. Algunas de ellas son reconocidas por ser vectores de parásitos del hombre y animales domésticos, como la oncocercosis. Los simúlidos presentan una fase larval que vive en el agua corriente (ríos y arroyos) y una fase adulta que es terrestre o aérea. De este modo, los adultos están influenciados por factores relacionados con la alimentación, apareamiento y selección de sitios de postura, mientras que los estadios preimaginales dependen de las características físico-químicas de los cursos de agua en los cuales habitan. El estudio de los factores físico-químicos de los cuerpos de agua en África, ha permitido establecer distintos grupos

de habitats con base en las especies del complejo *Simulium damnosum* que crían en los cursos analizados (Grunewald, 1976).

En la región Neotropical es muy escasa la información sobre los criaderos de especies de simúlidos, entre ellos contamos con la información de **Dalmat** (1955) para el área oncocercósica de Guatemala, de **Dellome** (1983) y **Hamada** (1989) para Amazonia. En el Cono Sur de América, los únicos datos corresponden a **Dellome** (1991) e **Itebere da Cunha** (1995) para el sureste de Brasil y de **Coscarón-Arias** (1989 y 1994) para la región de los bosques subandinos y norte de la Patagonia.

En este trabajo se analizan los factores ambientales que afectan la distribución de especies de simúlidos en el Cono Sur de América. Para ello se ha recopilado información sobre las características físico-químicas de los cuerpos de agua en los cuales se han muestreado diversas especies de simúlidos. Sobre esta información se han realizado distintos análisis tendientes a:

1) Establecer afinidades entre las localidades en función de las características ecológicas del hábitat y de las especies de Simúlidos presentes.

2) Analizar los factores ambientales determinantes de la distribución de especies de simuliidae y establecer grupos de especies con una distribución similar; y

3) Evaluar el patrón de distribución geográfica actual y potencial de especies de importancia sanitaria.

Materiales y Métodos

I Recolección de especímenes y toma de datos

Se recolectaron larvas y pupas de simúlidos en 73 localidades correspondientes a Brasil (2), Uruguay (1) y Argentina (70); abarcando las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Santa Fé, Buenos Aires, Jujuy, Salta, Tucumán, Córdoba, San Juan, Mendoza, Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego (**Tabla 1**). Los especímenes de simúlidos encontrados en cada localidad fueron identificados a nivel de especie (**Tabla 2**).

Para cada localidad, se consignaron datos referidos a su ubicación geográfica, aspectos del hábitat en donde fueron encontrados y características físico-químicas del agua (**Tabla 3**).

El material faunístico proviene de la información obtenida por **Coscarón-Arias** (1989 y 1994), **Coscarón**

(1991) e **Itebere da Cunha** (1995), y de datos recientes de los primeros autores aún no publicada, correspondientes a los lugares en donde se tienen datos ambientales.

Los datos químicos de las aguas provienen de ambientes lóticos cuyos números están aclarados en **Tabla 1**. Los datos químicos de los ambientes 2, 3, 4, 7, 9, 11, 15, 22, 53, 54, 57-62 y 65-69, corresponden al promedio de muestreos mensuales realizados por períodos que abarcan un mínimo de 2 años; los restantes corresponden a medias de valores obtenidos en períodos de crecientes o bajantes o a una sola muestra. Los valores de temperatura y velocidad del agua que no corresponden a muestreos bianuales, son estimativos de medias anuales.

La información correspondiente a áreas de endemismo, se basó en el trabajo de **Coscarón y Coscarón-Arias** (1995). Los datos sobre las especies características de cada área de endemismo que van entre paréntesis corresponden a especies presentes pero no frecuentes como son las que se citan al comenzar esa información.

II Análisis de los datos

Con la información obtenida en el campo (**Anexo I**) se organizaron 2 matrices básicas de datos (MBD):

1) MBD1: Matriz de 73 localidades por 19 variables incluyendo datos de origen (región biogeográfica, provincia, etc.); datos físico-químicos del agua y diversidad de Simúlidos (Nº de especies encontradas).

2) MBD2: Matriz de 73 localidades por 39 especies, los datos son de presencia (1) o ausencia (0) de cada especie de simúlido en cada localidad (**Tabla 3**).

Ambas matrices fueron sometidas a un análisis multivariado similar, incluyendo: a) Análisis de Agrupamiento (Cluster Analysis) y b) Análisis de Componentes Principales (PCA ó ACP). (**Crisci y L. Armengol**, 1982). El programa utilizado para el análisis de datos fue el NTSYS-PC versión 1.6 (**Rohlf**, 1989).

En el primer caso (MBD1), y a fin de homogeneizar el rango de variación entre variables, la MBD fue estandarizada por caracteres. Sobre esta matriz estandarizada o sobre la MBD2, se calculó un índice de similitud (Taxonomic Distance o Jaccard, respectivamente; **Rohlf**, 1989) entre cada par de localidades, obteniéndose una matriz de distancia o similitud (73×73), de la cual se obtuvo el fenograma de distancia o similitud entre localidades (utilizando el algoritmo UPGMA). Finalmente, y con el objeto de estimar la distorsión producida por la técnica de agrupamiento, se calculó el coeficiente de

LOC	BIO	VEL	ANC	TUR	ALTIT	TEMPE	pH	CONDUCT	SDT	CO3=	CO3H-	Cl-	SO4=	Ca++	Mg++	Na+	K+	ESPECIES
					s.n.m.	°C		μ S/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
1	SB	2	2	1	400		7,2			0	27,9	5,7	0,7	5,3	1,9	3,2	1,2	inc.ina.par.sub.
2	SB	2	3	3	800	19	7	69,4				1,75	2,5	5,7	3,2			aca.sub.ina.orb.per.inc.dis fla.
3	SB	2	2	1	100	21,5	6,8	22,6				2,6	2,1	1	0,4			inc.per.sbc.ina.rom fla.sub.orb.
4	PM	2	1	3	80	21,9	7,3	42,9	34,6	3,9	26	2,8	2,8	4,5	2,6	2,5	1,5	cun.cha.aur.min.orb.
5	PM	2	1	3	60	21,8	7,5	87,8	63,5	0	35,9	4	4,5	7,4	1,8	5	2,1	cuneatum
6	PM	2	1	3	60		7,8	53,6	48	0	27,9	5,7	0,7	5,3	1,9	3,2	1,2	cuneatum,pertinax,orbitale
7	CE	2	1	3	100	23,2	7,4	111,4	76,7	5,7	35,3	16,5	6,3	6,9	3,5	11,3	2,4	cuneatum
8	CE	1	3	3	70	22	8,16	5997	3341	0	233,4	1507	440	150	108	902	5,6	perflavum,aupellitum
9	CE	2	3	3	65	22	6,56	195	160,3	0	64,1	16,5	36,4	5,1	4,2	27,4	6,6	chaquense
10	CE	1	3	3	70	21,5	7,4	89	71			11,8	7,5	4	1	13,8	3	chaquense
11	CE	2	3	3	60	21	8,23	361	268			33,3	20	28,3	9,9	31,6	7,3	chaquense
12	CE	1	3	3	60	21	7,27	240	159,4	0	73,2	31,8	12,3	12	6,9	22,3	4,1	chaquense,aupellitum
13	CE	2	2	2	150	18,5	8	532	486		184,9	54,5	87,2	39	11	100	9,5	chaquense, n.sp.
14	CE	2	2	3	120	18,5	8,13					401,3		72,1	28,3			chaquense
15	CE	2	3	2	100	19	8,1	4572	3304	12,9	264	1251,3	603	73	51,6	1017,3	29,3	chaquense
16	PM	1	2	2	60	18			137	0	281	3,4	3,4	45	10,2	33	1,8	aupellitum,subnigrum,pertinax
17	PM	1	2	3	60	20			16,3	0	15,1	21,3	3,8	4,8	1,6	17,6	1	delponteianum
18	PM	2	3	2	60	17	7,58	206	181		138,7	0,3	5	17,5	7	28,7	3,6	delponteianum
19	PM	2	4	3	50	17	6,94	127	126		48,7	0,3	1	11	4,5	10,3	3,7	acarayense
20	PM	2	3	2	50	17	7,27	284	237		171,6	3,1	5	30,7	10,1	28	3,7	delponteianum
21	PM	2	1	1	100	17	7,7											aupellitum,acarayense
22	PM	2	3	3	20	16,5	8,31	?	3300	0	7,3	28,6	7,3	1,7	4,5	40	0,7	delponteianum
23	PM	2	2	2	20	17,8	8,3	1310	1000	0	522,7	173,5	143,4	30,1	18,4	271,4	9,8	bonaerense,orbitale
24	PM	2	3	1	100	16	8,2	146	208,3	0	144,2	6,4	6,3	21,2	4,6	25	0,6	bonaerense,wolffhuegeli
25	PM	2	3	1	60	16	8,4	427	412,5	0	237,9	36,7	13,2	32,6	7,4	80	4,7	bonaerense,wolffhuegeli
26	PM	2	3	1	200	16	8	156	192,4		125	6,4	3,9	27,7	4,9	23,3	1,2	bonaerense,wolffhuegeli
27	MO	3	3	1	1000	16	8,9	615	512	24,5	278,5	24,3	40	46,5	14,3	98,3	5,6	wolffhuegeli,lahillei
28	MO	2	3	1	750	17,5	7,84	579	423	0	380,7	16	19	37,5	13,8	93,3	6,2	wolffhuegeli,lahillei
29	MO	3	2	1	700	17,5	6,75	362	170	0	44,7	16	6	6,5	1,6	5,2	0,8	wolffhuegeli,lahillei
30	MO	2	3	1	750	17,5	6,75	58	93	0	39,8	0,6	3,5	4,9	0,4	16,7	0,4	lahillei,wolffhuegeli
31	MO	2	3	1	400	16	7,6	417	278	0	276,6	80	5	61,1	11,8	26,7	11,2	wolffhuegeli,lahillei,jujuyense
32	MO	3	3	1	550	16	7,3	76	58,5	0	43,5	1,6	3,5	8	2,4	4,7	1,6	lahillei,wolffhuegeli
33	MO	3	3	1	1600	14	6,82	255	162	0	158,8	8,1	8	26,1	5,8	43,3	5	wolffhuegeli,lahillei,jujuyense
34	MO	2	2	1	900	17	6,94	254	191	0	97,4	16,9	12	15,5	5,5	41,7	2,4	wolffhuegeli,lahillei
35	YU	2	2	1	300	20,5		173	119	0	80	33,3	14,3	15	5,9	12,7	2,1	exiguum
36	YU	2	3	1	350	21	7,9	563	457	0	246,3	31,5	97	51	23,7	66,3	6,9	exiguum,wolffhuegeli,seriatum
37	YU	2	3	1	350	21	8		354	0	190,3	18	55	48	6	43	0	rom.wol.juj.exi.
38	YU	2	3	1	450	19,5	7,86	830	909	0	291,8	15,3	121	157,7	38,3	56,7	4,7	romanai,lahillei,rubritorax

39	YU	3	3	1	650	19,5	8,55	256	263	14,5	139,8	8,7	3	39	11,4	15,3	2,2	romanai, lahillei
40	YU	2	3	1	450	19	8,6	1200	1059	14,5	122,6	153,6	138	125,5	36,5	160	6,8	romanai, wolffhuegeli, jujuyense
41	YU	2	1	3	300	19	8,35	324	494	1,8	117,7	11,5	30	31,8	9,7	110	4,2	n.sp.
42	PU	2	3	1	3000	?	8,2		2490	0	192	1110	215	94	24	740	32	prodexargenteum
43	PU	2	2	1	3350	9	7,9	438		0	54	23,1		63,4	7			diamantinum
44	PA	2	2	1	700	18	8		1030	100	0	326	234	108	17	226	0	jujuyense
45	PA	2	2	2	800	18	8,2		345	0	126	26	122	66	7	33	0	jujuyense, wolffhuegeli, barbatipes
46	PA	2	2	2	1200	12	8,2		126	0	42,7	1	47	25	4	4	0	barbatipes, jujuyense
47	PA	2	2	2	1000	10	8		540	0	96	44	170	112	11	27	0	jujuyense, wolffhuegeli, barbatipes
48	PA	3	4	1	2000		7,6	170		3,6	38,6	23,8		17,3	5,5			barbatipes
49	PA	3	4	1	1500		7,4	1721		15,4	236,6	134,7		174,7	128,7			wolffhuegeli, simile, barbatipes
50	PA	2	2	3	600	16	8		870	0	135	172	273	124	14	124	0	wolffhuegeli
51	PA	2	3	1	450	16	7,75	1047		3,6	74,6	115,5		57,6	468			wolffhuegeli, jujuyense
52	PA	3	2	2	1500	11		535	475	0	92,4	101	131,3	62	7,4	77	4,1	annulatum
53	PA	2	1	1	265	15	8	18,3		5,5	59	21,4		26,2	3,4	58,5	1,2	wolffhuegeli, bonaerense, bachmanni
54	PA	2	3	1	300	14,7		295		0	94,4	24,1	22	32,8	5,9	40	1,8	wolffhuegeli, bonaerense
55	PA	2	3	1	260	15	6,85	248		24,5	57,6	34,7		25	3,5			wolffhuegeli, bonaerense
56	PA	2	3	1	240	15	7,05	1116		26,4	205,7	79,2		79,7	28,6			bonaerense, wolffhuegeli
57	PA	2	1	1	185	13,7	7,8	28,1		9,2		14,5	46,6	19,1	3,3			wolffhuegeli, bonaerense, bachmanni
58	PA	2	1	1	176	14,7	8	29,6		3		15,7	54,8	20	2,8			bachmanni, bonaerense, wolffhuegeli
59	PA	2	1	1	175	15,4	8	34		8,1		18,4	54,9	21,6	1			bonaerense, wolffhuegeli, bachmanni
60	PA	1	3	1	175	15,8	8,2	48,7		10,6		25,4	72,8	24,3	6,2			bonaerense, wolffhuegeli
61	PA	2	3	1	176	16	7,9	47,7		4,3	146,6	68,2		57,3	10,5			bonaerense, wolffhuegeli
62	PA	1	3	1	180	14	7,8	60,7		10		41,3	70	37,4	6,3			bonaerense, wolffhuegeli
63	PA	2	3		192	13		1450	1015	0	342	79	346	53	36	164	0,2	jujuyense, stelliferum, G. chilensis
64	PA	1	2	1	300	9	7,4	43,4	40	0	20,4	1,1	2	4,6	0,9	1,1	0,5	pichi
65	SU	2	1	1	700	10		54	47,7	0	34,1	0,5	1	6	1,9	3,5	0,9	limay
66	SU	3	3	1	800	6,5	7,23	70,2	105,6	33,2	39,7	2	3,1	23,8	14,1	3,6	1,9	limay, C. dissimilis, G. chilensis
67	SU	3	3	1	830	6,6	7,17	49,3	123,1	29,3	35,8	0,8	2,2	15,7	11,7	3,1	1,5	limay, C. dissimilis, G. marginalis
68	SU	3	3	1	750	7,2	7,45	55,2	98,7	32,5	39,7	0,9	2,8	21,8	9,8	3,2	2,1	C. dissimilis, G. chilensis, mar. ful.
69	SU	3	4	1	1300	7,4	7,36	18,4	125	31,7	38,7	0,9	1,7	20,7	11,2	0,8	0,4	G. marginalis, fulvescens, rufescens
70	SU	2	1	1	600			37	30,5	0	24,4	1,1	4,3	4,6	2,4	2	0,4	limay
71	SU	2	2	1	500			200	140	0	110	8	5	23	7	10	0	limay, bachmanni
72	SU	2	3	1	100	8	7,1	100	65	0	26,4	12	11	7	1,8	6,4	0,5	deagostini
73	SU	2	3	1	150	8	7,3	80	57	0	28,8	6	7	9,6	1,4	3,6	0,2	deagostini

Tabla 1: Lista de Localidades

- 1 Misiones, Ao. Piray Guazú, s/ruta nac. 12. (**Drago**, inf. pers.)
- 2 BRASIL, Paraná, Campo Largo, Ao. Cachoerinha. (**Itebere da Cunha**, 1995)
- 3 BRASIL, Paraná, Morretes, río São João. (**Itebere da Cunha**, 1995)
- 4 Corrientes, Corrientes, río Paraná, Puente Gral. Belgrano. (**Bonetto y Lancelle**, 1981)
- 5 Entre Ríos, Paraná, río Paraná. (**Drago**, inf. pers.)
- 6 Corrientes, Paso de los Libres, río Uruguay. (**Drago**, inf. pers.)
- 7 Formosa, Formosa, río Paraguay. (**Bonetto y Lancelle**, 1981)
- 8 Formosa, Ao. He He Grande, s/ruta nac. 11. (**Drago**, inf. pers.)
- 9 Formosa, riacho Pilagá, s/ruta nac. 11. (**Menni et al.**, 1992)
- 10 Formosa, Ao. San Hilario, s/ruta nac. 11. (**Menni et al.**, 1992)
- 11 Chaco, Ao. Guaycurú, s/ruta nac. 11. (**Lancelle et al.**, 1986)
- 12 Chaco, río Negro, s/ruta nac. 11. (**Lancelle et al.**, 1986)
- 13 Santiago del Estero, Río Hondo, río Dulce. (**Casciotta et al.**, 1989)
- 14 Santiago del Estero, Añatuya, río Salado. (**Casciotta et al.**, 1989)
- 15 Santa Fé, río Salado entre San Cristobal y San Justo, s/ruta prov. 2. (**Maglianesi y Depetris**, 1970)
- 16 Corrientes, río Mocoretá, s/ruta prov. 127. (**Drago**, inf. pers.)
- 17 Corrientes, Paso Lopez, río Corrientes, s/ruta prov. 24. (**Drago**, inf. pers.)
- 18 Entre Ríos, Aldea San Gregorio, Ao. Concepción, s/ruta nac. 14. (**López et al.**, 1984).
- 19 Entre Ríos, Colón, Ao. El Borracho, s/ruta nac. 14. (**López et al.**, 1984).
- 20 Entre Ríos, Colonia Hughes, Ao. El Pelado, s/ruta nac. 14. (**López et al.**, 1984).
- 21 URUGUAY, Salto, Ao. San Antonio Grande. (**Marino**, inf. pers.)
- 22 Buenos Aires, Brandsen, río Samborombón, s/ruta prov. 29. (**Conzonno y Fernandez**, 1991)
- 23 Buenos Aires, Necochea, Estación Piscicultura, río Quequén Grande. (**Coscarón**, inédito)
- 24 Buenos Aires, Sierra de la Ventana, Ao. Las Tunas, s/ruta prov. 76. (**Menni et al.**, 1988)
- 25 Buenos Aires, Sierra de la Ventana, Ao. innominado, s/ruta prov. 76. (**Menni et al.**, 1988)
- 26 Buenos Aires, Cabildo, Ao. Napostá Chico, s/ruta prov. 51. (**Menni et al.**, 1988)
- 27 Córdoba, Villa Giardino, Ao. Villa Giardino, s/ruta prov. 38. (**Menni et al.**, 1984)
- 28 Córdoba, Huerta Grande, Ao. Piedras Grandes, s/ruta prov. 38. (**Menni et al.**, 1984)
- 29 Córdoba, Cosquín, Ao. Yuspe (= Cosquín), s/ruta prov. 38. (**Menni et al.**, 1984)
- 30 Córdoba, Tanti, Ao. Las Vacas. (**Menni et al.**, 1984)
- 31 Córdoba, Río Tercero, Ao. Las Vacas, s/ruta prov. 36. (**Menni et al.**, 1984).
- 32 Córdoba, Villa Río Grande, río Grande. (**Drago**, inf. pers.)
- 33 Córdoba, Pampa de Achala, Copina, Ao. de la Suela, s/ruta prov. 14. (**Menni et al.**, 1984)
- 34 Córdoba, Villa Cura Brochero, río Panaholma, s/ruta prov. 15. (**Menni et al.**, 1984)
- 35 Salta, Aguas Blancas, río Bermejo. (**Drago**, inf. pers.)
- 36 Jujuy, Caimancito, río San Francisco, s/ruta nac. 34. (**Drago**, inf. pers.)

- 37 Salta, El Galpón, río Juramento. (Drago, inf. pers.)
- 38 Tucumán, Balneario, río Calera. (Miquelarena *et al.*, 1990)
- 39 Tucumán, prox. a Siambon, río Tapia o Siambon, s/ruta prov. 341. (Miquelarena *et al.*, 1990)
- 40 Tucumán, río Las Tipas, s/ruta nac. 9. (Miquelarena *et al.*, 1990)
- 41 Tucumán, La Madrid, río Marapa, s/ruta nac. 157. (Miquelarena *et al.*, 1990)
- 42 Salta, Salar Pastos Grandes, Ao. Sijes. (Drago, inf. pers.)
- 43 Mendoza, Laguna Diamante, río Diamante, Paso Maipo. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 44 San Juan, Jachal, río Jachal. (Drago, inf. pers.)
- 45 San Juan, San Juan, río San Juan. (Drago, inf. pers.)
- 46 Mendoza, Potrerillos, río Blanco. (Drago, inf. pers.)
- 47 Mendoza, Confluencia ríos Blanco y Mendoza, s/ruta nac. 7. (Drago, inf. pers.)
- 48 Mendoza, Ao. Cruz del Eje, s/ruta prov. 98. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 49 Mendoza, Ao. Yaucha, s/ruta nac. 40. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 50 Mendoza, San Rafael, río Diamante. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 51 Mendoza, San Rafael, acequia del río Atuel. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 52 Mendoza, río Barrancas, s/ruta nac. 40. (Drago, inf. pers.)
- 53 Neuquén, Neuquén, río Neuquén. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 54 Río Negro, Cinco Saltos, Arroyón. (Conzonno *et al.*, 1981)
- 55 Río Negro, Gral. Fernandez Oro, canal de riego secundario. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 56 Río Negro, Calte. Guerrico, desagüe de drenaje riego, s/ruta nac. 22. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 57 Río Negro, Chimpay, río Negro. (Coscarón-Arias, inf. pers.)
- 58 Río Negro, Choele Choel, río Negro. (Coscarón-Arias, 1994)
- 59 Río Negro, Pomona, brazo río Negro, s/ruta prov. 250. (Coscarón-Arias, 1994)
- 60 Río Negro, Lamarque, brazo río Negro. (Coscarón-Arias, 1994)
- 61 Río Negro, Lamarque, Desagüe de drenaje de riego. (Coscarón-Arias, 1994)
- 62 Río Negro, Darwin, Ao. Salado. (Coscarón-Arias, 1994)
- 63 Río Negro, Valcheta, Ao. Valcheta. (Drago, inf. pers.)
- 64 Santa Cruz, río Santa Cruz, ruta nac. 40. (Drago, inf. pers.)
- 65 Neuquén, Alicurá, río Limay. (Mariazzi *et al.*, 1991)
- 66 Neuquén, San Martín de los Andes, Ao. Quiltrahue. (Coscarón-Arias, 1989)
- 67 Neuquén, San Martín de los Andes, Ao. Chapelco Grande. (Coscarón-Arias, 1989)
- 68 Neuquén, San Martín de los Andes, Ao. Yuco. (Coscarón-Arias, 1989)
- 69 Neuquén, San Martín de los Andes, Ao. Telesilla. (Coscarón-Arias, 1989)
- 70 Neuquén, Confluencia, río Traful. (Drago, inf. pers.)
- 71 Chubut, Tecka, río Tecka, s/ruta nac.40. (Drago, inf. pers.)
- 72 Tierra del Fuego, Est. Marina, Ao. de la Turba. (Drago, inf. pers.)
- 73 Tierra del Fuego, Est. San Julio, Ao. Grande. (Drago, inf. pers.)

Tabla 2: Lista de las 39 especies de Simuliidae encontradas, se indica géneros, subgéneros, especies y abreviaturas utilizadas en tablas y resultados.

Género	Subgénero	Especies	Abreviaturas
<i>Cnesia</i>		<i>C. dissimilis</i>	CDI
<i>Gigantodax</i>		<i>G. chilensis</i>	CHI
		<i>G. fulvescens</i>	FUL
		<i>G. marginalis</i>	MAR
		<i>G. rufescens</i>	RUF
<i>Simulium</i>	<i>Cerqueirellum (C)</i>	<i>S. cuneatum</i>	CUN
		<i>S. chaquense</i>	CHA
		<i>S. delponteianum</i>	DEL
		<i>S. minusculum</i>	MIN
		<i>S. A n. sp.</i>	NUE
	<i>Chirostilbia (Ch)</i>	<i>S. acarayense</i>	ACA
		<i>S. distinctum</i>	DIS
		<i>S. pertinax</i>	PER
	<i>Ectemnaspis (E)</i>	<i>S. perflavum</i>	FLA
		<i>S. romanai</i>	ROM
		<i>S. rubiginosum</i>	RUB
		<i>S. wolffhuegeli</i>	WOL
	<i>Grenieriella (G)</i>	<i>S. lahillei</i>	LAH
	<i>Hemicnetha (H)</i>	<i>S. seriatum</i>	SER
	<i>Inaequalium (I)</i>	<i>S. inaequale</i>	INA
		<i>S. subclavibranchium</i>	SBC
		<i>S. subnigrum</i>	SUB
	<i>Notolepria (N)</i>	<i>S. exiguum</i>	EXI
		<i>S. paraguayense</i>	PAR
	<i>Psaroniocompsa (Ps)</i>	<i>S. auripellitum</i>	AUR
		<i>S. bonaerense</i>	BON
		<i>S. incrustatum</i>	INC
		<i>S. jujuyense</i>	JUJ
	<i>Pternaspatha (Pt)</i>	<i>S. annulatum</i>	ANU
		<i>S. bachmanni</i>	BAC
		<i>S. barbatipes</i>	BAR
		<i>S. deagostinii</i>	DEA
		<i>S. diamantinum</i>	DIA
		<i>S. limay</i>	LIM
		<i>S. pichi</i>	PIC
		<i>S. prodexargenteum</i>	PRO
		<i>S. simile</i>	SIM
		<i>S. stelliferum</i>	STE
	<i>Thyrsopeima (T)</i>	<i>S. orbitale</i>	ORB

Tabla 3: Lista de variables utilizadas en el análisis de los datos. Se indica la abreviatura utilizada en tablas y figuras.

1) PROVIN:	Provincia política de la R. Argentina.
2) BIOG:	Area de endemismo de Simuliidae:
	SB: Sierras del Sudeste de Brasil
	PM: Pampas
	YU: Yungas
	PU: Puna
	MO: Monte
	PA: Patagonia
	SU: Subantártica
	CE: Cerrado
3) VEL:	Velocidad de la corriente:
	1) Lenta (menor de 0,25 m/s)
	2) Mediana (entre 0,26 y 1,0 m/s)
	3) Torrenciosa (superior a 1 m/s)
4) RIO:	Importancia del río:
	1) Ríos grandes (más de 50 m de ancho)
	2) Ríos pequeños (entre 11 y 50 m de ancho)
	3) Arroyo (entre 1 y 10 m de ancho)
	4) Chorrillos (menos de 1m de ancho)
5) TUR:	Turbiedad estimada (estimado):
	1) Aguas cristalinas
	2) Lechosas
	3) Turbias (Nefelometría entre 40 y 150 NTU)
6) ALTIT:	Altura sobre el nivel del mar (en metros)
7) TEMPE:	Temperatura media (°C)
8) pH:	pH
9) CONDUC:	Conductividad (μ S/cm)
10) SDT:	Sólidos disueltos totales (mg/L)
11) CARBON:	Carbonatos (CO_3^{2-}) (mg/L)
12) BICAR:	Bicarbonatos (CO_3H^-) (mg/L)
13) CL:	Cloruros (Cl^-) (mg/L)
14) SULFA:	Sulfatos (SO_4^{2-}) (mg/L)
15) CALCIO:	Calcio (Ca^{++}) (mg/L)
16) MAGNE:	Magnesio (Mg^{++}) (mg/L)
17) SODIO:	Sodio (Na^+) (mg/L)
18) POTASIO:	Potasio (K^+) (mg/L)
19) DIVER:	Diversidad específica de simúlidos (n° de especies por localidad)

relación cofenética (CCC) entre la matriz de distancia o similitud y el fenograma respectivo. Del mismo modo se obtuvo una matriz de correlación (momento producto) o similitud (Jaccard) entre variables (19×19 ó 39×39 respectivamente), de la que se obtuvo un fenograma de correlación o similitud entre variables, en ambos casos con su correspondiente CCC.

Para el análisis de componentes principales (ACP) se partió de la matriz de correlación entre variables (19×19), y se obtuvieron los vectores y valores propios de la matriz (a través de un eigenanálisis). Sobre la matriz de vectores propios se proyectó la matriz estandarizada a fin de obtener los nuevos ejes utilizados para la generación de los gráficos de dispersión de localidades. De la matriz de vectores propios se obtuvieron los pesos relativos de las variables en cada componente principal; del mismo modo, y a partir de la matriz de valores propios, se calculó el porcentaje de variación explicado por cada componente principal.

Resultados

La estrategia de análisis de los datos, permite evaluar la similitud entre localidades en función de las condiciones ambientales que definen el hábitat en cada localidad muestreada (MBD1) y la composición específica de la taxocenosis de especies de la familia Simuliidae (MBD2). A continuación se presentan los resultados del análisis de cada una de estas matrices.

i) *Análisis de las afinidades entre localidades en función de las características del hábitat (Matriz Básica de Datos 1).*

Del análisis de agrupamientos de la MBD1 (73 localidades por 19 variables), que incluye datos de origen (región biogeográfica, provincia, etc.), parámetros físico-químicos del agua y diversidad de simúlidos (N° de especies encontradas) surgen 2 grandes grupos (A y B), con 3 subgrupos cada uno; y un tercer conjunto de localidades sin agrupar (C), en el que pueden identificarse algunos pares de localidades con fuertes afinidades entre sí (Tabla 4).

Los grupos A y B son relativamente homogéneos y constantes mostrando un claro patrón de distribución geográfica (Fig. 1a). El grupo A corresponde a toda la región norte y noreste del país, reconociéndose algunos subgrupos como el A₁ que corresponde a Misiones y Uruguay; A₂, Mesopotamia-Chaco ó el A₃, formado por 4 subconjuntos que corresponden a la zona este de la Mesopotamia adyacente al

Uruguay (localidades 16, 18 y 20); Noroeste (35, 36, 37 y 39); Centro (27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 y 34) y Sa. de la Ventana (24, 25 y 26). El grupo B corresponde al centro oeste y sur de la Argentina, reconociéndose el subgrupo B₁ (Cuyo), el B₂ (Comahue y Patagonia) y el B₃ (Subantártico). En todos los casos pueden identificarse especies propias de cada uno de los grupos y subgrupos (Tabla 4). El grupo C reúne casos fuera de las series A y B (constituyendo casos extremos).

La distribución de las localidades en el ACP (Fig. 1b), permite visualizar un agrupamiento de las localidades hacia la derecha (valores positivos del CP I), quedando las localidades 8, 15 y 42 (C₃) aisladas del resto. Este agrupamiento, puede relacionarse con las características del hábitat consideradas en el análisis, ya que ellas tienen un peso diferencial en cada uno de los componentes principales (Tabla 5). Por ejemplo, las localidades 8, 15 y 42 (C₃) se caracterizan por presentar altos valores de conductividad, sólidos disueltos totales (SDT), cloruros y sulfatos, calcio, magnesio, sodio y potasio, por lo que se ubican a la izquierda del CP I (eje de las abscisas, Fig. 1b). Estas características ambientales, conforman un grupo de variables correlacionadas positivamente en el análisis de agrupamiento (Tabla 6), presentando, en consecuencia, un peso relativo similar en cada CP (Tabla 5).

Tabla 4: Grupos de localidades formados en el análisis de agrupamientos (AA) a partir de la matriz 1 (73 localidades x 19 variables del hábitat). (CCC = 0,87). Se indican las localidades que conforman cada grupo y las especies encontradas en ellas. NL: número de localidades y NE: número de especies.

Grupo	NL	Localidades	NE	Especies
A1	2	1 21	6	INC INA PAR SUB AUR ACA
A2	13	4 5 6 7 9 10 11 12 13 14 17 19 41	9	CUN CHA AUR MIN ORB PER DEL ACA NUE
A3	18	16 18 20 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 39	11	AUR SUB PER DEL BON WOL LAH JUJ EXI SER ROM
B1	6	45 46 47 48 50 52	4	JUJ WOL BAK ANU
B2	16	53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 64 65 70 71 72 73	7	WOL BON BAC JU PIC LIM DEA
B3	4	66 67 68 69	6	CDI CHI LIM MAR FUL RUF
C1	2	38 40	5	ROM LAH RUB WOL JUJ
C2	2	2 3	10	ACA SUB INA ORB PER INC DIS FLA SBC ROM
C3	10	8 15 22 23 42 43 44 49 51 63	12	FLA AUR CHA DEL BON ORB PRO DIA JUJ WOL CHI STE

Dejando de lado las localidades con valores extremos sobre el CP I, el resto de las localidades presenta un gradiente de variación dado por su ubicación sobre el CP II (ordenadas). El grupo A (especialmente el A₂) se ubica en los valores negativos del CP II, indicando hábitats de regiones biogeográficas del noreste, a poca altura sobre el nivel del mar, con aguas de alta turbiedad y temperaturas. Por su lado, el grupo B (especialmente el B₃) se encuentra en los valores positivos del CP II, indicando características opuestas a las del A₂ (bajas temperaturas, baja turbiedad, etc.) (Fig. 1; Tabla 5).

Es importante señalar que algunas localidades agrupadas en el grupo C, corresponden a pares de localidades con cierta similitud en sus condiciones físico-químicas y cierta cercanía geográfica, como por ejemplo, los subgrupos C₁ (localidades 38 y 40) y C₂ (2 y 3). Las restantes, pueden considerarse como localidades con características ecológicas atípicas.

ii) Análisis de las afinidades entre las localidades en función de las especies de Simuliidae presentes (Matriz Básica de Datos 2).

Del análisis de la MBD2 (73 localidades × 39 especies), con datos de presencia (1) ó ausencia (0) de cada especie de simúlido en cada localidad, pueden identificarse 4 grupos (A / D) y sus respectivos subgrupos, con un diferente

número de localidades, de especies y de grado de homogeneidad (Tabla 7). Este agrupamiento, se obtuvo del fenograma de distancia entre localidades que mostró un muy buen grado de ajuste con la matriz de distancia original (CCC = 0,957). Además, sus resultados muestran una estrecha relación con el patrón de distribución geográfica de las localidades (Fig. 2a). De este modo, puede reconocerse un pequeño subgrupo (A₁) de especies de estirpe brasilera; un grupo de especies cuyo hábitat son los grandes ríos subtropicales (A₂) y un grupo de especies chaqueñas (A₃). El otro gran grupo (B) muestra un conjunto de localidades de la región centro-oeste con Córdoba, San Luis, y todo Cuyo, incluyendo además el Noroeste (B₂); y otro conjunto correspondiente al Comahue y Sierra de la Ventana (B₁). Finalmente, se reconoce el grupo de localidades con presencia de especies del dominio Subantártico (C) y el grupo D, con tres subgrupos marcados: el Altoandino o Puneño (D₁), el de la Pampa Oriental (D₂) y el de Tierra del Fuego (D₃).

A partir del ACP realizado sobre esta MBD2 (previa standarización), se obtuvo el diagrama de dispersión de las localidades según la composición específica de simúlidos en cada una de ellas (Fig. 2b). A pesar de que la figura sintetiza una relativamente baja proporción de la variabilidad total (22,44 %), ella muestra un patrón claro de agrupamiento que es, además, coherente con el recientemente descrito. Así pueden identificarse fácilmente los cuatro grupos nombrados (A, B, C y D), y algunos de los subgrupos (como el A₁ y A₂). Los subgrupos B₁ y B₂ aparecen prácticamente unidos; el C se muestra bien diferenciado del resto y el grupo D surge en un mismo punto.

Analizando las especies que aparecen en cada localidad, puede verse que distintas especies caracterizan en forma exclusiva o compartida a los distintos grupos y subgrupos formados (Tabla 7). Por ejemplo: el A₁ se caracteriza por la presencia de *S. incrustatum*, *inaequale*, *paraguayense*, *distinctum* y *subclavibranchium* (que son exclusivas de este subgrupo y no aparecen en otros); *S. subnigrum*, *acarayense*, *orbitale*, *pertinax* y *perflavum* (que comparte con el grupo A₂) y *S. romanai* que comparte con el B₂. El subgrupo A₂ se caracteriza por la presencia exclusiva de *S. cuneatum* y *minusculum*, y comparte, además de las nombradas en A₁, a *S. chaqueense* y *auripellitum* con el A₃ (que no tiene especies exclusivas). El grupo B está caracterizado por la presencia de *S. wolffhuegeli* (especie de amplia distribución); el B₁ presenta en forma exclusiva a *S. bonaerense*, mientras que el B₂ tiene varias ex-

Tabla 5: Peso relativo de cada variable en cada uno de los 3 primeros componentes principales de la MBD1. Se indica el valor del coeficiente correspondiente a cada variable y el porcentaje de variación explicado por cada Componente (abreviaturas en Tabla 3; ver fig. 1.b)

Componente		
I	II	III
-0.986 SODIO	0.900 BIO	-0.577 DIVER
-0.963 CONDUCT	-0.811 TEMPE	-0.504 VEL
-0.918 SDT	0.761 PROVIN	-0.492 RIO
-0.916 SULFA	-0.673 TUR	-0.477 BICAR
-0.890 CL	0.614 ALTIT	0.442 PROVIN
-0.731 POTASIO	0.492 VEL	0.291 TUR
-0.6640 CALCIO	0.406 CARBON	0.252 BIO
-0.624 MAGNE	0.295 CALCIO	-0.249 ALTIT
-0.497 BICAR	0.233 RIO	-0.213 POTASIO
-0.332 pH	0.175 MAGNE	-0.158 SULFA
33,19 %	18,45 %	8,46 %

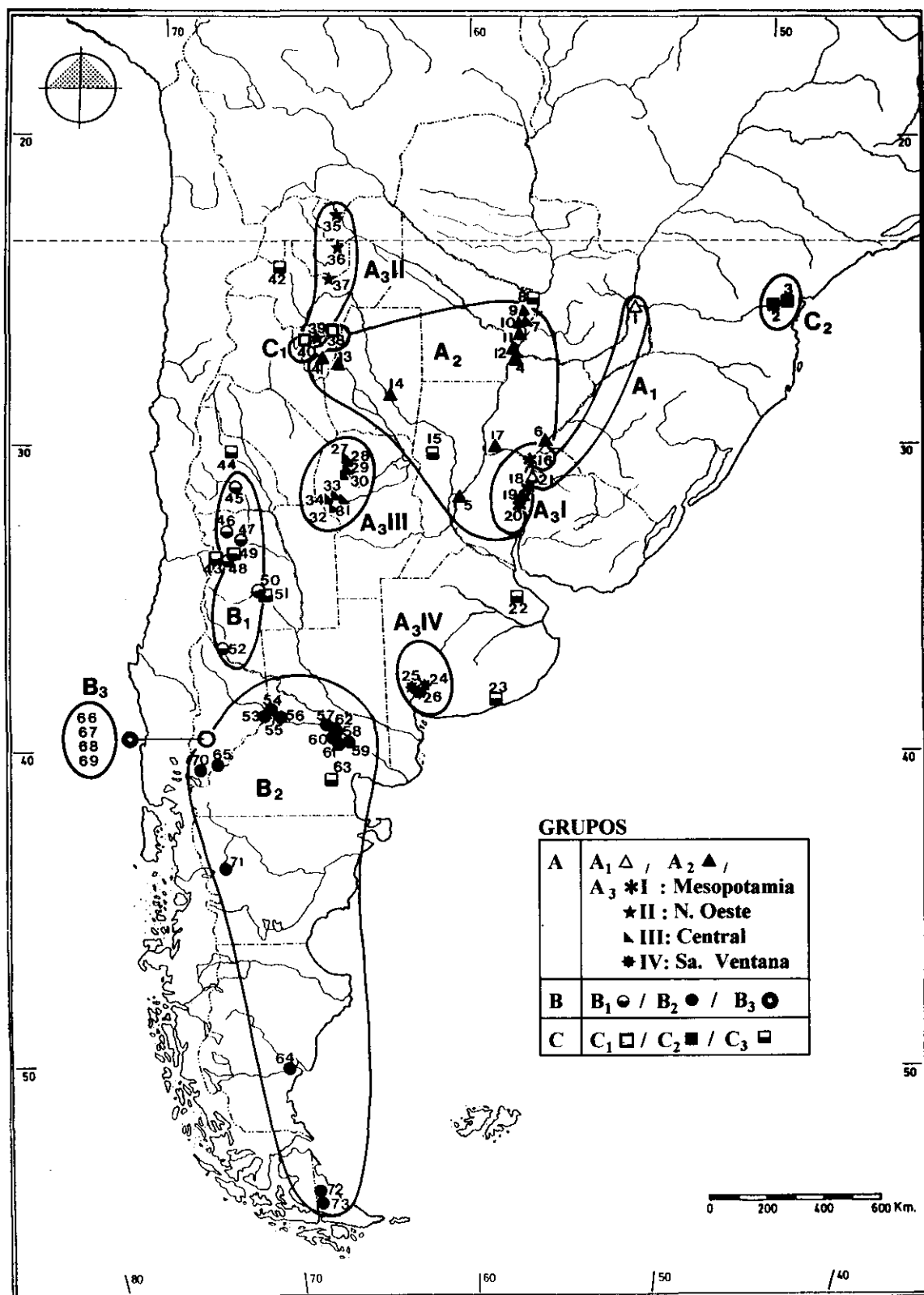


Figura 1. Agrupamiento de localidades según sus características ambientales, MBD1. a) Distribución geográfica de las 73 localidades estudiadas.

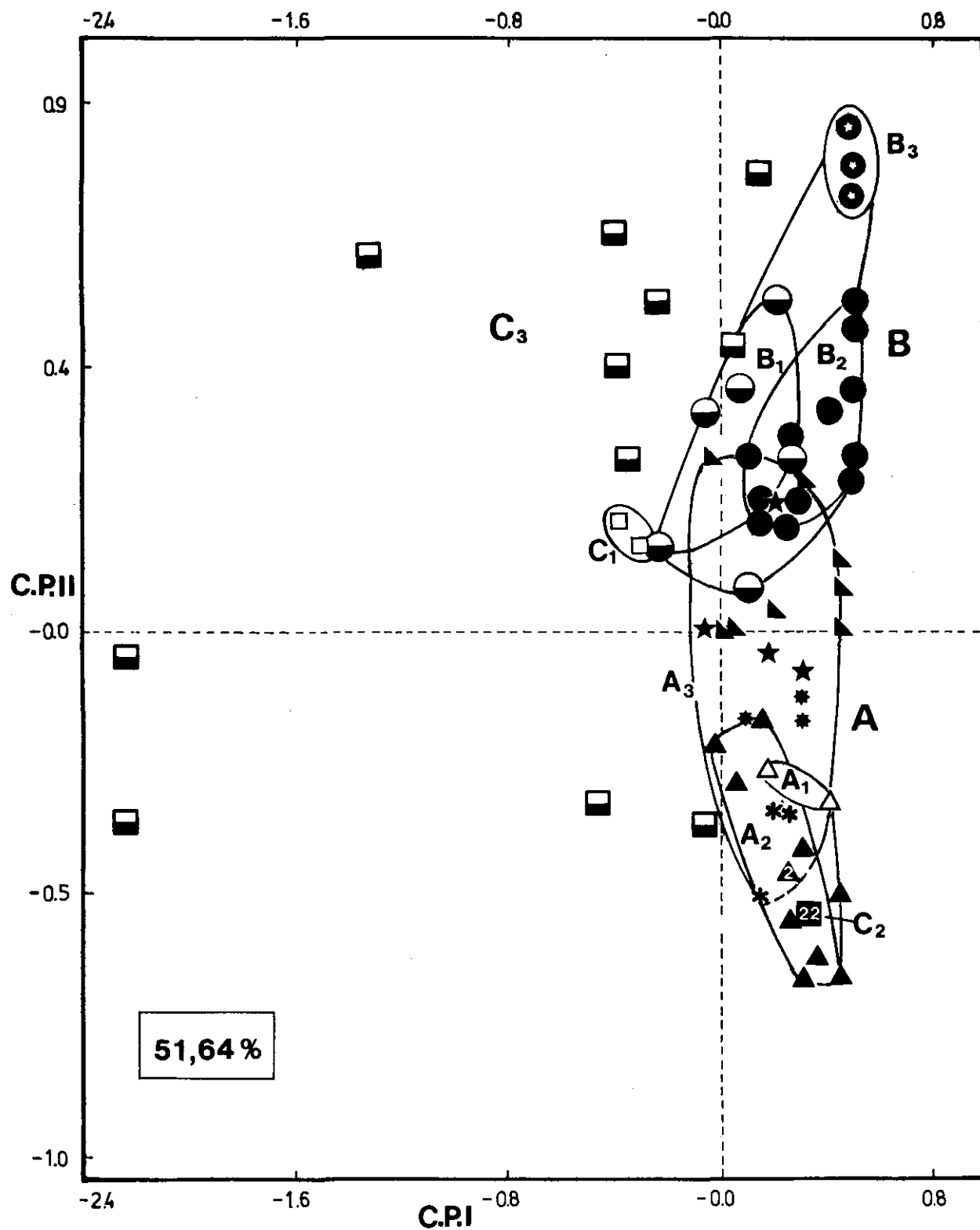


Figura 1. b) Gráfico bidimensional de dispersión del ACP; porcentaje de la variación explicado: 51,64 %. En ambos casos se indican los grupos y subgrupos formados según el análisis de agrupamiento (Tabla 4); las cifras indican el n° de localidades superpuestas en el gráfico.

Tabla 6: Grupo de variables encontradas en el análisis de agrupamientos (AA) a partir de la MBD1 (73 x 19). Los grupos surgen del fenograma de correlación entre variables (CCC = 0,87) (ver **Tabla 3** por abreviaturas).

GRUPO	VARIABLES
A	PROVIN BIO VEL ALTIT CARBON DIVER
B	pH CONduc SDT CL SODIO SULFA POTASIO MAGNE CALCIO BICAR RIO
C	TUR TEMPE

Tabla 7: Grupos de localidades formados a partir de la MBD2 (73 localidades x 39 especies). Se indican las localidades que conforman cada grupo. NL: número de localidades; NE: número de especies (ver **fig. 2.a**).

GRUPO	NL	LOCALIDADES	NE	ESPECIES
A1	3	1 2 3	11	INC INA PAR SUB ACA ORB PER DIS FLA SBC ROM
A2	8	4 5 6 7 8 16 19 21	8	CUN CHA AUR MIN ORB PER FLA SUB ACA
A3	8	9 10 11 12 13 14 15 41	2	CHA AUR NUE
B1	14	23 24 25 26 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62	4	BON ORB WOL BAC
B2	23	27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 44 45 46 47 48 49 50 51 63	12	WOL LAH JUJ EXI SER ROM RUB NUE BAR SIM CHI STE
C	7	65 66 67 68 69 70 71	7	LIM CDI CHI MAR FUL RUF BAC
D1	4	42 43 52 64	4	PIC PRO DIA ANU
D2	4	17 18 20 22	1	DEL
D3	2	72 73	1	DEA

Tabla 8: Peso relativo de cada especie en cada uno de los 3 primeros componentes principales de la MBD2. Se indica el valor del coeficiente correspondiente a cada variable y el porcentaje de variación explicado por cada Componente (Abreviaturas en **Tabla 2**; ver **fig. 2.b**).

Componente		
I	II	III
0.916 INC	-0.858 MAR	-0.687 MIN
0.916 INA	-0.788 FUL	-0.619 CUN
0.874 SUB	-0.746 CDI	-0.593 CHA
0.782 PER	-0.627 CHI	-0.585 AUR
0.778 FLA	-0.505 RUF	0.466 WOL
0.752 ORB	0.461 WOL	-0.363 ORB
0.640 DIS	-0.378 LIM	0.252 JUJ
0.613 SBC	0.278 BON	0.251 BON
0.411 ACA	0.194 LAH	0.244 ROM
-0.290 WOL	-0.154 STE	0.243 INC
14,37 %	8,07 %	6,55 %

clusivas: *S. lahillei*, *jujuyense*, *exiguum*, *seriatum*, *rubiginosum*, *barbatipes*, *simile* y *stelliferum* (siendo algunas de amplia distribución como *S. lahillei* y *jujuyense*). En el grupo C aparecen en forma exclusiva *S. limay*, *C. dissimilis*, *G. marginalis*, *fulvescens* y *rufescens*; mientras que todo el D se caracteriza por especies exclusivas de ellos como *S. pichi*, *prodexargenteum*, *diamantinum* y *annulatum* (D_1); *delponteianum* (D_2) y *deagostinii* (D_3).

Analizando la matriz de vectores propios, se observa que ellos se distinguen unos de otros debido a la presencia de ciertos grupos de especies (**Tabla 8**). Esto permite interpretar la dispersión de las localidades en el ACP (**Fig. 2b**), en función de la presencia o ausencia de ciertas especies. Por ejemplo, el grupo A_1 y A_2 (hacia valores positivos del CP I), se caracteriza por la presencia de especies tales como: *S. incrustatum*, *inaequale*, *paraguayense*, *subnigrum*, *acarayense*, *orbitale*, *pertinax*, *distinctum*, *perflavum*, *subclavibranchium*, *romanai*, *cuneatum* y *auripellitum*. Por su lado, el CP II permite diferenciar al grupo C (hacia valores negativos del CP II y con presencia de *G. chilensis*, *marginalis*, *fulvescens*, *rufescens*, *C. dissimilis*, *S. limay* y *stelliferum*) del grupo B (hacia valores positivos del CP II y con presencia de *S. exiguum*, *bonaerense*, *wolffhuegeli*, *romanai*, *bachmanni*, *barbatipes*, *lahillei* y *jujuyense*).

iii) Análisis del patrón de distribución geográfica actual.

Considerando su patrón de distribución geográfica, pueden reconocerse tres grupos de especies: i) de distribución restringida (15 especies presentes solamente en 1 ó 2 localidades); ii) distribución moderada (17 especies presentes en 3 a 7 localidades) y iii) amplia distribución geográfica (5 especies presentes en más de 7 localidades) (**Tabla 9**).

Considerando la diversidad de especies de Simúlidos (número de especies) encontrados en cada localidad, pueden identificarse localidades con mayor y menor diversidad específica. Las de mayor diversidad corresponden a las localidades de sureste de Brasil (más de 7 especies); Corrientes (más de 4); y Misiones, Salta y Neuquén (con más de 3 especies de Simúlidos). Ellas ponen en evidencia la influencia de las regiones Paranaense, de Yungas y Subantártica respectivamente (**Tabla 10**).

Tabla 9: Agrupamiento de especies de Simuliidae según su distribución geográfica. Se identifican 3 grupos de especies: i) de distribución restringida (presentes en 1 ó 2 localidades); ii) distribución moderada (presentes en 3 a 7 localidades) y iii) amplia distribución geográfica (presente en más de 7 localidades); N: número de especies.

Distribución	N	Especies*
Restringida	15	PAR SBC MIN SER PRO DIA SIM ANU STE PIC RUF FLA NUE FUL DEA
Moderada	17	INC INA ACA EXI CHI MAR SUB ORB PER DIS CUN DEL ROM AUR BAR BAC LIM
Amplia	5	CHA (8) LAH (10) JUL (12) BON (13) WOL (28)

Discusión

I - Distribución geográfica y áreas de endemismo

El análisis multivariado de las distintas matrices, permitió detectar efectos complementarios que permiten interpretar globalmente el patrón de distribución de las especies de simúlidos como resultado de factores bio-geográficos, que evidencian un componente histórico, y de factores del hábitat (características físicas y químicas del agua) que indican la existencia de un componente ecológico. Ambos componentes parecieran ser importantes en la determinación de la distribución de las especies de simúlidos en el Cono Sur de América.

Los resultados del análisis efectuado sobre la MBD1 (características ecológicas de las localidades) coincide con el de las áreas de endemismos (Coscarón y Coscarón-Arias 1995). Por ejemplo, en el caso de la Figura 1, considerado en conjunto y descontando los casos extremos, existen 2 grupos bien evidentes: el A compuesto por fauna Tropical y el B por la fauna Austral. El primero corresponde al

Tabla 10: Grupos de localidades según la Diversidad (número) de especies de Simuliidae encontrados; Número y Porcentaje de localidades con 1 a 8 especies de Simúlidos.

Diversidad	Número	Porcentaje
1	29	39,73
2	20	27,40
3	18	24,66
4	3	4,11
5	1	1,36
6	0	0
7	0	0
8	2	2,74
Total	73	100,00

área de endemismo del sureste de Brasil (SB), que en Argentina ocupa el extremo noreste del país (A_1), y a las áreas de Cerrado o Chaco (A_2), Yungas (A_3 II), Monte (A_3 III) y Pampas (A_3 I y A_3 IV). Aparentemente, la fauna brasílica, al este y la de Yungas al oeste, son los dos polos de irradiación de especies, mientras que las áreas intermedias constituyen zonas empobrecidas con escasos taxones propios, como lo es el área del Chaco. La fauna Austral (**Grupo B**), tiene el sello inconfundible del área Subantártica, predominando en la región boscosa Andino-Patagónica que se ve empobrecida en las regiones de la Patagonia Extra-Andina y Cuyo, las que presentan aporte de formas nórdicas. Los casos extremos agrupados en C, incluyen aquellas especies de hábitats con características ecológicas fuera de lo común, entre los que figuran los ambientes de Puna.

Estos resultados, muestran una relativa coincidencia con los obtenidos a partir de la MBD2 (especies de simúlidos; Fig. 2) en donde se observa un grupo A con aporte brasílico y que abarca el noreste de Argentina con un área Misionera similar a la de Río Grande do Sul (A_1), otra Mesopotámica-Pampásica caracterizada por grandes ríos (A_2), y una tercera Chaqueña (A_3). El grupo tropical del noroeste es el B_2 compuesto por Yungas, presentando una mayor extensión ya que se extiende por el área de Monte y región Cuyana, mostrando además una cierta relación con el área norte de Patagonia y parte de Pampas (Sierras Bonaeenses, B_1). El área Subantártica (C), permanece aislada como en el análisis anterior. Hay un grupo D con los casos extremos, entre los cuales está el que corresponde al área de Puna y/o Altoandina (D_1). En ambos casos, se observa un grupo nórdico o tropical (A en Fig. 1; A y B en Fig. 2) y otro austral (B en Fig. 1; C en Fig. 2).

Esto indica que en la distribución actual, intervienen tanto los factores ecológicos del hábitat, como también otros relacionados con la paleobiogeografía. En síntesis, podríamos considerar que se definen 8 grupos, 4 de ellos se corresponden relativamente bien con las áreas de endemismos del sureste de Brasil (SB), Yungas, Chaco y Subantártica; y otros 4 que con menor claridad se corresponde con las áreas de Pampas, Monte, Patagonia y Puna. Los datos actualmente disponibles, nos permiten definir las áreas de endemismos, con mayor información:

1) Áreas Sierras del Sureste de Brasil: Abarca en la Argentina la provincia de Misiones. Posee clima tropical a subtropical-húmedo, relieve mesetiforme con sierras cubiertas con selva higrófila y alturas entre 100-800 m s.n.m.. Los arroyos presentan aguas que van de lechosas a turbias,

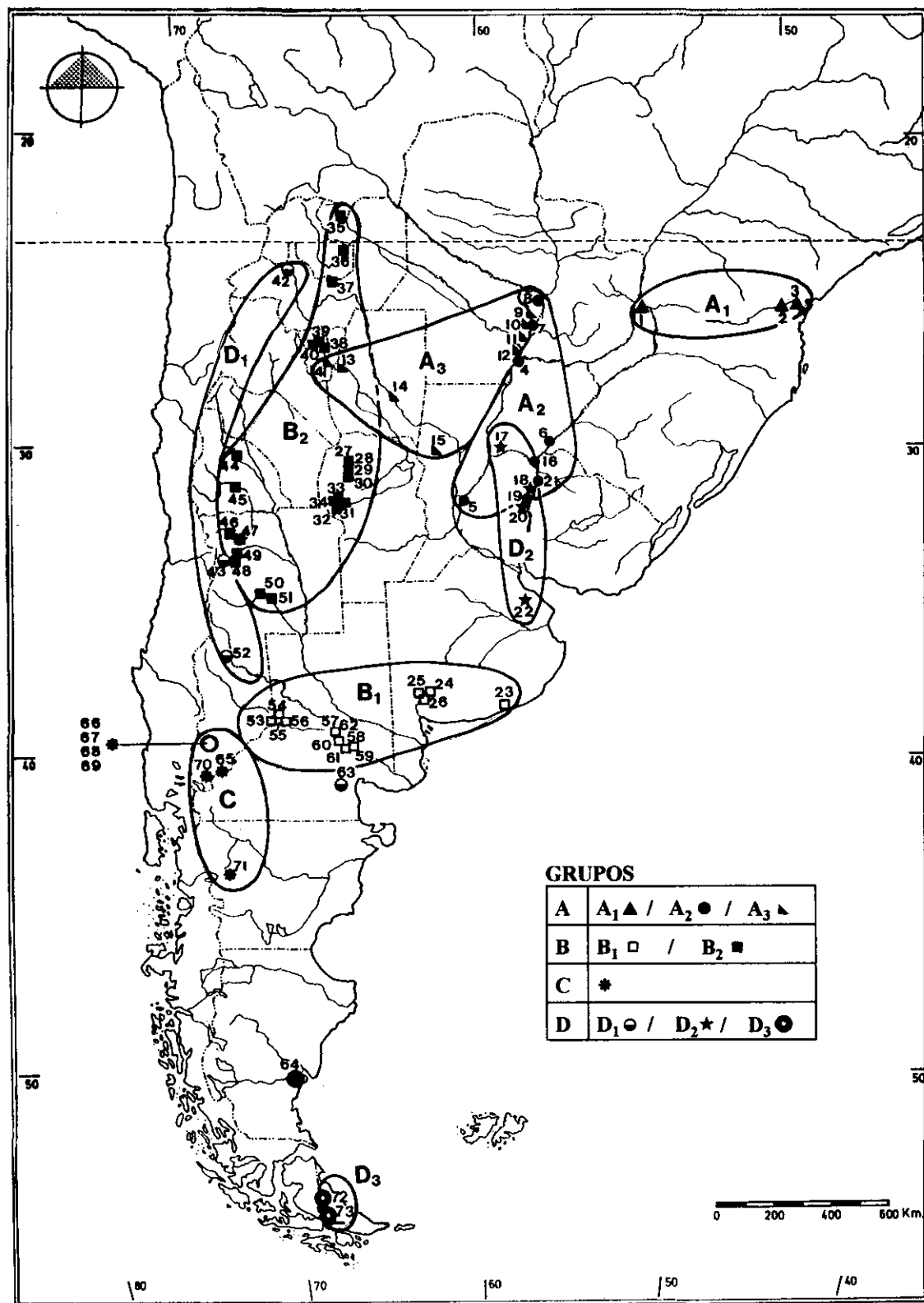


Fig. 2. Agrupamiento de localidades según la taxocenosis de Simúlidos. a) Distribución geográfica de las 73 localidades estudiadas.

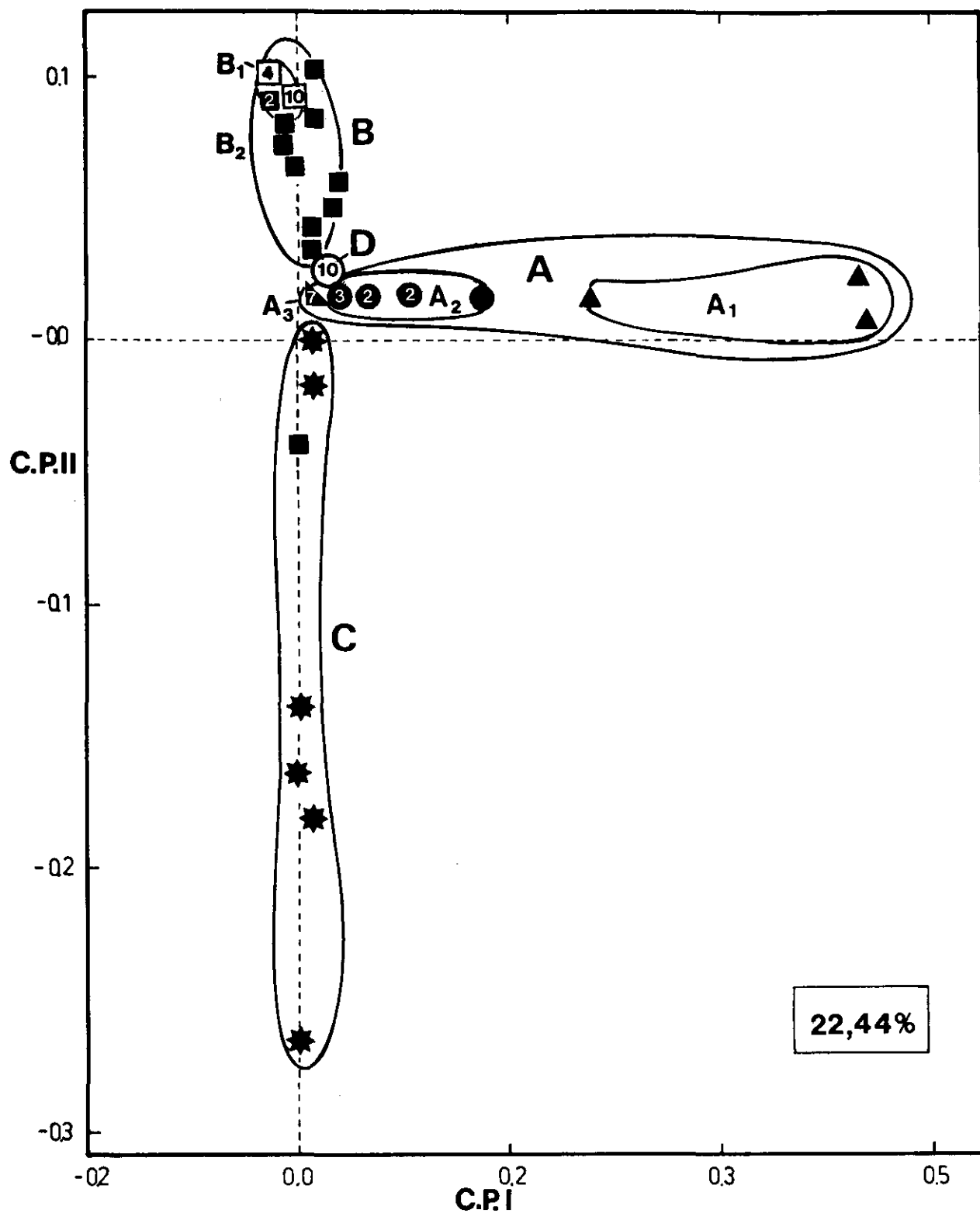


Fig. 2: b) Gráfico bidimensional de dispersión del ACP; porcentaje de la variación explicado: 22,44 %. En ambos casos se indican los grupos y subgrupos formados según el análisis de agrupamiento (Tabla 7); las cifras indican las localidades superpuestas en el gráfico.

dependiendo del grado de deforestación. El pH es neutro (6,9-7,2), la conductividad y salinidad bajas (< 100 mg/l), con ausencia de carbonatos y bajo contenido de cloruros (< 6 mg/l). Por su composición química son del tipo $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Especies características: *S. pertinax* + *incrastatum*, (*inaequale*, *subnigrum*, *acarayense*, *orbitale*, *distinctum*, *perflavum*, *paraguayense*, *romanai*, *subclavibranchium*).

Es una zona muy rica en especies, con algunas de ellas muy molestas por sus picaduras como *S. pertinax*.

2) Area del Chaco: Abarca una extensa zona plana y baja (inferior a 150 m s.n.m.), ubicada al oeste del eje fluvial Paraná-Paraguay; hacia el oeste se interrumpe por la aparición de las elevaciones subandinas, para dar lugar a un área más húmeda conocida como Yungas. Posee tres ríos alóctonos que la atraviesan (ríos Pilcomayo, Bermejo y Salado del Norte), originados en el frente montañoso occidental; hacia el este se encuentra un área más húmeda, con una densa red de arroyos paralelos o subparalelos, tributarios del eje potámico mencionado. El clima es tropical, con veranos cálidos e inviernos templados, registrándose excepcionalmente heladas. Las lluvias de primavera y verano que rondan los 1000-1200 mm anuales al este, siendo más escasas al oeste (700-800 mm anuales). La vegetación es boscosa, abierta, aunque altamente deforestada. Los arroyos presentan baja velocidad de corriente, aguas turbias y lecho con sedimento limoso. Los soportes de simúlidos consisten en ramas o plantas herbáceas ribereñas. Las aguas son alcalinas, aunque pueden detectarse valores ligeramente por debajo de pH 7. La conductividad y los sólidos disueltos son moderados ($\text{SDT} < 5$ g/L), disminuyendo en épocas de lluvia al igual que el pH, aumentando en cambio los bicarbonatos. Es notorio el aumento de salinidad en estos ríos alóctonos, a medida que atraviesan la llanura Chaco-Pampeana. Un ejemplo de ello lo constituye el río Salado del Norte, que con el nombre de Pasaje-Juramento nace en la región de las Yungas, donde sus aguas presentan bajos contenidos de sales disueltas (< 1 g/L). Al fluir por la llanura, donde adquiere el carácter de alóctono, se detecta un aumento creciente de salinidad, alcanzando en la provincia de Santa Fé, una concentración de solutos superior a los 3 g/L. Otro caso similar es el de Salí-Dulce, principal tributario del embalse Río Hondo (río Salí, Tucumán-Santiago del Estero). Con sus cabeceras en las Sierras Pampeanas y salinidades inferiores a 0,2 g/L, al cruzar la llanura desértica, incrementa su contenido en sales disueltas (Drago, en prensa). Estas presentan combinaciones del tipo $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{2+} < \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. La especie característica es *S. chaqueense* (con: *perflavum*, *delponteianum*, *auripellitum* en menor escala hacia el este).

Ligada a esta área y a la de las Pampas, se encuentra la de los grandes ríos de llanura tropicales constituida por las cuencas del Paraná Medio, Paraguay y Uruguay, los cuales presentan sus cuencas superiores desarrolladas en la Región Tropical, atravesando sus tramos medios e inferiores las regiones Subtropical y Templada (por ej., el río Paraná se extiende desde los 15°S a los 34°S). Son los grandes ríos de llanura de la Argentina que, a excepción del Uruguay, desarrollan en sus tramos medios e inferiores grandes planicies de inundación. Entran dentro del área de endemismo de Chaco y Pampas, pero con características propias por el desarrollo de la formación del bosque en galería y temperaturas medias anuales entre 18°C y 22°C bastante constantes, con un promedio que va de 21,8°C a 23,2°C debido a los grandes caudales que transportan desde la región Tropical. Son ríos que poseen fondos arenosos y móviles, con afloramientos rocosos (basaltos) en sus tramos superiores. En la zona Pamfásica, si bien poseen corriente lenta, presentan velocidades de corriente relativamente altas como es por ejemplo el cauce principal del Paraná Medio, donde la velocidad media es de 1 m/s. Las especies de Simuliidae utilizan como soportes la vegetación acuática arraigada, ramas y hasta camalotes estancados; en los fondos rocosos del Paraná, aguas arriba de Yaciretá y en el Uruguay hasta Salto Chico, se desarrollan hidrófitas (Podostemáceas) las que constituyen un excelente soporte. Las aguas son turbias con transparencia (disco de Secchi) inferiores a 1 m (Bonetto et al., 1981) en el Paraná Medio: mínima = 0,08 m y máxima = 0,5 m (Drago, 1984). Son aguas casi neutras (pH 7,3-7,4), baja salinidad (< 200 mg/L), conductividad moderada a baja (42,8 a 111,4 μ S/cm), al igual que los sólidos suspendidos (34,6 a 76,7 mg/L). Por el contenido iónico son combinaciones del tipo $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. Sus picos de crecida coinciden con las lluvias de primavera y verano. Especies características: *S. cuneatum*, (*orbitale*, *auripellitum*, *minusculum*, *chaquense*).

3) Area de Pampas: Podemos considerar dos subáreas: La del Norte y Este es llana y los arroyos son pequeños, permanentes o semipermanentes, de aguas con moderada corriente, lechosas con tendencia a turbias con fondo limoso y soportes vegetales. La de llanura al norte y este, posee clima subtropical a templado (16,5°C - 20°C); pH desde neutro a medianamente alcalino (6,9- 8,3), conductividad y salinidad relativamente alta, sobre todo en los arroyos de la prov. de Buenos Aires ($< 1,5$ g/L), que también tienen alto contenido de carbono orgánico particulado (Conzonno y Fernández, 1991). Los carbonatos son nulos, pero son altos los bicarbonatos, en cambio los cloruros y sulfatos son relativamente bajos. Las

aguas son $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- < \text{SO}_4^{2-}$ y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$. Especie característica: *S. delponteianum* (*auripellitum*, *subnigrum*, *perflavum*, *acarayense*).

La otra subárea, de clima templado y una temperatura media anual de 16°C, incluye a los ríos o arroyos pequeños cuyas nacientes se encuentran en los Sistemas de Ventania y Tandilia. Presentan fuerte corriente en sus tramos serranos, con aguas desde ligeramente turbias a cristalinas, el pH es alcalino (pH 7,9-8,5), salinidad moderada (0,8-1,0 g/L), ausencia de carbonatos, abundantes bicarbonatos y alto contenido de Ca^{++} y Na^+ , en especial en el río Quequén Grande. Son aguas de tipo bicarbonatada-sódico-cálcica. Especie característica: *S. bonaerense*. Si bien esta especie es característica, se observa un aporte de especies del oeste como son *S. wolffhuegeli* (con predominio en verano), *jujuyense* y *rubiginosum*; en el este *S. orbitale*, *delponteianum* y *chaquense*.

4) Area de Yungas: Es de clima tropical a subtropical con temperaturas medias anuales entre 19°C-21°C, húmedo y boscoso (selva de neblina), abarcando el área de las sierras subandinas entre 400 y 1500 m s.n.m.. Hacia el sur y al este el clima es más seco, para dejar lugar al área de Chaco y Monte. Los arroyos son de régimen torrencial, bajo caudal medio y alta transparencia. Sus aguas son alcalinas (pH = 8,1-8,8), de baja salinidad (< 300 mg/L), con combinaciones del tipo $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$.

En la porción norte (Salta) predomina *S. exiguum* (*wolffhuegeli*, *romanai*, *jujuyense*, *seriatum*, *incrustatum*) y en el sur (Tucumán) predominan: *S. romanai* (*lahillei*, *jujuyense*, *rubiginosum*, *wolffhuegeli*, *exiguum*, *inaequale* y *S. A. n.sp.*).

5) Area de Monte: El área habitada por simúlidos se extiende por las Sierras Pampeanas de Catamarca, La Rioja, Córdoba y San Luis. Presenta un relieve complejo, con mesetas («pampas») y bolsones, y sierras que superan los 1000 m s.n.m.. El clima es cálido-seco en la parte septentrional y templado-seco en la meridional. Predominan las estepas arbustivas xerófitas; los arroyos son de régimen torrencial, semipermanentes, y con picos de crecidas estivales; sus lechos rocosos y su vegetación, constituyen buenos soportes para los simúlidos. Presentan aguas transparentes, de pH variable (6,9-9,6), baja salinidad (< 1 g/L), y predominancia de bicarbonatos, presentando combinaciones del tipo: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$. Especies características: *S. lahillei* y *wolffhuegeli* (*jujuyense* y *rubiginosum*), este último en lugares más altos.

Es un área parecida a la de las Sierras bonaerenses, tanto en su aspecto fisiográfico, climático e hidroquímico, aunque algo más cálida y con aguas menos alcalinas, diferenciándose en la fauna Simulidológica por la presencia de *S. lahillei* y mayor abundancia de *wolffhuegeli*. La presencia de *S. lahillei* la vinculan más con el área de Yungas.

6) Area de Puna: Corresponde a la región del Altiplano y zonas Altoandinas colindantes sobre los 3000 m s.n.m. (hasta 4700 m s.n.m. que es la máxima elevación donde se han colectado simúlidos). El clima, frío y seco, presenta gran amplitud térmica diaria; de noche está por debajo de 0° C, en cambio los días son bien templados, superando los 20°C. Los arroyos son de escaso caudal, desde torrentosos a chorillos con escasa corriente, con fondos rocosos, cantos rodados o limosos. En este último caso, las hidrófitas actúan como soporte para los simúlidos. Sus aguas presentan pH entre 7,9 y 8,2, con SDT que superan los 2 g/L, predominando el cloruro de sodio y elevado contenido de bicarbonatos y sulfatos; muestran combinaciones del tipo $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++}$. Especies características son: en el Altiplano *S. (Pternaspatha) prodexargenteum* y más hacia el sur *S. (Pt.) diamantinum* y *barbatipes*, detectadas en cursos de los que se dispone de datos físico-químicos. Debe mencionarse que las regiones de esa altura son el dominio de *S. (Pternaspatha)* (15 especies) y de *Gigantodax* (11 especies), éste último en chorillos o arroyos de muy escaso caudal.

7) Area Patagónica: Es una extensa región situada al sureste de la Cordillera Andina, con alturas desde el nivel del mar hasta 2000 m s.n.m. y extendiéndose como una cuña hacia el norte, por las Sierras Subandinas y alcanzando Cuyo, donde con elevaciones superiores a 1500 m s.n.m. alterna con el área de Puna (región Prepuneña de Cabrera y Willink, 1973). El clima es templado a frío-seco, con vegetación xerófila; al norte, en zonas por debajo de los 450 m s.n.m., el verano se presenta con altas temperaturas. La hidrografía es muy variada, con sistemas endorreicos y exorreicos, caudales entre 5 y 1000 m³/s y velocidades entre moderadas a torrenciales. Sus principales ríos son alóctonos exorreicos, cruzando de oeste a este la Patagonia. Las aguas son transparentes, con salinidades inferiores a 1 g/L, y combinaciones del tipo $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. Especies características: *S. wolffhuegeli* + *jujuyense*, *bonaerense*, [*barbatipes* (arriba de 1500 m s.n.m.) *stelliferum* y *Gigantodax chilensis*].

En los ríos de la Patagonia Septentrional predomina *S. (Pt.) bachmanni* en el norte y en los de la Patagonia Meridional *S. pichi*.

8) Area Subantártica: El clima es templado-frío a frío-húmedo, con inviernos relativamente suaves, aunque con presencia de nieve. La altura comprende desde el nivel del mar en la región más austral hasta alrededor de 1600 m hacia el norte. Los ambientes corresponden a chorrillos, arroyos y ríos de corriente regular a fuerte y aguas cristalinas. Los soportes van desde piedras a vegetales. Las aguas son neutras a ligeramente alcalinas ($\text{pH} = 7,1-8,3$), la salinidad muy baja ($< 100 \text{ mg/L}$). Predominan los bicarbonatos, cloruros y sulfatos, con muy bajas concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio, presentando en general combinaciones de los tipos $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ y $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, con baja concentración de nutrientes. Especies características: *S. (Pternaspatha) limay*, *bachmanni*, *deagostinii*, *Cnesia dissimilis*, *Gigantodax chilensis*, *marginalis*, *fulvescens*. Existen en esta región, otras especies de *Gigantodax*, *Cnesia*, *Paraustrosimulium*, *Cnesiamima* y *S. (Pternaspatha)* que viven en ambientes similares, pero por el momento se carece de datos sobre los parámetros físico-químicos de los cursos de agua donde crían.

II - Análisis de las variables ambientales

Con base en la información disponible, se ha tratado de inferir la influencia que ejercen los factores ambientales evaluados sobre la distribución de simúlidos.

Velocidad: Es uno de los factores importantes para la presencia de determinadas especies. Esta preferencia está relacionada con la necesidad alimentaria, así como la posición que ocupan en los soportes (Crosskey, 1990). En los ambientes aquí considerados se encuentra toda la gama de variación.

Especies características de aguas con alta velocidad son: *S. (G.) lahillei*, *S. (H.) seriatum*, *S. (T.) orbitale*, *S. (Pt.) annulatum*, *Cnesia dissimilis* y *Gigantodax rufescens*.

La menor velocidad es característica de ríos y arroyos de la llanura Chaco-Pampeana, donde se encuentran *S. chaquense*, *delponteianum* y *bonaerense*. En estos cursos suelen formarse pequeños desniveles originados por bancos de tosca o arcillas compactadas, que provocan aumentos puntuales de la velocidad del agua, creando las condiciones necesarias para el desarrollo y la implantación de otras especies, como son *S. subnigrum*, *auripellitum*, *wolffhuegeli* y *jujuyense*. Velocidades del agua entre 0,90 m/s y 2 m/s, constituyen el hábitat preferido de las especies de regiones onduladas.

La mayoría de las especies soportan una gran variación de la velocidad de corriente, especialmente aquellas que

habitan ambientes fluviales serranos (debido al régimen pluvial), como los de las Sierras Centrales y Subandinas; o por regímenes nivales como son los ríos que tienen su origen en la Cordillera (aunque en todo el Cono Sur hay una fuerte variación originada por la diversidad de los regímenes hidrológicos (niveles pluviales, glaciales y mixtos).

Caudal: En esta región, los hábitats fluviales abarcan desde grandes ríos con caudales medios anuales superiores a 10000 m³/s (río Paraná), hasta chorrillos con caudales medios anuales inferiores a 5 m³/s, pudiendo en algunos casos ser simples hilos de agua temporarios. Hay especies que se han encontrado solo viviendo en ríos de grandes caudales como es *S. cuneatum* en el norte (ríos Paraná, Paraguay y Uruguay) o *S. bachmanni* y *pichi* en los ríos de la Patagonia. La gran mayoría de las especies tienen su hábitat en arroyos o ríos pequeños, y hay algunas que viven bien en pequeñas vertientes, como son la mayoría de las especies de *Gigantodax*, donde no cohabitan con especies de otros géneros de simúlidos. Ríos con fuertes y breves variaciones de caudal, originadas por las tormentas estivales, pueden ser la causa de la predominancia de *S. lahillei* y en segundo término *S. wolffhuegeli* en las sierras de Córdoba y San Luis. Se ha podido ver que en los períodos de fuerte aumento de caudal, disminuye la población en los grandes ríos como el Paraná, donde tanto las formas larvales en los criaderos, como correlativamente las formas aladas, muestran sus picos máximos entre mediados de invierno y mediados de primavera, desapareciendo a principios de octubre cuando comienza el gran aumento de caudal durante el período de lluvias. En ríos con gran variabilidad de caudal, las poblaciones generalmente son inversamente proporcionales al nivel hidrométrico.

Turbiedad: Existe preferencia de Simuliidae por aguas cristalinas, sin embargo hay especies peculiares de aguas bien turbias, como lo es *S. chaquense*; también tiene esa predilección *S. perflavum*, en especial por aguas de tonos rojizo amarillentos, característica de las zonas tropicales, incrementadas por el efecto de deforestación - erosión. Hay especies que se las encuentra desde aguas cristalinas o ligeramente lechosas hasta turbias, como son *S. pertinax*, *incruiatum*, *subnigrum* e *inaequale*, aunque muestran correlación más positiva por las aguas transparentes.

Altitud: Es un factor determinante de ciertas especies, como *S. prodexargenteum* y *S. diamantinum* (por encontrarse arriba de los 3000 m s.n.m.) o *barbatipes* que se encuentra entre 800-2000 m s.n.m.; otras especies en cambio, como *cuneatum*, *chaquense* y *delponteianum* (todas ellas del subgénero *Cerqueirellum*) no sobrepasan los 150 m s.n.m.

Los ríos que tienen sus nacientes en la región andina y fluyen de oeste a este, van aumentando su temperatura aguas abajo, pudiéndose observar el cambio de especies como por ejemplo *S. limay*, en las cabeceras del río Limay, por *S. bachmanni* a la altura de la confluencia de ese río con el Neuquén y que luego continúa detectándose aguas abajo, en el río Negro. Algo similar ocurre en el río Tecka (Chubut), donde se encuentra *S. limay*, la cual es reemplazada por *S. bachmanni* luego de su desembocadura en el río Chubut. Así mismo, en el río Diamante encontramos a *S. diamantinum* a 3300 m s.n.m. y a *S. wolffhuegeli* a 600 m s.n.m., respectivamente. Los ríos que fluyen de norte a sur, como los de la Cuenca del Plata, muestran menores diferencias de altura y temperatura entre sus tramos superiores e inferiores, por lo que no se detectan ejemplos como los citados anteriormente. Debe destacarse, que la mayoría de estos ríos presentan elevados caudales medios en sus tramos superiores por su gran desarrollo en la Región Tropical, fluyendo con poco cambio en la temperatura de sus aguas a través de grandes distancias. Debido al gran volumen transportado, estos ríos presentan una gran capacidad de acumulación de calor, lo que minimiza las variaciones térmicas a lo largo de los tramos fluviales (Drago, 1984).

Temperatura: La temperatura es a nuestro juicio uno de los factores más importantes en la determinación de la presencia de ciertas especies; detectándose no solamente cambio sino también disminución de especies, como se observa en los ríos de las áreas de Yungas y del noreste de Argentina, donde el número de especies disminuye notablemente hacia el sur.

Existe una buena correlación entre altura, latitud y temperatura; esta última debe ser evidentemente el factor determinante, por lo que especies que se encuentran a baja altura en altas latitudes se hallan en lugares más elevados cuando viven más hacia el norte. Este hecho ocurre con *G. brophyi*, *G. igniculus* y *G. rufescens* (Wygodzinsky y Coscarón, 1991) y *S. deagostinii* y *S. barbatipes* (Coscarón, 1993), explicando de esta forma que la posible capacidad para vivir a diferente altura es el recurso que tienen para mantenerse a una determinada temperatura.

En el cono Sur de América, con gran extensión latitudinal, se registran temperaturas tropicales con promedios anuales de 23°C hasta 6,5°C hacia el sur. Probablemente sean las bajas temperaturas, las que excluyen a especies de linaje tropical (que parecen ser las más agresivas en el poblamiento de la región neotropical) para que se habiten áreas donde los cursos de agua se congelan en sus riberas de noche, como ocurre en zonas de alta montaña o del

altiplano, o se cubran de nieve en invierno. Estos ambientes son exclusivos de *S. (Pternaspatha)*, *Gigantodax spp.*, *Cnesia spp.*, *Cnesiamima* y *Paraustrosimulium*.

Hay especies que presentan correlación positiva con la temperatura, como lo es *S. wolffhuegeli* que es simpátrico con *S. jujuyense* y/o *S. bonaerense*, y que se hace dominante en verano.

En las especies de regiones con inviernos fríos como las áreas Subantártica, Patagonia y Puna, se evidencia una correlación positiva con respecto al tamaño de la población, presentándose en primavera y comienzos de verano el mayor número de especímenes.

pH: Los valores extremos comprenden las aguas que van desde ligeramente ácidas (pH = 6,56) a definitivamente alcalinas (pH = 8,9); alrededor de un pH neutro predominan en los grupos 1 y 8; el resto es alcalino. De los ambientes medidos el más bajo corresponde al arroyo Pilagá, en el este del área de Chaco o Cerrado, riacho que sufre gran variación de caudal y salinidad según la temporada de lluvias de primavera y verano, con la consiguiente disminución de pH. En esa misma área se dan valores que alcanzan a pH 8,23. El lugar con más alto pH que hemos registrado corresponde a Villa Giardino (Córdoba), pero también aquí se dan valores que descienden hasta pH 6,75 con el mismo tipo de especies. La información disponible, nos hace pensar que el pH en esta región no es un valor de fuerte influencia para la presencia de especies.. Ello indica que las especies que viven en esos ambientes, muestran buena capacidad para vivir con diferente concentración de aniones y cationes, así como con distinta velocidad de la corriente.

No obstante, se ha observado que algunas especies como *S. jujuyense* y/o *S. bonaerense*, que conviven en la zona con *S. wolffhuegeli*, se hacen predominantes sobre la otra especie cuando las aguas se vuelven más alcalinas y con mayor concentración salina, como se observa en el Valle Medio del Río Negro (Coscarón-Arias, 1994). En base a la información disponible de pH, éste no parece ser un factor determinante de la presencia de determinadas especies en la región.

Conductividad: Los más bajos valores corresponden al área Subantártica, con cursos de agua de origen nival o pluvial de la región próxima con valores medios anuales en torno a 18,4 μ S/cm. La conductividad es relativamente baja en los ríos patagónicos (y canales de irrigación dependientes de ellos), por ser colectores de aguas de deshielo o provenientes de lagos con aguas de ese origen. También presentan valores bajos las aguas que rondan en

la neutralidad, como son las del grupo 1 y los grandes ríos de origen tropical. Los ambientes con pH más elevado, que corresponden a las zonas Chaco-Pampeana y Subandina, presentan también valores altos de conductividad, con máximos de 4570 y 5997 μ S/cm en el área Chaqueña, durante los periodos de sequía.

Contenido de sólidos disueltos: Es muy bajo en aguas de deshielo como son las del área Subantártica y Patagónica (< 20 mg/L). Es alto en zonas áridas como en algunos arroyos de la Puna (> 2500 mg/L) o las áreas Chaqueña y Pampeana, sobre todo cuando éstas se encuentran sujetas a periodos de fuerte sequía (> 3500 mg/L). Salvo en las regiones Subantártica y de grandes ríos tropicales en que este factor es bajo, hay relativa uniformidad con valores entre 150 y 600 mg/L.

Iones mayores.

Carbonatos: Es frecuente la ausencia de este catión. No hay información que sea fácilmente correlacionable con las otras variables. Los datos más elevados registrados corresponden a los ríos de las Sierras Peri-pampásicas.

Bicarbonatos: Los valores más bajos son también los de las regiones Subantártica y SB como los ríos tropicales que cruzan la Región Chaco-Pampeana. La Región Patagónica tiene valores intermedios, en cambio son altos en el sur y oeste de la Pampa y el resto de la región centro y oeste de Argentina. El ambiente habitado por simúlidos con valores más elevados de este catión corresponde al tramo inferior del río Quequén Grande (522 mg/L).

Cloruros: Hay una correlación entre la cantidad presente de este catión con la de bicarbonatos y sólidos disueltos. Los valores más elevados corresponden a los cursos de agua de la región Chaco-Pampeana como el arroyo He-He con 1507 mg/L, seguido por río Salado del Norte en su tramo inferior en Santa Fé (1200 mg/L). En época de sequía se observan, como ocurre entre San Cristóbal y San Justo, el afloramiento salino en las riberas del pequeño curso que aun corre. En la Puna, hay arroyos caudalosos como el Sijes, donde frecuentemente hay otras sales, como las de borax.

Sulfatos: Son bajos en arroyos del área de las Sierras del sureste de Brasil y en los ríos tropicales, mostrando una correlación en ese sentido con el área Subantártica, como ocurre con el pH y la salinidad.

Aniones: En general los aniones muestran sus valores más bajos en aguas de Sierras del sureste de Brasil y sus

ríos principales colectores. Presentan altos valores sobre todo en Ca^{++} y Na^+ , coincidentes con los periodos de sequía. No hemos podido establecer una correlación de determinadas especies con relación a los aniones.

No podemos afirmar si existen factores que sean limitantes para la presencia de una especie, sobre todo si los extremos que puedan resistir depende del tiempo que puedan actuar.

Sin embargo, hemos podido detectar que los más altos valores de salinidad, y los de Cl^- , SO_4^{--} , Na^+ y K^+ se dan con *S. chaqueense*; las alturas máximas sobre el nivel del mar corresponden a varias especies de *S. (Pternaspatha)*; los ríos más grandes a *S. cuneatum* y las temperaturas medias del agua más bajas corresponden a *Gigantodax*, *Cnesia* y *S. deagostinii*.

Consideraciones sobre el posible incremento del área de especies de importancia sanitaria.

En la región aquí tratada, la única especie bien reconocida como transmisora de oncocercosis en el hombre es *S. exiguum*. Esta especie es considerada como la principal vectora en Colombia, Ecuador y se sospecha que puede actuar como transmisora en el norte de Venezuela (Shelley, 1988). Existen otras dos especies también señaladas con capacidad de transmitir, como son *S. minusculum* y *S. incrustatum*, mencionadas para el sur de Venezuela y Brasil (Shelley, 1988). A las dudas de que en algunas de las especies no estén bien comprobadas sus cualidades como vectoras de *Onchocerca volvulus*, se suma el hecho de que hay citotipos dentro de las especies consideradas transmisoras que les permiten actuar con mayor o menor capacidad vectorial, por lo que la incertidumbre sobre su importancia epidemiológica aumenta.

En el Cono Sur de América no se han hecho estudios epidemiológicos al respecto, así que hay que estar prevenido, dado que existe la posibilidad de que algunas especies puedan actuar como transmisoras, aunque hasta el momento no se les ha señalado como tales. Información que disponemos de observaciones personales no publicadas, es que se han encontrado ejemplares de *S. exiguum* provenientes del norte de Argentina (Salta) infectados con formas larvales de tercer estadio de filarias. En un lote de 54 ejemplares de río Juramento (Salta), y sobre 199 ejemplares del noroeste de Aguas Blancas se encontró el 1 % infectadas, lo que indica que esta especie en poblaciones de Argentina tiene capacidad de transmitir filarias, pero no se sabe de que especie son. Es conveniente aclarar que esta es una zona de Mansonelosis, presentándose en humano con un promedio de infestación del 20,7 % en el El Oculto

(norte de Salta; **Taranto y Castelli**, 1988), aunque hay focos con mayor prevalencia en la zona de Normenta y al oeste de Ledesma en la provincia de Jujuy (**Taranto**, inf. pers.) que superan el 50 %. En esta región de Sudamérica, no están señalados los simúlidos como transmisores de *Mansonella ozzardi* correspondiendo los únicos datos a *Culicoides* (**Romaña y Wygodzinsky**, 1950).

Debemos destacar además la presencia de otro tipo de *Onchocerca* en animales silvestres (primates ?), en equinos (**Roux et al.**, 1984) y en bovinos (**Mancebo y Roux**, 1986). Al respecto, debemos mencionar la observación de microfilarias que probablemente corresponden a *Onchocerca lienalis*, en tejido intracutáneo de bovinos de mataderos provenientes de la provincias de Corrientes (Margarita Belén 40 %) y Chaco (Makallé 22 %) (**Coscarón y Led**, no publicado). La observación de larvas de filarias en *S. cuneatum* en el área de la ciudad de Corrientes, con un índice de infestación de un 2 % sobre 159 ejemplares (30-X-94) y 3,2 % sobre 63 ejemplares (23-IX-92), nos hace sospechar que podrían ser los transmisores de esa filaria, dado el alto porcentaje de hembras de esta especie picando durante el período de agosto a octubre en la región de donde provenían las reses faenadas. Ello nos permite afirmar que *S. cuneatum* tiene capacidad para infestarse con larvas de *Onchocerca*.

S. incrustatum y *S. minusculum*, especies señaladas como vectoras (**Shelley**, 1988), están presentes en el área de las Sierras del sureste del Brasil, extendiéndose la primera hasta Yungas y la segunda especie por el río Paraná hasta la latitud de Corrientes.

Al analizar el hecho de que especies vectoras tendrían la posibilidad de incrementar su área de distribución, debemos tener en cuenta especialmente aquellas que están ya mencionadas con esa capacidad y que se encuentran en las áreas de Yungas y de Sierras del sureste de Brasil, así como otras de más al norte señaladas como transmisoras de oncocercosis para América.

Hay una notable ausencia de información sobre factores ambientales de criaderos de simúlidos en áreas oncocercósicas de América. La única disponible es la brindada por **Dalmat** (1955), referente a *S. exiguum*, *ochraceum*, *metallicum* y *callidum*. Los datos indican que los factores físico-químicos no difieren mucho en general con los de los ambientes del área de Yungas y SB, por lo que si solo fuesen esos factores ecológicos los que determinarían la presencia de las especies transmisoras, existiría la posibilidad de que otras especies vectoras puedan instalarse en el Cono Sur.

Desconocemos los datos sobre los que se vale la OMS para pronosticar que si la temperatura aumenta por el cambio global, se incrementaría el área de la oncocercosis (**Stone**, 1955). Por su parte (**Budyco et al.**, 1993: 116), consideran que el cambio climático predecible para fines de siglo y comienzos del XXI en el centro de Argentina es de un incremento de 0,5-1°C con un aumento de las precipitaciones en 100 mm, siendo para Paraguay y Uruguay de 150-200 m. Por supuesto que un aumento de temperatura y del caudal de cursos de agua no solo favorecería el desarrollo de las especies transmisoras sino que una mayor temperatura ayudaría también a cumplir con el ciclo biológico de las microfilarias en el artrópodo.

Basados en esa hipótesis, sería de prever que las especies presentes en Yungas podrían avanzar hacia áreas más australes, como podrían ser las Sierras Subandinas y Pampeanas, con características que se asemejan fisiográficamente a zonas oncocercósicas, aunque actualmente presentan un clima con mayor índice de xerofitización, lo que podría constituir una barrera climática.

Con respecto a *S. exiguum*, es una especie que está señalada hasta Tucumán (**Coscarón**, 1991). Aunque no disponemos de datos físico-químicos completos de los ambientes donde esta citada en áreas oncocercósicas, suponemos por afinidad con la información sobre valores de pH, altitud, temperatura (**Muñoz de Hoyos**, inf. pers.) de los criaderos analizados de esa región, que son muy parecidos con los de Salta y Jujuy donde hallamos *S. exiguum*, que sería lógica su presencia más al sur. Entre los posibles lugares donde también *S. exiguum* podría instalarse es en el área tropical oriental, ya que los cursos de agua poseen caracteres físico-químicos tales como temperatura, altitud, velocidad, turbiedad y pH bastante similares a los de Yungas; además hay especies que son comunes en ambas áreas, como *S. incrustatum* y *romanai*.

Por razones similares *S. incrustatum* podría ampliar su distribución hacia el sur y *S. minusculum* en el área de Yungas. Con respecto a *S. minusculum*, por encontrarse en río Paraná a la latitud de Corrientes, también no sería extraño que pudiera extenderse más hacia el sur, utilizando la excelente vía de dispersión de aquel río, cuya variación en sus condiciones físico-químicas es mínima hasta su desembocadura en el estuario del Río de la Plata. Así mismo, podría encontrarse también hacia el norte, en el río Paraguay y en algunos de sus afluentes, como los ríos Pilcomayo y Tebicuary.

La acción del hombre con la construcción de represas y canales de irrigación y drenaje, puede hacer cambiar

la presencia o abundancia de especies de simúlidos. Ya es evidente que en el río Negro hay una disminución de *S. bachmanni* y aumento de las poblaciones de *S. bonaerense*, *jujuyense* y *wolffhuegeli*, como probable consecuencia de las represas construidas aguas arriba. La presencia de estas tres últimas especies en canales de irrigación en las provincias de San Juan, Mendoza, La Pampa y Río Negro, constituyen otra evidencia de más antigua data.

Es posible que la represa de Yaciretá pueda hacer cambiar la población de *S. cuneatum* y sería de desear que no facilitara la instalación de *S. pertinax* aguas abajo, en el Paraná Medio, ya que esa especie es la que más molestias produce con sus picaduras en el noreste de Argentina y Brasil. Otros proyectos como la canalización de los ríos Bermejo y Pilcomayo, probablemente traerán aparejado cambios en la fauna de simúlidos de la Región Chaqueña.

Agradecimiento: a Marcia Itebere da Cunha por la información facilitada y a Nélida Raquel Caligaris por las ilustraciones y la mecanografía del trabajo.

Bibliografía

- Begon, M., J. L. Harper and C. R. Townsend 1986. Ecology: Individuals, Populations and Communities. *Sinawer Ass. Inc. Pub. Boston, Mass.; USA*.
- Bonetto, A. y H. G. Lancelle 1981. Calidad de las aguas del Río Paraná Medio. *Com. Cient. CECOAL* (11): 1-22.
- Budyko, M. I., I. I. Borzenkova, G. V. Menzhulin y I. A. Shiklomanov 1993. Cambios antropogénicos del clima en América del Sur. *Serie Acad. Nac. de Agron. y Vet. Buenos Aires*. (19): 223 pp.
- Cabrera, A. y A. Willink 1973. Biogeografía de América Latina. *Monografías OEA., ser. Biología* (13): 120 pp.
- Casciotta, J. R., H. L. López, R. C. Menni y A. M. Miquelarena 1989. The first fish fauna from the Salado river (Central Argentina, South America) with additions to the Dulce river and Limnological comments. *Arch. Hydrobiol.* 115 (4): 603-612.
- Conzonno, V. H. y A. Fernández Cireli 1991. Agregation of soluble humic substances from río Samborombon (Prov. de Buenos Aires, Argentina). *Rev. Brasil. biol.* 51 (2): 487-493.
- Conzonno, V. H., A. A. Mariuzzi, M. A. Casco, R. Echenique, H. Labollita y M. Petrocchi 1981. Estudio limnológico en el lago Pellegrini (Río Negro, Argentina). *Ecosur* 8 (15): 153-170.
- Coscarón-Arias, C. L. 1989. Estudios citotaxonomicos y bioecológicos de Simuliidae (Diptera, Insecta) de Argentina. *Tesis Doctoral Fac. Cs. Nat. y Museo, Univ. Nac. de La Plata*.
- 1994. Estudios bioecológicos de jejenos (Simúlidos) del Valle Medio orientados hacia su control. *Informe convenio Fac. Cs. Agrarias, Univ. Nac. Comahue y FUNDEPA*, 89 pp. (Inédito).
- Coscarón, S. 1991. Insecta Diptera Simuliidae in Z. A. de Castellanos. *Fauna de agua dulce de la República Argentina*, 38, fasc. 2: 304 pp, 67 pl.

- Coscarón, S. y C. L. Coscarón-Arias 1995. Distribution of Neotropical Simuliidae (Insecta: Diptera) and its areas of endemism. *Rev. Acad. Colomb. Cs. Ex. Fis. Nat. (Bogotá)* 19 (75): 717-732.
- Crisci, J. V. y M. F. L. Armengol 1982. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. *Colección de Monografías Científicas de la OEA, Serie Biología*.
- Dalmat, H. T. 1955. The black flies (Diptera, Simuliidae) of Guatemala and their role as vectors of onchocerciasis. *Smiths. Miscel. Col.* 125 (1): 425 pp.
- Dellome, J. 1983. Considerações sobre os fatores físico-químicos dos criadouros de *Simulium goeldii*. Cerqueira e Mello, 1967 (Diptera, Simuliidae). *Rev. Bras. Ent.* 27 (2): 155-160.
- 1991. Simuliofauna do rio Marumbi (Morretes PR. Brasil). I Coleta e criação, adultos (Diptera, Simuliidae). *Acta Biol. Par. Curitiba* 20 (1-4): 145-156.
- Drago, E. C. 1984 a. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. IV: Influencia de la composición granométrica de los sedimentos suspendidos sobre la transparencia del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 47-55.
- 1984 b. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. VI: Temperatura del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 79-92.
- 1990. Limnology in Argentina. *Acta Limnol. Brasil* 3: 49-75.
- Drago, E. C. y R. Quirós. The hydrochemistry of the inland waters of Argentina. *Int. J. Salt Lake Res.* (en prensa).
- Drake, J. A. y H. A. Mooney (Ed.) 1989. Biological Invasion. A Global Perspective. *SCOPE* (37). J. Wiley & Sons: 525 pp.
- Grunewald, J. 1976. The Hydro-Chemical and Physical Conditions of the Environment of the immature stages of some species of *Simulium* (*Edwardsellum*) *damnosum* Complex (Diptera). *Tropenmed. Parasit.* 27 (4): 438-454.
- Hamada, N. 1989. Aspectos bio-ecológicos de larvas de *Simulium goeldii* Cerqueira e Mello 1967, con referencias a larvas de *Simulium rorotaense* Floch e Abonnenc, 1946 (Diptera: Simuliidae) na Reserva Forestal Ducke, Amazonia Central. *Tesis de Maestreado Inst. Nac. Pesq. Amazonia e Fundação Universidad Amazonas*: 106 pp.
- Itebere da Cunha, M. C. 1995. Los simúlidos (Simuliidae: Diptera: Insecta) del río Passauna en el Estado de Paraná (Brasil), y resultados de control con *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. *Tesis Doctoral Fac. Cs. Nat. y Museo, Univ. Nac. de La Plata*.
- Lancelle, H. G., A. C. Longoni, A. O. Ramos y J. R. Cáceres 1986. Caracterización físico-química de ambientes acuáticos permanentes y temporarios del Chaco Oriental. *Ambiente Subtropical* 1: 73-91.
- López, H. L., J. R. Casciotta, A. M. Miquelarena y R. Menni 1984. Nuevas localidades para peces de agua dulce de la Argentina. IV. Adiciones a la ictiofauna del río Uruguay y algunos afluentes. *Studies Neotr. Faune and Environment* 19 (2): 73-87.
- Maglianesi, R. E. y P. D. Depetris 1970. Características químicas de las aguas del río Salado Inferior (Provincia de Santa Fé, República Argentina). *Physis* 30 (80): 19-32.
- Mancebo, O. A. y J. P. Roux 1986. Primera determinación de *Onchocerca gutturosa* (Neumann, 1910) en la República Argentina: I. Prevalencia de microfilarias en bovinos de la provincia de Formosa. *Vet. Arg.* 3 (22): 165-166.

- Mariuzzi, A., V. Conzonno, R. Echenique y H. Labollita 1991. Physical and chemical characters, phytoplankton and primary production of Ezequiel Ramos Mexia Reservoir (Argentina), *Hydrobiologica* 209: 1077-1116.
- Menni, R. C., H. L. López y R. H. Arámburu 1988. Ictiofauna de Sierra de la Ventana y Chasicó (Prov. de Buenos Aires, Argentina) Zoogeografía y parámetros ambientales. *An. Mus. Hist. Nat. Valparaíso* 19: 75-84.
- Menni, R. C., H. L. López, J. R. Casciotta y A. M. Miquelarena 1984. Ictiología de áreas serranas de Córdoba y San Luis (Argentina). *Biología Acuática* (5): 1-63.
- Menni, R. C. A. M. Miquelarena, H. R. López, J. R. Casciotta, A. A. Almirón y L. C. Protogino 1992. Fish fauna and environments of the Pilcomayo-Paraguay basins in Formosa, Argentina. *Hydrobiologica* 245: 129-146.
- Miquelarena, A. M., R. C. Menni, H. L. López y J. R. Casciotta 1990. Ichthyological and limnological observations on the Sali river basin (Tucumán, Argentina). *Ichtyol. Explor. Freshwaters* 3 (1): 269-276.
- Py-Daniel, V. 1994. Algumas considerações sobre o programa de eliminação de oncocercose para as Americas. *Mem. CAICET* 4 (1-2): 157-161.
- Rohlf, J. 1989. NTSYS-PC. Numerical Taxonomy System of Multivariate Statistics for PC. Version 1.6. Exeter Publ. Co.
- Romaña, R. y P. Wygodzinsky 1950. Acerca de la transmisión de *Mansonella ozzardi* (Manson) (Filaria tucumana). *Ann. Inst. Med. Reg. (U.N.T.)* 3: 29-34.
- Roux, J. P., O. A. Mancebo y G. M. Bulman 1984. Primera determinación de *Onchocerca cervicalis* Railliet y Henry, 1910 en la República Argentina: I. Prevalencia de microfilarias en Equidos del Nordeste Subtropical. *Therios* 3(14): 372-378.
- Shelley, A. J. 1988a. Vector aspects of the epidemiology of onchocerciasis in South America. *Ann. Rev. Entomol.* 30: 337-366.
- 1988b. Biosystematics and distribution of Simuliid vectors of human onchocerciasis in South America. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro* 83 (4): 399-403.
- Stone, R. 1995. Global Warming. If the Mercury Soars, So May Health Hazards. *Science* 167: 957-958.
- Taranto N. J. y Castelli, E. 1988. Detección de un foco de microfilarias en el noroeste argentino. *Rev. Arg. Microb.* 20 (1): 49-51.

HISTOLOGIA, HISTOQUÍMICA Y ESTRUCTURA FINA DE LA GLANDULA MENTONIANA DE DOS ESPECIES DE *HYLA* (GRUPO *BOGOTENSIS*) Y DEL ANTEBRAZO DE *PHRYNOPUS ADENOBRACHIUS*

Por

Gloria Romero de Pérez* & Pedro M. Ruiz C.**

Resumen

De Pérez, G. & P.M. Ruiz: Histología, histoquímica y estructura fina de la glándula mentoniana de dos especies de *Hyla* (grupo *bogotensis*) y del antebrazo de *Phrynopus adenobranchius*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(78): 575-584. 1996. ISSN 0370-3908.

Se estudió la histoquímica y la estructura por microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de transmisión (TEM) de la glándula mentoniana de machos adultos de dos especies de *Hyla bogotensis* grupo similares en forma y función con las glándulas mentonianas (hedónicas) de especies de Plethodontidae. Un gran ensanchamiento del antebrazo de los machos adultos de *Phrynopus adenobranchius*, estudiada con los mismos métodos (MO, TEM) muestra que un sistema «lagunar» en el estrato esponjoso de la dermis contribuye al afianzamiento de la pareja durante el amplexo.

Palabras clave: histología, glándula mentoniana, *Hyla bogotensis* grupo. *Phrynopus adenobranchius*, piel, amplexo.

Abstract

Study of the mentonian (lower jaw) glands in adult males of two species of the *Hyla bogotensis* group of frogs, its histochemistry and structure by means of optical and transmission electron microscope (OM, TEM). Those glands are similar in form and function to the hedonic gland of the lower jaw of species of Plethodontidae.

A broadening of the forearm in adult males of *Phrynopus adenobranchius* studied with the same methods (OM, TEM) shows a «lacunar» system in the spongy stratum replacing the glandular secretions used in the fastening of the couple during amplexus.

Key words: Histology, mentonian gland, ultrastructure, *Hyla bogotensis* grupo. *Phrynopus adenobranchius*, skin, amplexus.

* Departamento de Biología y Centro de Microscopía, Universidad Nacional de Colombia, Apartado aéreo 14490, Santafé de Bogotá, D.C.

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

Introducción

En algunas especies se ha demostrado la importancia del integumento durante una o varias etapas del ciclo reproductivo por medio de adaptaciones morfológicas y secreciones de glándulas especiales que cumplen una función en la adhesión de las crías a la región medio dorsal. Este mecanismo puede ser temporal como ocurre en machos de especies de la familia Dendrobatidae que transportan las larvas hasta cuerpos de agua (McDiarmid, 1978; Myers & Daly, 1980; De Pérez & col. 1992a), o permanente como sucede en especies de géneros de la subfamilia Hemiphractinae, en las que el desarrollo de las crías tiene lugar sobre el dorso de la hembra hasta la eclosión de los adultos juveniles (Del Pino, 1980, 1989; Del Pino & col. 1975; De Pérez & Ruiz-C., 1985, De Pérez & col., 1992b). Estas especializaciones hacen parte de adaptaciones morfofisiológicas en las estrategias reproductivas.

De otra parte, además de los órganos reproductivos y sus tractos asociados, en la mayoría de los anfibios se presentan diferencias sexuales, que incluyen tamaño de machos y hembras, desarrollo glandular, textura de piel, ornamentación dérmica, sacos vocales y coloración. Algunas diferencias persisten a través de la vida del adulto pero otras se desarrollan en respuesta a hormonas gonadotrópicas y están presentes durante parte del ciclo reproductivo, mientras otras estructuras que secretan sustancias cementantes u odoríferas que se usan en el cortejo o son empleadas para sostener la pareja en un abrazo durante el apareamiento u oviposición (Duellman y Trueb, 1986). Dentro de estas dos últimas categorías se incluyen la glándula mentoniana presente en los machos de todos los géneros de hyperoliidos, con excepción de *Leptopelis*, en grupos australianos de *Litoria citropa* y en especies del grupo *Hyla bogotensis*, y la «glándula braquial» de la especie *Phrynopus adenobranchius* nominada y descrita recientemente (Ardila, Ruiz & Barrera, 1996. Lozania 67). Aunque se asume que este tipo de glándulas son estructuras asociadas a la actividad reproductiva no se conoce la organización histológica, las características de estructura fina ni se ha estudiado la constitución química de las secreciones que producen. Con base en lo anterior, hemos tratado de dilucidar los aspectos antes mencionados, con relación a la glándula mentoniana de dos especies del grupo *Hyla bogotensis* y de la «glándula braquial» de una especie del género *Phrynopus* como un aporte al conocimiento de la biología reproductiva de los anuros.

Metodología

Los especímenes, machos y hembras adultos de *Hyla alytolylax* e *Hyla sp «C»* del grupo *Hyla bogotensis* fue-

ron seleccionados de muestras obtenidas en la Inspección de Policía de Virolín - Charalá, Santander, Colombia, para esta última especie. Los especímenes de *Phrynopus adenobranchius* (machos y hembras adultos) se coleccionaron en la localidad típica. Segmentos de piel de la región de la glándula mentoniana de *Hyla alytolylax* e *Hyla sp «C»*, y segmentos de piel de la «glándula braquial» de *P. adenobranchius* se fijaron en 2.5% de glutaraldehído en amortiguador de Millonig, se postfijaron en 1% de tetróxido de osmio en el mismo amortiguador, se deshidrataron en concentraciones ascendentes de etanol y se embebieron en una mezcla de Epón-Araldita. Paralelamente se procesaron segmentos de piel (testigos) de la región medio dorsal del macho y de la región gular de la hembra de especímenes de *Hyla*, y de la región medio dorsal del macho y de la región del antebrazo de una hembra adulta de *P. adenobranchius*. El estudio histológico se realizó sobre secciones semifinas coloreadas con azul de toluidina; para la identificación de los productos de secreción de las glándulas presentes en las áreas de tegumento procesadas, se aplicaron las coloraciones P.A.S y azul de alcian-P.A.S, pH 2.5 sobre secciones semifinas ($\pm 1 \mu$). Las secciones ultrafinas se contrastaron con acetato de uranilo y citrato de plomo.

Resultados

Piel dorsal de las especies de Hyla bogotensis (grupo)

El tegumento (epidermis y estratos de la dermis) de la región medio dorsal procesada como testigo, tiene un espesor total de ca., 149 μ . La superficie de la piel dorsal de las dos especies mencionadas de *Hyla grupo bogotensis* es ligeramente ondulada; la epidermis tiene de 5 a 7 capas de células epiteliales y una capa córnea. Tiene un espesor de c.a. 33 μ . Las tres capas superiores son planas. Los espacios intersticiales son relativamente grandes en los estratos espinoso y germinativo y se reducen en las capas más externas. El rasgo más sobresaliente de la piel de esta especie es la presencia de la gran cantidad de capilares que penetran la epidermis hasta el nivel del estrato espinoso (intraepiteliales)

La estructura fina de las células de la epidermis medio dorsal es similar a la de otros anura. Las membranas plasmáticas son altamente contorneadas con un extenso sistema de complejos de unión tipo desmosoma (fig. 1) Los gránulos de glicoproteínas presentes en las células de la epidermis son pequeños y escasos.

El estrato esponjoso es una delgada franja de tejido conectivo laxo en el que se alojan glándulas mucosas, glán-

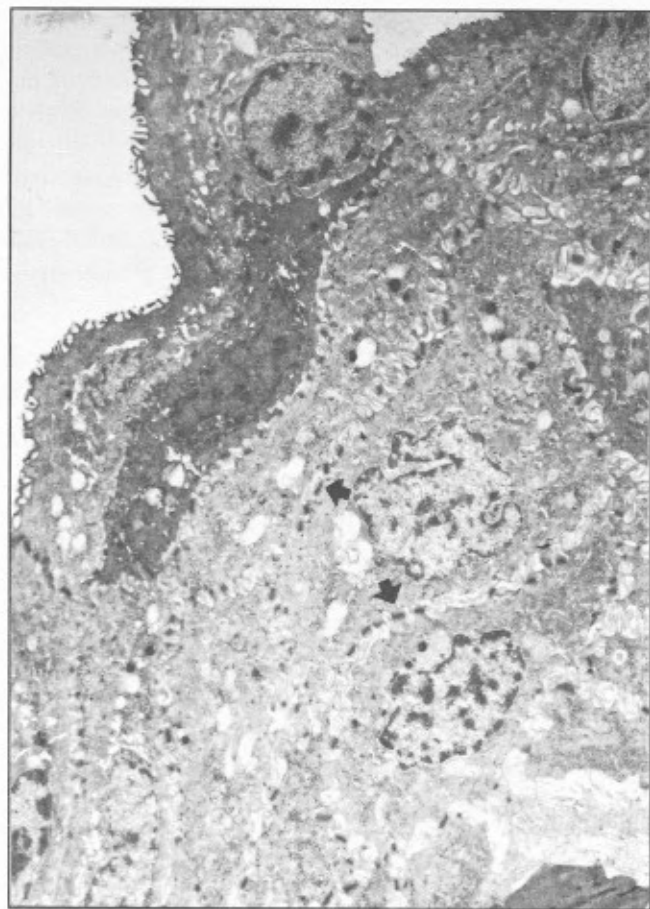


Figura 1. Electromicrografía de baja magnificación de la epidermis de la glándula mentoniana de *Hyla sp* «C» grupo *bogotensis*, que muestra un desarrollo extenso de uniones desmosómicas (→) x 6.700

dulas granulosas, capilares, nervios y células de la unidad cromatófora; los melanóforos forman un cordón fino subepitelial, interrumpido a nivel de los canales de las glándulas. La secreción de las glándulas mucosas es un mucopolisacárido P.A.S.⁺. La reacción P.A.S - Azul de Alcian para detectar sialomucinas fué negativa. En el estrato compacto alternan densos haces de fibras colágenas. Para efectos de terminología, en este trabajo utilizamos el término de glándulas granulosas usado para denominar las glándulas venenosas por la mayoría de autores.

Piel a nivel de la glándula mentoniana

El espesor del tegumento en la región de la glándula mentoniana es de $\pm 660\mu$, determinado fundamentalmente por la presencia de las unidades que constituyen la glándula mentoniana. La superficie de la epidermis que la recubre es lisa. Consta de seis capas de células epiteliales y una córnea (fig.2). Tiene un espesor de 42μ (mínima



Figura 2. Sección transversal del tegumento de la glándula mentoniana de *Hyla sp* «C» grupo *bogotensis*, en la cual se muestra una de las unidades glandulares a nivel del canal excretor (→) y dos glándulas granulosas. Se observan algunos capilares intraepiteliales x 400

18.53μ , máxima 62.73μ) y abundantes capilares intraepiteliales, rodeados lateralmente por células de la capa espinosa y de la capa germinativa. La membrana plasmática basal de las células de la capa germinativa es muy irregular, con delgadas proyecciones ancladas en el tejido conjuntivo del estrato esponjoso.

Por la presencia de la glándula mentoniana, el estrato esponjoso es bastante amplio; inmediatamente debajo de la lámina basal de la epidermis hay xantóforos e iridióforos. Los melanóforos son muy escasos y dispersos; en la región superior de cada unidad glandular, incluido el canal, se observan frecuentes fibroblastos, mastocitos y linfocitos; fibras musculares aisladas corren en dirección perpendicular a la superficie de la piel. La glándula mentoniana corresponde realmente a un agregado de múltiples unidades glandulares sencillas de tipo tubular recto, con la región secretora ampliamente ensanchada. Tienen una longitud promedio de $\pm 576\mu$;

el espesor total de la piel en esta área es de $\pm 660\mu$. Intercaladas con las unidades glandulares de la glándula mentoniana, hay numerosas glándulas granulosas (venenosas); las glándulas mucosas en esta región fueron escasas en las secciones estudiadas.

Histología y estructura fina de la glándula mentoniana.

Cada unidad glandular de la glándula mentoniana está constituida por un epitelio secretor monoestratificado columnar con núcleo basal (fig.3). Su conducto es biestratificado cúbico; a su alrededor los cromatóforos son raros. Los gránulos de secreción son muy abundantes y uniformemente distribuidos en cada una de las células; tienen reacción P.A.S. positiva, indicativa de la presen-

cia de glicoproteínas, mientras que la reacción P.A.S.-Azul de Alcian para sialomucinas fué negativa. Las unidades glandulares están separadas entre sí por finos haces de colágeno de tejido conectivo laxo que ascienden paralelos al cuerpo de la glándula en tanto que la glándula mentoniana como un todo está rodeada de tejido conectivo más denso. Numerosos capilares se observan alrededor de las unidades glandulares. La envoltura mioepitelial está muy poco desarrollada y no es muy evidente al microscopio de luz.

La característica más notable de la estructura fina de las células de las unidades glandulares de la glándula mentoniana es el gran desarrollo del retículo endoplasmático rugoso (RER) y la abundancia de gránulos de secreción de tamaño variable. Existen diferencias en la distribución y extensión del retículo relativas al grado de almacenamiento del producto secretor en los gránulos. En áreas donde los gránulos son de mayor tamaño los perfiles o cisternas de retículo son pequeños, y en áreas de síntesis e inicio de acumulación de la secreción, el RER está conformado por grandes cisternas poligonales que rodean varios gránulos de pequeño tamaño o por perfiles de longitud considerable (figs. 4a y 4b). Los gránulos son excretados continuamente por exocitosis en la región apical de las células.

El estrato compacto aloja en la parte más profunda, vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas. Los haces superiores del estrato compacto definen áreas cóncavas sobre las cuales descansan las bases de cada una de las glándulas. Haces de fibras colágenas ascienden perpendiculares al estrato compacto y establecen una transición con los finos haces de colágeno del estrato esponjoso, que separa las glándulas adyacentes.

Discusión

Las glándulas mucosas y granulosas, son de ocurrencia común en machos y hembras de todos los Anura. Sin embargo se han descrito otros tipos de glándulas en los anfibios, algunos de ellos en relación con la época de cortejo, de apareamiento o de crianza, especialmente en machos. En *Gastrophryne carolinensis*, un microhílido, se presentan glándulas alveolares especiales «flask-shaped» en la región esternal de los machos que secretan una sustancia responsable de la adhesión de la pareja. La secreción es liberada por la mitad superior de las células. En esta área las glándulas mucosas y granulosas son de menor tamaño y menos numerosas que en el resto del cuerpo. Las glándulas de la crianza no se extienden sobre el vientre. En las hembras, el dorso no muestra ninguna es-

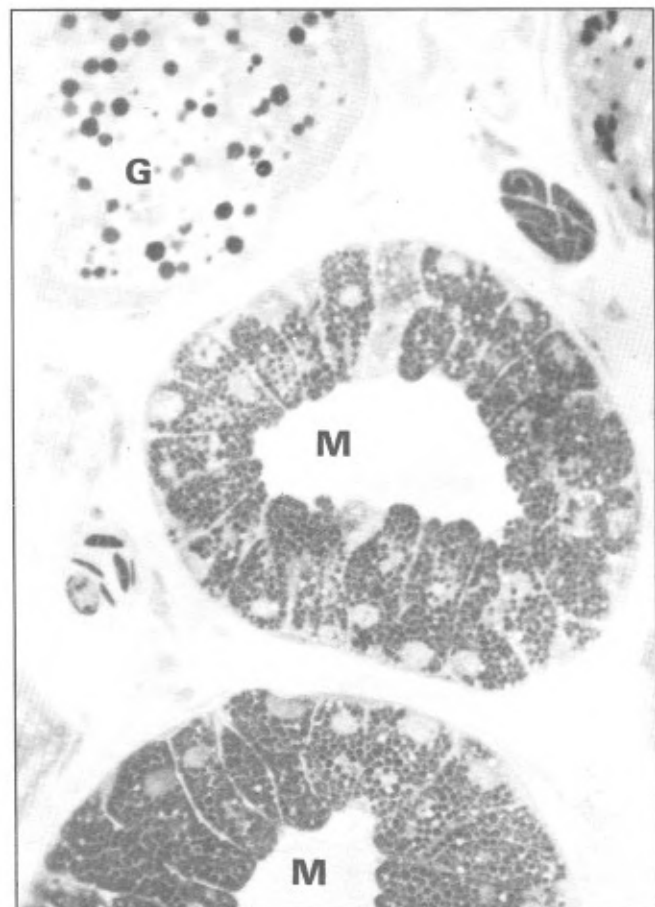


Figura 3. El corte paralelo a la superficie del tegumento *Hyla* sp. «Cu» grupo *bogotensis*, muestra la histología de unidades glandulares mentonianas (M) inmersas en el estrato esponjoso. Cada una está compuesta por un epitelio monoestratificado cilíndrico con núcleo basales; el volumen celular de casi todas las células está prácticamente ocupado por gránulos de secreción. También se aprecian parcialmente dos glándulas granulosas (G). $\times 1000$

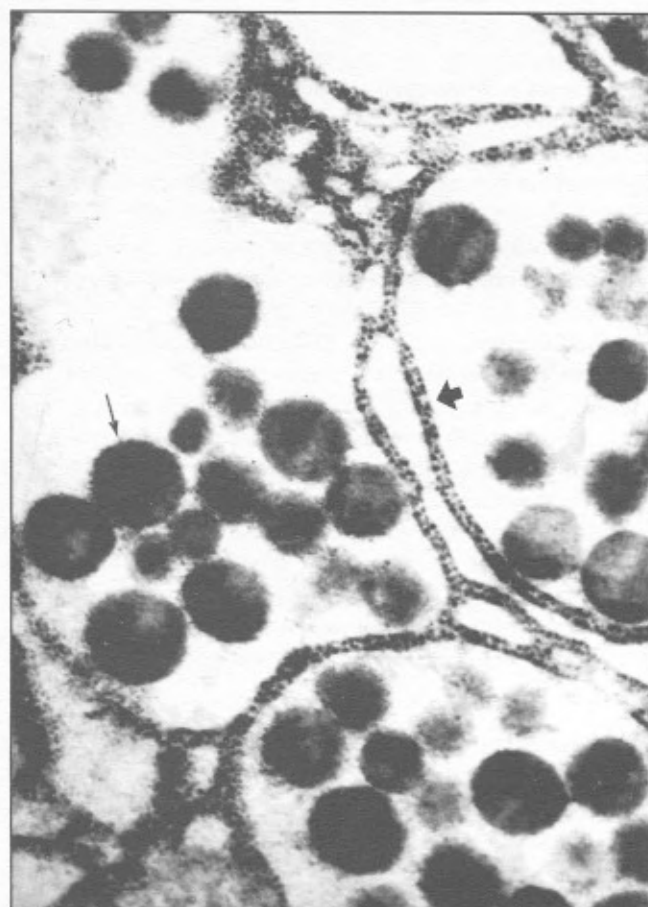
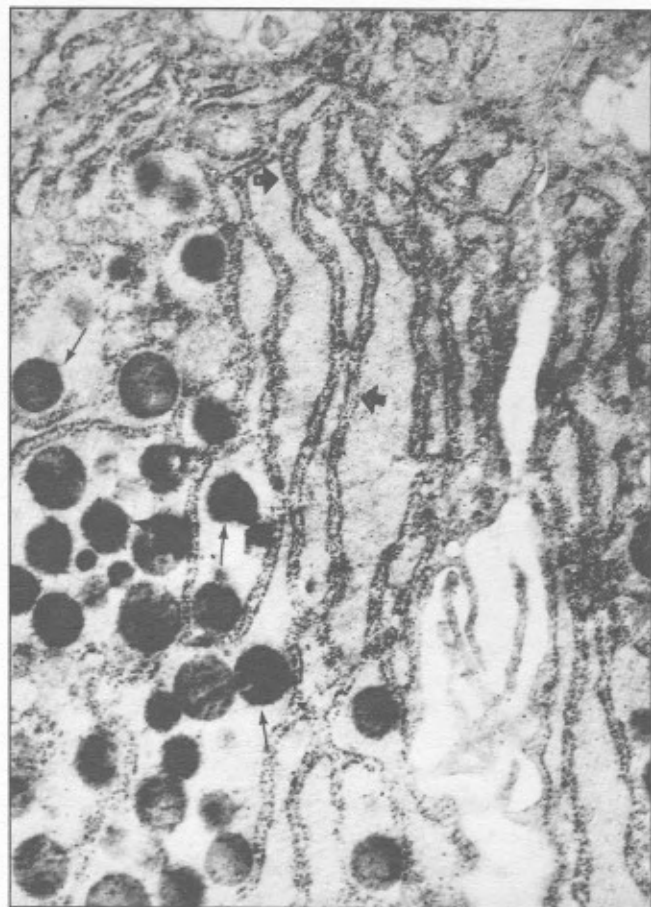


Figura 4a y b. Dos aspectos del desarrollo del RER de células en actividad de síntesis de una unidad glandular de la glándula mentoniana de *Hyla* sp «C» grupo *bogotensis*. A. cisternas longitudinales (→) y algunos gránulos (→) en proceso de condensación del producto secretor. x 16.000. B. Cisternas poligonales que encierran gránulos de secreción. x 26.000.

pecialización de la piel. (Conaway y Metter, 1967). Además, Duellman y Trueb (1986) menciona las siguientes glándulas asociadas a la época de crianza en machos de varios géneros y cuya localización es muy variable. En especies del género *Ptychohyala* estas glándulas se presentan en la región ventrolateral, en algunos ránidos de Africa y Madagascar se presentan glándulas femorales en la región ventral de los muslos; en los machos de *Hymenochirus* y *Pseudohymenochirus*, dos géneros de pípidos, las glándulas se localizan en la región postaxilar y en ránidos de los géneros *Dimorphognathus* y *Hemisus*, se desarrollan otras glándulas en la superficie dorsal de la mano. En especies de los géneros *Rana* e *Hylarana* se presentan glándulas «humerales» en la superficie dorsal del brazo. La glándula del extremo rostral de *Rana macrodactyla*, y una gran glándula lateral, posterodorsal a la axila en *Rana adenopleura* están consideradas como característica sexual secundaria, con funciones en el pro-

ceso de apareamiento u oviposición. Los machos de hyperoliidos tienen glándulas sobre la superficie de los antebrazos. En otros machos hay glándulas ventrales, que entran en contacto con la hembra durante el amplexus y aunque su función no se conoce, se asume que sus secreciones tienen efecto estimulante sobre la ovulación u oviposición de la hembra. De otra parte los machos de algunas especies de *Leptopelis* tienen un par de glándulas pectorales o una simple glándula transversa en la región pectoral que son grupos de glándulas idénticas a las que forman las almohadillas nupciales (K. Schmidt, 1959, in Duellman y Trueb, 1986). En las especies de *Cryptobatrachus*, las hembras poseen glándulas especiales para la adhesión de las crías durante el desarrollo (De Pérez & Ruiz, 1985; De Pérez & col. 1992b).

Glándulas mentonianas (gulares) de formas diferentes se encuentran en todos los géneros de hyperoliidos,

excepto en *Leptopelis*, en miembros del grupo *Hyla bogotensis* y grupos australianos de *Litoria citropa*. Como se mencionó antes estas glándulas parecen estar presentes durante todo el año en la mayoría de las especies. La presencia de este tipo de glándula (denominada mentoniana o hedónica), ha sido descrita en la mayoría, sino en todas las especies de salamandras de la familia Plethodontidae. Esta glándula se localiza en el extremo del mentón como una estructura pequeña con un grado de variación en los diferentes géneros y especies de Plethodontidae en cuanto a forma (oval, circular, sub-circular, cordiforme, triangular) número de unidades glandulares, arreglo y presencia de pigmentación en la membrana limitante. Se presentan únicamente en los machos y constituye un carácter sexual secundario, que funciona durante la estación de crianza y de alguna manera estimulan la actividad de la hembra durante el cortejo (Truffelli, 1954). Su secreción actúa como un estimulante sexual o juega un papel importante durante el cortejo (Sever, 1976). La denominación de glándulas hedónicas ha sido utilizada de manera general para designar estos tipos de glándulas.

Externamente la forma de la glándula mentoniana en las dos especies del grupo de *Hyla bogotensis* estudiadas es ovoide o redonda. Su presencia en los hílidos del grupo *bogotensis* ha sido advertida por varios autores, pero al parecer no hay información sobre su estructura histológica, su estructura fina, o el tipo de secreción. En *Hyla lynchi* del grupo *Hyla bogotensis* (*sensu* Ruiz & Ardila 1991) la glándula mentoniana estaría constituida por conjuntos glandulares separados, no identificables exteriormente. En general, histologicamente, las unidades glandulares tienen similitud morfológica con las de la glándula mentoniana presente en algunas especies de la familia Plethodontidae (Ver Truffelli, 1954; Sever, 1976). Duellman y Trueb (1986) la designan como glándula granulosa; sin embargo nuestros resultados con pruebas histoquímicas (PAS y azul de Alcian pH 2.5 y P.A.S.-Azul de alcian pH 2.5) demuestran que el contenido de los gránulos de las células de cada unidad, es rico en glicoproteínas neutras, no común en las glándulas granulosas (venenosas) de los Anura. La presencia de un abundante retículo endoplasmático rugoso (RER) corrobora el origen y la naturaleza del contenido de los gránulos.

Histología del tegumento del antebrazo («glándula braquial») de *Phrynopis adenobruchius* (Anura, Leptodactylidae)

El estudio de segmentos testigo de piel de la región medio dorsal del macho y de la región medio dorsal y del

antebrazo de la hembra, demuestra la estructura clásica del tegumento de los anfibios. La epidermis consta de tres a cuatro capas de células epiteliales y una capa de células córneas. En las células de la capa germinativa y espinosa se observan melanosomas especialmente en la región supranuclear. El espesor promedio de la epidermis es de ca de 25 μ en la región medio dorsal y de ca de 27 μ en la región del antebrazo de la hembra. El estrato esponjoso lo constituye una discreta franja de tejido conectivo laxo, en el cual están contenidos los cromatóforos, las glándulas mucosas y granulosas, además de pequeños capilares y fibras nerviosas. En las áreas libres de glándulas, el espesor de este estrato en la piel medio dorsal y en la región del antebrazo es de ca., 30 μ . Dentro de este estrato, los melanóforos forman una cadena delgada subepitelial que alterna con iridióforos y xantóforos. Los melanóforos forman un cordón delgado alrededor de las glándulas. El estrato compacto tiene un espesor de c.a. de 52 μ en la piel medio dorsal y de c.a. de 59 μ en la región del antebrazo.

En el tegumento de la región medio dorsal de hembras y machos se constató la presencia de corpúsculos táctiles, muy comúnmente encontradas en especies de Anura. La gran protuberancia de la región ventral del antebrazo en los especímenes machos, considerada inicialmente una estructura glandular, en sección transversal consiste de pliegues de superficie suavemente ondulada, tiene un gran espesor fundamentalmente por un desarrollo inusual del estrato esponjoso. La epidermis tiene un espesor promedio de 24 μ , con cuatro capas de células epiteliales de las cuales la más externa es cornificada. La coloración histoquímica con P.A.S. confirmó la naturaleza glicoproteica de los gránulos que son de ocurrencia común en las células epiteliales de la epidermis. Ultraestructuralmente las células de la epidermis contienen los organelos que se observan en la piel de otros anura, con numerosas uniones desmosómicas entre ellas. En algunos sitios se observaron los gránulos de glicoproteína en proceso de exocitosis en células del estrato granular. En el área estudiada, se identificaron por microscopía electrónica frecuentes células de Merkel, reconocibles por los pequeños gránulos secretores, distribuidos en el citoplasma. El estrato esponjoso es particularmente amplio en el área estudiada, con un espesor promedio de 117 μ . El rasgo más sobresaliente de este estrato es la alta concentración de melanóforos distribuidos en todo el espesor del estrato (fig.5): las relaciones de estas células con otros elementos del tejido conjuntivo del estrato esponjoso se pueden establecer de manera más precisa a nivel de microscopía electrónica: inmediatamente por debajo de la capa germinativa de la epidermis, los melanóforos entran en estrecho contacto con la lámina basal y forman un estrato casi continuo delineando las irregula-

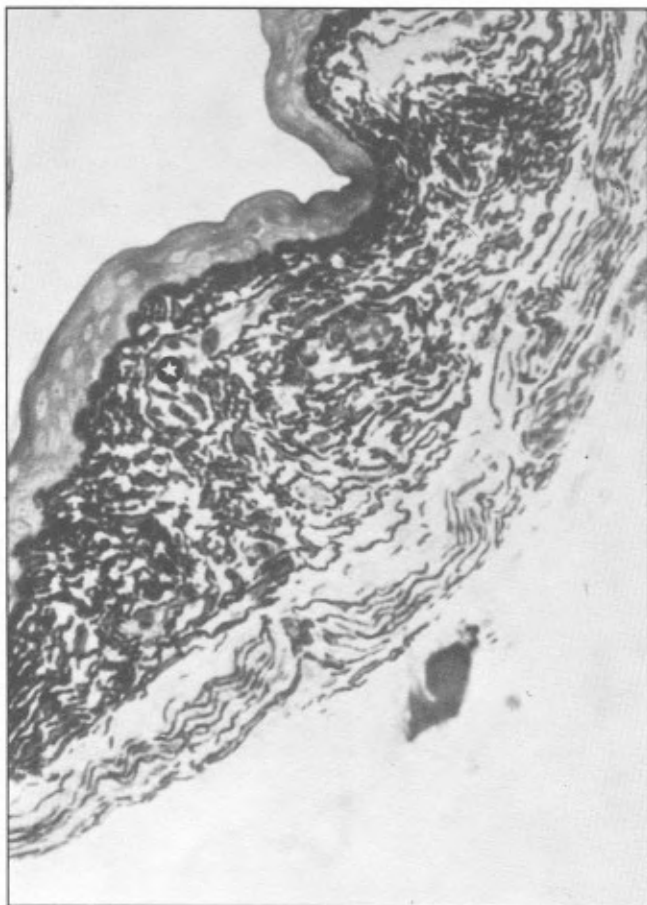


Figura 5. Pliegue del tegumento de la región del antebrazo del macho de *Phrynosoma macleayi*. El estrato esponjoso, ampliamente desarrollado, contiene gran cantidad de melanóforos embebidos en la matriz fundamental del tejido conectivo laxo con finas proyecciones orientadas en distintas direcciones. Algunos capilares (C) están presentes en esta área. x 520

ridades de la membrana basal del epitelio (fig. 6); cuando no se presentan melanóforos, grupos de iridióforos o xantóforos (fig. 7) ocupan su lugar; en el interior del estrato esponjoso (fig 8) se encuentran abundantes melanóforos dispersos con finas y numerosas proyecciones citoplasmáticas, embebidos en la sustancia fundamental. Asociados a los melanóforos se observan pequeños xantóforos; en sectores donde las fibras colágenas tienen una dirección perpendicular a la superficie de la piel, los melanóforos corren paralelos a ellas. El estrato esponjoso es particularmente vascularizado con capilares de gran tamaño, haces muy finos y poco frecuentes de fibras colágenas inmersos en una abundante sustancia fundamental, como se deduce de la presencia de espacios «vacíos» (electrolúcidos) comparativamente extensas. La frecuencia de glándulas mucosas y granuladas, y el tamaño de las

glándulas mucosas es algo mayor que en la piel medio dorsal del macho. Histoquímicamente, por su reacción positiva con P.A.S., se demostró que el contenido de los gránulos de las glándulas mucosas es de tipo glicoproteico, al igual que el de las glándulas de la región medio dorsal de machos y hembras, y las de la región del antebrazo de las hembras. En la región del ensanchamiento del antebrazo del macho, el espesor del estrato compacto es de 37μ : la orientación de las fibras colágenas conserva el patrón observado en otras especies de Anura pero los haces están constituidos por muy pocas fibrillas de apariencia laxa, reforzada por la presencia notable de brazos muy finos de melanóforos entre los haces de fibras de colágeno (fig.9). Esta condición le otorga al estrato compacto un carácter menos denso que en la piel medio dorsal y la piel del antebrazo de hembras.

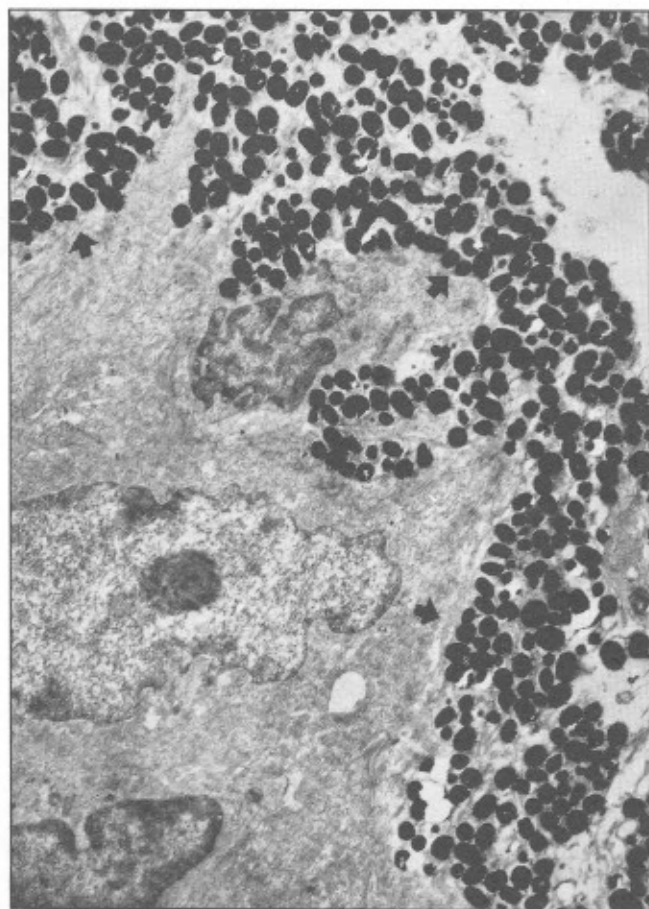


Figura 6. Obsérvese la estrecha relación de melanóforos (→) con la lámina basal de la capa germinativa de la epidermis a lo largo de la mayor parte de los pliegues del tegumento del antebrazo de *P. macleayi*. x 5600

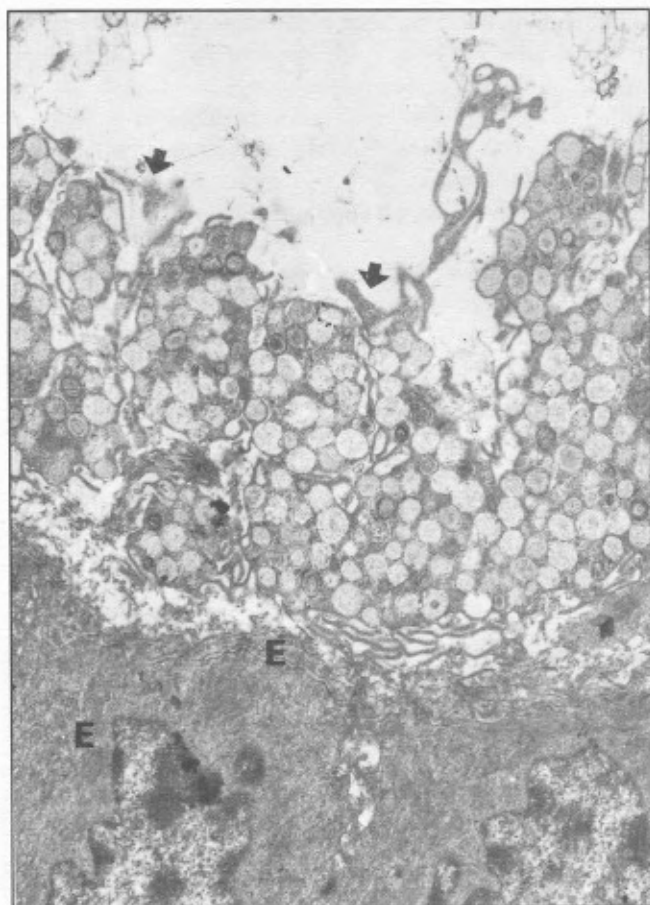


Figura 7. Disposición de xantóforos (→) subyacentes a la epidermis (E) en algunas áreas del antebrazo de *P. adenobranchius*. x 4600.

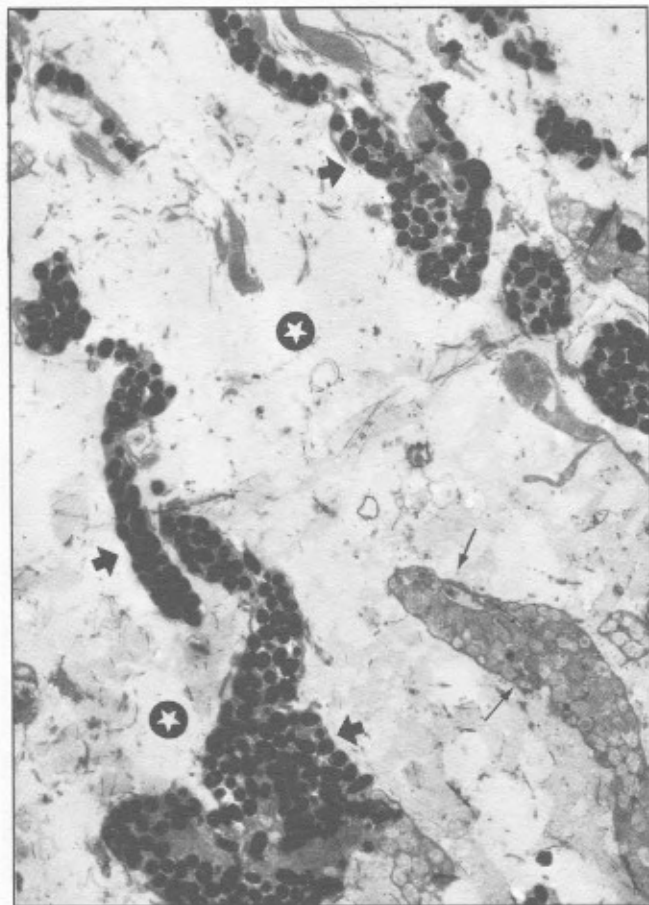


Figura 8. Electromicrografía de baja magnificación. Se aprecia un aspecto del estrato esponjoso, la distribución de las proyecciones citoplasmáticas de los melanóforos (→) y la presencia de proyecciones de xantóforos (★). Los amplios espacios corresponden a la matriz fundamental (⊕), casi desprovista de fibras o de haces de fibras colágenas. x 4600

Discusión

Nosotros habíamos inicialmente considerado la región ensanchada del antebrazo de *Phrynopus adenobranchius* como una especialización glandular cuya gran secreción serviría como material cementante para sostener la pareja durante el amplexo, pero los hallazgos de su composición histológica no muestran un desarrollo significativamente importante de estructuras secretoras, -las glándulas mucosas son apenas discretamente más grandes y su frecuencia está dentro de los límites normales- que coadyuvan en el soporte por cementación durante el apareamiento. Resulta sorprendente entonces proponer que la composición estructural del tejido esponjoso en la región aludida, dada la gran extensión de áreas libres de elementos fibrilares y celulares propios del tejido conectivo areolar laxo, y el desarrollo de abundantes espacios amplios, ocupados por sustancia fundamental rica

en glicosaminoglicanos, muy probablemente con mayor proporción de ácido hialurónico, substituyan tal función adhesiva. Desafortunadamente los fijadores acuosos como los utilizados en este estudio, no son satisfactorios para la conservación de estas moléculas de la matriz porque las extraen; (aunque su preservación se puede mejorar con el empleo de rojo de rutenio un colorante policatiónico que interactúa con los grupos aniónicos), ya que las cadenas se colapsan durante la deshidratación y los glicosaminoglicanos se observan como gránulos de 10-20 nm en el intersticio. El ácido hialurónico que suele ser abundante en el tejido conectivo laxo tiene una alta viscosidad en solución acuosa, y contribuye a la consistencia de gel de la sustancia fundamental (Bloom y Fawcett, 1994). Se cree además que juega un papel importante en

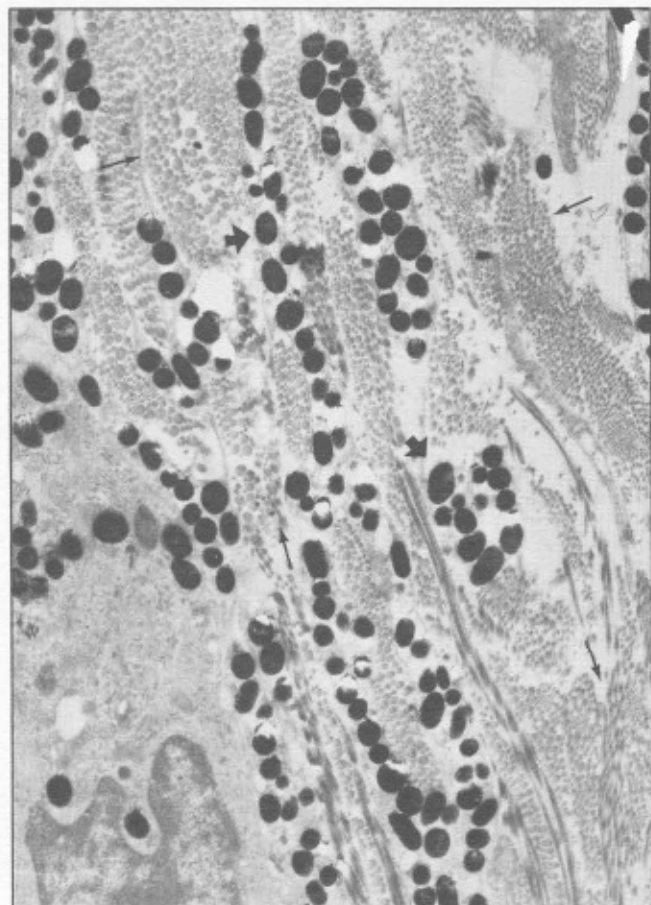


Figura 9. Estructura fina de una región del estrato compacto a nivel del antebrazo del macho de *P. adenobranchius*. Obsérvese la disposición de los haces de fibras colágenas () que alternan con proyecciones paralelas de melanóforos (→) x 7500

la resistencia a fuerzas de compresión de los tejidos, y llena espacios como en el caso de los embriones donde también es abundante, y puede ser utilizado para forzar un cambio en la forma de una estructura (Alberts y col., 1994). Otra característica de las moléculas de ácido hialurónico es su gran capacidad de expansión en el agua tendiendo a ocupar un gran volumen. Sintetizada en el lado basal de una capa epitelial, da lugar a menudo a un espacio libre de células en el cual éstas pueden migrar posteriormente, como ocurre en la córnea, corazón y varios órganos. La notable abundancia de matriz extracelular en los espacios presentes y las propiedades anotadas del ácido hialurónico podrían constituir un sistema hidrodinámico altamente especializado, capaz de generar una fuerza mayor suficiente para sujetar y mantener la pareja adherida largo tiempo durante el amplexo inguinal contrarrestando así la escasa posibilidad de hacerlo dado que

los individuos machos y hembras de la especie son de pequeño tamaño pero voluminoso (LRC machos adultos en promedio 16 mm y hembras 20 mm) de brazos y dedos muy cortos y delgados, y carecen de excrescencias nupciales.

Agradecimientos

Este trabajo hace parte del Proyecto «Estudio morfológico, ultraestructural e histoquímico del tegumento de especies de Anura (Amphibia) en relación con el proceso de la reproducción» financiado por CINDEC y apoyado por la Facultad de Ciencias, el Centro de Microscopía, el Departamento de Biología y el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. La profesora Cristina Ardila coleccionó parte del material.

Bibliografía

- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts & J. Watson. 1994. Molecular Biology of the Cell. Third edition. 1994. Ed. by Garland Publishing, Inc. New York.
- Ardila, M.C., P.M. Ruiz-C & M. Barrera R. 1996. Una nueva especie de *Phrynosoma* (Amphibia, Anura, Leptodactylidae) de la Cordillera Central colombiana. *Lozania* 67.
- Blaylock, L.A. & R. Ruibal, K. Pattaloia. 1976. Skin structure and wiping behavior of Phyllomedusinae frogs. *Copeia*. (32): 283-295.
- Bloom, W. & D. W. Fawcett. 1994. A Textbook of Histology. Twelfth Edition. Chapman y Hall, New York & London.
- Conaway, C.H. & D.E. Metter. 1967. Skin glands associated with breeding in *Mycrohyala carolinensis*. *Copeia* (3): 672-673.
- De Pérez, G. & P.M. Ruiz-Carranza. 1985. Ultraestructura e histoquímica de dos tipos de glándulas mucosas de la piel de *Cryptobatrachus* (Amphibia; Anura; Hylidae). *Caldasia* 14 (67):251-264.
- De Pérez, G., P.M. Ruiz-Carranza, & M.P. Ramírez-Pinilla. 1992 a. Modificaciones tegumentarias de larvas y adultos durante el cuidado parental en *Minyobates virolinensis* (Amphibia: Anura; Dendrobatidae). *Caldasia* 17 (1): 75-86.
- De Pérez, G., P.M. Ruiz Carranza, & M.P. Ramírez-Pinilla. 1992 b. Especializaciones del tegumento de incubación de la hembra de *Cryptobatrachus boulengeri* (Amphibia: Anura: Hylidae). *Caldasia* 17 (1): 87-94.
- Del Pino, E.M. 1980. Morphology of the pouch and incubatory integument in marsupial frogs. *Copeia*, (1) 10-17.
- Del Pino, E. M. 1989. Marsupial frogs. *Spektrum der wissenschaft*; 19-28.
- Del Pino, E.M. M.L. Galarza, C.M. de Albuja & A.A. Humphries JR. 1975. The maternal pouch and development in the marsupial frog *Gastrotheca riobambae* (Fowler) *Biol. Bull.* 149:480-491.

- Duellman, W.E. & L. Trueb. 1986.** Biology of amphibians. Ed. McGraw Hill Company N.Y.
- McDiarmid, R.W. 1978.** Evolution of parental care in frogs. Pp127-147 In G.M. Vurkhardt y M. Bekiff (eds). The Development of Behavior: Comparative and Evolutionary Aspects, Nueva York: STPM Press.
- Myers, C.W. & J.W. Daly, 1980.** Taxonomy and ecology of *Dendrobates bombetes*, a new Andean poison frog with new skin toxin. Amer.Mus.Nov. 2692: 1-23.
- Ruiz-Carranza, P.M. & Ardila, C. 1991.** Una nueva especie de *Hyla* del grupo *bogotensis* (Amphibia : Anura : Hylidae) de la cordillera oriental de Colombia. Caldasia 16: 337-342.
- Sever, D.M. 1976.** Induction of secondary sexual characters in *Eurycea quadrigitata*. Copeia (4): 830-833.
- Trufelli, G.T. 1954.** A macroscopic and microscopic study of the mental hedonic gland-clusters of some Plethodontid salamanders. The University of Kansas, Science Bulletin 36:3-35

VIDA ACADEMICA

1. PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA CON OCASIÓN DE LA SESIÓN SOLEMNE ESTATUTARIA CELEBRADA EL 21 DE AGOSTO DE 1996.

Varios motivos congregan esta tarde en sesión solemne a la Academia. Ante todo quisiera destacar, la celebración del sexagésimo aniversario de su constitución mediante la expedición del Decreto 1218 de 1936, suscrito por el presidente Alfonso López Pumarejo y su ministro de Educación, Darío Echandía, por el cual el Gobierno Nacional declaró oficialmente constituida la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la dotó de recursos para asegurar su funcionamiento inicial.

En octubre de 1936, pocos meses después de constituida oficialmente la Corporación, se produjo otro acontecimiento singular que hoy también quisiera exaltar, la aparición del primer número de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; la misma que con el correr de los años, no solamente ha sido el medio que le ha permitido cumplir eficazmente con una de sus tareas fundamentales, como es la de difundir el conocimiento científico, si no que ha devenido en la imagen de la vida científica y académica que proyecta la Institución en el ámbito nacional e internacional. Por la misma razón, su historia refleja el devenir de la Academia. Una y otra irrumpieron en el mismo año en el escenario cultural de la Nación, en aquella década de los años 30, tan fecunda para la educación, la ciencia y la cultura.

Como habrán de señalar quienes en el futuro se ocupen del estudio profundo y crítico del desarrollo histórico de la Ciencia en nuestro medio, la promulgación del decreto constitutivo de la Academia Colombiana de Ciencias, coincide con la adopción de otras disposiciones y mandatos del Gobierno Nacional y del Congreso de la República de esa época, encaminados a crear y fortalecer instituciones que habrían de propiciar el enriquecimiento de la vida cultural de la Nación y la iniciación del proceso de modernización del Estado y de la sociedad colombiana. Cabe resaltar entre tales mandatos, el restablecimiento de la Universidad Nacional de Colombia, la creación y puesta en funcionamiento de la Escuela Normal Superior, el restablecimiento de la Biblioteca Nacional y, algunos años más tarde, la fundación del Instituto Etnológico Nacional.

En el mismo decreto en el cual se declara oficialmente constituida la Academia Colombiana de Ciencias, aparte de establecer las normas generales que habrían de regir la Institución, se crearon las secciones que la conforman y se designaron, para cada una de ellas, los miembros numerarios, así :

Sección de Ciencias Exactas: Jorge Acosta Villaveces, Julio Carrizosa Valenzuela, Víctor Caro, Darío Rozo y Rafael Torres Mariño; **Sección Físico-química:** Antonio María Barriga Villalba, Alberto Borda Tanco, César Uribe Piedrahita, Ricardo Lleras Codazzi y Jorge Álvarez Lleras; **Sección de Ciencias Naturales :** Calixto Torres Umaña, Luis María Murillo, Enrique Pérez Arbeláez, Luis Cuervo Márquez y Federico Lleras Acosta. La Academia, por su parte, eligió como **Miembros Honorarios** al doctor José Joaquín Casas, promotor de la Academia, al hermano Apolinar María, Director del Museo de Ciencias Naturales de la Salle y al padre jesuita, Simón Zarazola, Director del Observatorio Meteorológico de San Bartolomé.

La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, guarda celosamente la memoria de todos y cada uno de sus fundadores y exalta el ejemplo de sus vidas. Hoy, en esta reunión, les rinde homenaje de reconocimiento por sus esfuerzos, tras la meta de convertir a la Academia, con el correr del tiempo, y las contribuciones de quienes habrían de sucederlos en la entidad por excelencia promotora de la ciencia en nuestro medio, impulsora del acrecentamiento del conocimiento científico en general y el de nuestro propio entorno natural; así como de su difusión y del mejoramiento de la enseñanza de la ciencias, en todos los niveles del sistema educativo colombiano.

Ahora, cuando el conocimiento científico se ha convertido en uno de los pilares del desarrollo de los pueblos y suele traducirse en el ascenso de las naciones, sobretodo si se conjuga con la exaltación y ejercicio por parte de la sociedad y de sus miembros, de aquellos otros valores que enaltecen la vida y el comportamiento humanos, los ideales que inspiraron a nuestros fundadores y los ingentes esfuerzos realizados por ellos, en pos de crear un espacio institucional estable, propicio y fe-

cundo para asegurar la participación colombiana en la tarea universal de acrecentar y mejorar los conocimientos científicos sobre la realidad, en todas sus ordenes, recobran plena actualidad y vigencia.

De allí, que quienes, por generosa decisión de nuestros colegas, hemos sido honrados, una vez más con la elevada responsabilidad de presidirla durante el próximo bienio, reafirmamos hoy nuestra decisión y voluntad de proseguir la ruta que con tanta clarividencia y patriotismo nos señalaron los fundadores de la Institución.

Así, nos proponemos estimular y apoyar, de una u otra forma y, en la medida que las posibilidades reales lo permitan, la realización de los proyectos de investigación científica que sus miembros sometan a consideración de la Academia.

Propenderemos por el fortalecimiento de los programas de difusión del conocimiento, a través de la publicación periódica y regular de la Revista de la Academia y las cuatro colecciones de libros, a saber: Colección Jorge Alvarez Lleras, de tratados científicos; Enrique Pérez-Arbeláez, de Historia de la Ciencia; Julio Carrizosa Valenzuela, Textos para enseñanza de las Ciencias; y la colección Memorias, de los eventos científicos que realiza la Academia.

De igual manera, contando con las iniciativas y colaboración de todos sus miembros, se promoverán y ejecutarán programas dirigidos al mejoramiento de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en todos los niveles. Se fortalecerán aún más, las actividades de la Academia de proyección hacia la comuni-

dad científica colombiana a través de la realización de certámenes dirigidos a la difusión del conocimiento científico o a su utilización en la búsqueda de soluciones a problemas urgentes de alcance nacional. Se fortalecerá, asimismo, el programa de estímulos de los investigadores, mediante el otorgamiento de premios y distinciones a quienes hayan hecho contribuciones notables al avance del conocimiento científico y de modo particular, a quienes a lo largo de su vida hayan consolidado una obra científica meritoria y perdurable.

Se continuará apoyando a los comités y grupos de trabajo, tales como el Comité para coordinación de la participación colombiana en los programas internacionales "Geósfera y Biósfera" y "Estudio del Cambio climático Global". Asimismo, se robustecerá el apoyo al trabajo que viene cumpliendo el Grupo de Ciencia Teórica, conformado mayoritariamente por científicos de las nuevas promociones y estudiantes de ciencias.

Valiéndonos de la afiliación de la Academia a entidades internacionales, promotoras de la ciencia, como : el Consejo Internacional de las Uniones Científicas, ICSU y de nuestras relaciones, con la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, con las academias nacionales de ciencias de América y de Europa y con la UNESCO, se insistirá en los esfuerzos por lograr la participación de los miembros de la comunidad científica colombiana en los programas internacionales de investigación científica, particularmente, aquellos dirigidos al abordamiento de problemas que afectan la calidad del entorno y ponen en peligro el sostenimiento de la civilización contemporánea y aún la supervivencia de la especie humana en el planeta.



El Dr. Luis Duque Gómez, decano de los académicos numerarios toma el juramento a la Mesa Directiva designada para el periodo 1996 - 1998 durante la sesión solemne estatutaria realizada el pasado 21 de agosto.

Se continuará con el fortalecimiento y desarrollo de la **Biblioteca Luis López de Mesa** de la Academia, se incrementarán sus fondos bibliográficos y se complementarán las instalaciones que permitan la intercomunicación con las redes de información bibliográficas, nacionales e internacionales.

Se espera poder pronto someter a consideración del pleno de la Academia el proyecto de organización del "Instituto Interinstitucional de Alta Montaña" que operará bajo la coordinación de la Academia. La inauguración de la Sede Alterna de la Academia, en el próximo mes de octubre, no solamente facilitará la puesta en marcha de este programa, sino de las actividades de las diferentes secciones, de los grupos de trabajo y de la administración de la Academia.

Por fortuna, no estaremos solos en los esfuerzos que realizamos por alcanzar estas metas, contaremos, de ello estoy seguro, con la comprensión, estímulo y apoyo del Colegio Máximo de las Academias, de la comunidad científica colombiana y desde luego de todos y cada uno de los miembros honorarios de número y correspondientes que conforman nuestra institución, así como de las instituciones estatales, comprometidas en el fortalecimiento de la cultura, en todos sus órdenes.

Señoras y señores: en nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, agradezco a todas las personas que con su presencia le han dado especial realce y trascendencia en esta reunión en la cual la Academia conmemora acontecimientos relevantes de su ya larga historia como entidad al servicio de la ciencia, de la educación y de nuestra cultura.



El Dr. Gonzalo Correal Urrego, ganador del "Premio a la Obra integral de un científico" y el matemático Félix Soriano ganador del "Premio Academia Colombiana de Ciencias - Academia de Ciencias del Tercer Mundo para motivar a jóvenes científicos" en compañía del académico Guillermo Páramo Rocha, rector de la Universidad Nacional de Colombia y de algunos asistentes a la sesión solemne celebrada el 21 de agosto y durante la cual se entregaron los galardones correspondientes a 1996.

2. INFORME PRESENTADO POR EL DR. JOSE A. LOZANO, SECRETARIO DE LA CORPORACION EN RELACION CON LAS ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL AÑO ACADEMICO 1995 - 1996.

A continuación se resumen las actividades adelantadas por la Corporación durante el año académico estatutario comprendido entre el 20 de agosto de 1995 y el 19 de agosto de 1996.

SESIONES

a.- Junta Directiva. La Junta Directiva sesionó de manera ordinaria en diez oportunidades los primeros miércoles de cada mes, y extraordinariamente en dos ocasiones.

b.- Sesiones ordinarias. En las nueve reuniones ordinarias celebradas los terceros miércoles de cada mes entre septiembre de 1995 y julio de 1996, se dictaron las siguientes conferencias:

Septiembre 20: Don Moisés Wasserman "Evolución in vitro".

Octubre 18: Don Augusto Rivera "Síntesis Manual de Oligonucleótidos"

- Noviembre 15: Don Hernando Dueñas "El fin de los dinosaurios y de la era de los reptiles".
- Febrero 21: Don Santiago Gaviria "Ecología de ríos de planicie: el caso del Marchfeldkanal en el valle del Danubio".
- Marzo 20: Don Armando Espinosa "Los terremotos destructores en la historia de Santafé de Bogotá".
- Abril 17: Don Eduardo Brieva "Qué tan lejos estamos de Andrómeda?"
- Mayo 15: Don Gabriel Toro "La demencia - los priones y el concepto de encefalopatía espongiiforme".
- Junio 19: Don Santiago Díaz "Participación catalana en los estudios de Historia Natural en Colombia".
- Julio 17: Doña Margarita Peréa "Los microorganismos fitopatógenos y su incidencia en cultivos de importancia económica"

c.- Sesiones especiales. El 23 de agosto, durante la sesión solemne estatutaria don Tomás van der Hammen dictó la conferencia: "Hombre y medio ambiente en la sabana de Bogotá: pasado, presente y futuro".

En sendas sesiones tomaron posesión como académicos correspondientes varios científicos así: el 28 de febrero Jesús Orlando Rangel quien dictó la conferencia "La diversidad de la flora y la vegetación de Colombia", y el 24 de julio Alfonso Castro con la conferencia "La revista Electronic Journal of Differential Equations".

La Academia promovió a dos de sus miembros correspondientes a la categoría de numerarios. En septiembre 27 don Gerardo Pérez tomó posesión con la conferencia "Proteínas estructura, arquitectura y diseño"; el mayo 22 tomó posesión don Augusto Rivera con la conferencia "Desarrollo de una ruta alternativa de producción de vitamina D₂".

A partir del 22 de febrero se reiniciaron las reuniones de la Junta Directiva del Colegio Máximo de las Academias que se celebran cada mes en la sede de las diferentes entidades que lo constituyen. A las dos últimas reuniones se fueron invitadas las Juntas Directivas de las Academias. Se espera llegar a desarrollar programas con propósitos comunes.

Conferencias dictadas fuera de las instalaciones de la Academia.

En representación de la Academia, fueron pronunciadas las siguientes conferencias:

- Septiembre 18: Luis Eduardo Mora Osejo "La complejidad y la visión unitaria de la ciencia", dentro del II Encuentro Científico del Departamento de Biología.

- Octubre 18: Jorge Reynolds "Telemetría en Investigación Científica", en el auditorio de la Universidad Militar "Nueva Granada".
- Noviembre 15: Luis Eduardo Mora Osejo "Biodiversidad, tropicalidad y desarrollo", en el auditorio de la Universidad Militar "Nueva Granada".
- Noviembre 17: José A. Lozano "Cambio Global" y Humberto Rodríguez "Cambio Climático y Efecto de Invernadero", dentro del Primer Seminario sobre cambio global e inventario nacional de emisiones de gases que provocan efecto invernadero".
- Noviembre 28: Luis Eduardo Mora Osejo "La regulación de la transpiración en plantas de alta montaña" en la Hemeroteca Nacional dentro del seminario Representación y Ciencia.
- Noviembre 30: Luis Eduardo Mora Osejo "La ciencia en la década de los años 30 y su paralelismo con otras épocas de la historia colombiana", en el auditorio Aurelio Arturo de la Biblioteca Nacional con motivo de cumplirse el primer centenario de Don Daniel Samper Ortega.
- Mayo 17: José A. Lozano "Colombia ante el Cambio Global" y Humberto Rodríguez "Efecto de Invernadero y Gases que lo producen", dentro del Segundo Seminario sobre cambio global e inventario nacional de emisiones de gases que provocan efecto invernadero".
- Mayo 22: José A. Lozano "Cambio global y capacitación" dentro del Taller de educación en cambio global celebrado en Mendoza, Argentina.
- Agosto 18: José A. Lozano "Formación investigativa participativa orientada a capacitación de docentes" en la Asociación Boyacense de Liceanciados en Química y Biología y dentro del X Seminario Departamental que se realizó en Tunja, del 14 al 18 de agosto.

FALLECIMIENTOS

En este año la Academia tuvo que lamentar la pérdida de los académicos honorarios don Eduardo Caro Caycedo y don José Cuatrecasas, y la de la académica correspondiente doña Virginia Montes de Gómez.

SEDE ALTERNA DE LA ACADEMIA

Finalmente la Secretaría de Planeación del Distrito Capital de Bogotá expidió la licencia de remodelación de la sede alterna de la Academia y el 3 de junio de 1996 se iniciaron los trabajos que avanzan satisfactoriamente.

CAMBIOS DE PERSONAL

Doña Claritza Gómez Rodríguez reemplazó a doña Mercy Díaz Casale como auxiliar de Biblioteca, a partir del 16 de abril.

CONTRATOS

El 20 de Octubre se firmó el contrato de asesoría y servicios con el Ministerio de Educación Nacional, correspondiente a 1995, por un valor de \$203.358.000.00., incluidos \$20.853.000.00 que debían ser transferidos al Colegio Máximo de las Academias y al Patronato de Artes y Ciencias. El valor de este contrato fue cancelado en dos contados en los meses de noviembre y diciembre.

Con el fin de transferir al Colegio Máximo y el Patronato de Artes y Ciencias las partidas correspondientes del dinero recibido por parte del Ministerio de Educación se firmó el contrato No. 01 con el Colegio Máximo de las Academias por un valor de \$ 20.853.000.00

El 30 de Agosto, la Academia firmó el contrato 218 con el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Francisco José de Caldas, -COLCIENCIAS- con el objeto de administrar parte del proyecto denominado Red Colombiana de Investigadores en el Exterior, Red Caldas. Por estos servicios la Academia cobró la suma de \$8.000.000.00.

El 1 de abril la Academia firmó el contrato 093-96 con COLCIENCIAS- con el objeto de administrar los recursos destinados por tal entidad para la realización del "Simposio Migraciones Científicas hoy". Por servicios de administración la Academia cobró la suma de \$4.800.000.00.

El 8 de Mayo de 1996 se firmó el contrato con el arquitecto Felipe Pombo Abondano para la remodelación de la sede de la Academia, por un valor aproximado de \$93.358.834.00.

CONCEPTOS

Por solicitud del Ministerio del Medio Ambiente la Academia emitió concepto sobre las siguientes propuestas:

Propuesta para la creación del Parque Nacional Natural de Caparu, Departamento del Vaupés;

Propuesta para el establecimiento y delimitación del Santuario de Fauna y Flora del Otún-Quimbaya (Departamento de Risaralda);

Propuesta para la realinderación del Parque Natural Chingaza.

Así mismo la Comisión de Educación de la Academia emitió concepto sobre los documentos "Propuesta de política nacional de educación ambiental" del Ministerio de Educación Nacional y "Arboles para la paz: hacia una política de educación ambiental 1995-1998" del Ministerio del Medio Ambiente.

PREMIOS

Con el objetivo de premiar la consagración de una vida a la investigación científica y de promover las vocaciones de jóve-

nes científicos, se convocó a concurso nacional para los premios que concede anualmente la Academia.

En sesión solemne, realizada el 29 de Noviembre, se entregó el *Premio a la Obra Integral de un Científico*, correspondiente al año de 1995, conferido a Doña María Teresa Murillo, distinguida investigadora del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia y el *Premio Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Academia de Ciencias del Tercer Mundo (ACCEFYN-TWAS)*, para motivar a jóvenes investigadores, concedido por igual a los investigadores doña Marianny Yajaira Combariza Montañez y don Cristian Blanco Tirado, de la Universidad Industrial de Santander, por su trabajo: "Estudio comparativo de los aceites esenciales de hojas y frutos cítricos colombianos" y a don Marco Fidel Suárez Herrera, de la Universidad Nacional de Colombia, por el trabajo: "Estudio del Proceso de transporte de Calcio a través de la membrana parasitófora-plasmática de *Plasmodium falciparum*".

En 1996 la Academia convocó nuevamente a concurso para el "*Premio a la Obra Integral de un Científico*" y para el *Premio Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Academia de Ciencias del Tercer Mundo (ACCEFYN-TWAS)*, para motivar a jóvenes investigadores, en el área de Matemáticas.

GRUPO DE CIENCIA TEORICA

El Grupo de ciencia teórica mantiene una actividad permanente con reuniones periódicas en las instalaciones de la Academia. Un comité editorial esta seleccionando los mejores trabajos para publicar un segundo volumen sobre temas pertinentes a la ciencia teórica dentro de la colección "Memorias". Los temas tratados y los conferencistas se enumeran a continuación:

Agosto 17:	Don Camilo Torres, "Espacio: mercado y paisaje".
Septiembre	21: Don Eugenio Andrade, "Evolución y complejidad".
Octubre 19:	Doña Primavera Grigoriu, "Estrategias diferentes para aumentar la información durante la evolución de los organismos simples y complejos".
Noviembre 16:	Don Manuel Ruiz García "Puede la genética de poblaciones explicar los procesos de macro y microevolución?".
Diciembre 14:	Mesa redonda presidida por don Luis Eduardo Mora-Osejo, don Carlo Federici y don Fernando Rosas sobre el tema "La ciencia teórica en general y la biología teórica en particular.
Febrero 22:	Don José Luis Villaveces Cardozo "Química y complejidad"
Marzo 21:	Don José Daniel Muñoz "Autómatas celulares: una nueva herramienta para construir modelos".

- Abril 18: Don Edgar Eduardo Daza "Espacios para la representación de estudios moleculares".
- Mayo 23: Don Sergio González "Complejidad y ciencias humanas".
- Julio 18: Don Virgilio Niño "Fenómenos cuánticos macroscópicos - un ejemplo de complejidad en física".
- Agosto 15: Don Joao Muñoz "Complejidad y selección natural"

BIBLIOTECA "LUIS LOPEZ DE MESA"

La Academia mantiene su biblioteca "Luis López de Mesa" cuyos volúmenes se incrementan permanente, principalmente a través del intercambio de publicaciones con entidades similares. La Revista se envía a 444 instituciones, 80 de ellas dentro del país. La Biblioteca cuenta con 600 títulos de publicaciones periódicas de las cuales 300 están activas. Además la Academia se suscribió a las siguientes revistas que se encuentran a disposición de los académicos y demás usuarios de la Biblioteca: Science, Nature, Scientific american, Trends in biochemical science, La Recherche, Interceram, Botanische jahrbücher, Current opinion in cell biology, Feddes repertorium y Mathematika.

Hasta el momento se ha sistematizado el canje y el registro de libros en un 25%.

PUBLICACIONES

Se publicó y distribuyó el número 75 de la "Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" correspondiente al año de 1995, con el cual se completó el volumen XIX. En marzo de 1996 apareció en el nuevo formato tamaño carta y respetando íntegramente todas las demás características editoriales, el No.76 de la Revista de la Academia y en julio salió a la luz el No. 77.

La Academia publicó y distribuyó los siguientes libros:

Colección Jorge Alvarez Lleras, de monografías científicas
Reimpresión de la obra Estudios Ecológicos en los Páramos y Bosques Alto Andinos Cordillera Oriental de Colombia, 2 tomos, editados por Luis Eduardo Mora Osejo y Helmut Sturm.

Ecología de dos sistemas acuáticos de Páramo, de John Donato, Luz Estela González y Claudia Liliana Rodríguez.

Colección Enrique Pérez Arbeláez, sobre historia de la Ciencia.

Disquisitiones Arithmeticae de Gauss. Traducción de Hugo Barrantes Campos, Michael Josephy y Angel Ruiz Zúñiga.

Colección Julio Carrizosa Valenzuela, de textos universitarios.

Tópicos en Química Básica de Carmen María Romero y Luis H. Blanco.

Mamíferos más comunes en sitios precerámicos de la Sabana de Bogotá. de Germán Alberto Peña León y María Pinto Nolla.

Colección Memorias

Memorias del Seminario Taller sobre Alta Montaña Colombiana.

Memorias del Primer Congreso Nacional de Neurocomputación.

Memorias del Primer Congreso Colombiano sobre Cambio Climático

INVESTIGACIONES

La Academia administró y llevó a cabo bajo su total responsabilidad, con autorización del Ministerio del Medio Ambiente, el Inventario nacional de gases de efecto invernadero, con la cofinanciación de la GTZ, en representación del gobierno de la República Federal Alemana. La investigación se programó para un año, el cual finalizó en el mes de junio. El informe final se presentó durante el mes de julio.

La Academia adquirió un Analizador portátil de fotosíntesis con sus respectivos accesorios para desarrollar el proyecto "Estudio de la transpiración, de la fotosíntesis y la respiración momentáneas en especies de árboles autóctonos y foráneos de diferentes pisos altitudinales de la Cordillera Oriental de Colombia, e interrelaciones con las fases de desarrollo, incremento de biomasa y propagación por semilla". Este proyecto, presentado a la Junta Directiva de la Academia en diciembre de 1995, fue complementado con otros dos proyectos, los cuales fueron presentados a consideración de Colciencias bajo los títulos:

1.- Estudio de la transpiración de la fotosíntesis y la respiración en especies de plantas autóctonas y foráneas de alta montaña.

2.- Estudio de los Patrones funcionales-estructurales y de las estrategias reproductivas y de dispersión de plantas del páramo.

3.- Estudio de la radiación adaptativa de los patrones funcionales - estructurales de las especies colombianas de los géneros *Libanothamnus*, *Espeletiopsis* y *Espeletia* y sus implicaciones biogeográficas, evolutivas y sistemáticas.

Estos tres proyectos tienen como investigador principal a don Luis Eduardo Mora Osejo y se desarrollan en estrecha colaboración con el Departamento de Biología y el CINDEC de la Universidad Nacional de Colombia.

Dentro de su política de apoyo a las investigaciones, la Academia auspició la dotación de varios estantes y de los materiales necesarios para la conservación de algunas colecciones del Herbario Nacional Colombiano a través de Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional.

Igualmente la Academia auspició la publicación del Boletín No. 4 para investigadores en Abejas, Avispas y Hormigas

"TACAYA" producido por el Laboratorio de Abejas del Departamento de Biología de la Universidad Nacional.

SEMINARIOS, TALLERES Y CURSOS

Además del "Seminario permanente de Ciencia Teórica", la Academia realizó dos seminarios el 17 de septiembre de 1995 y el 17 de mayo de 1996 sobre "Cambio global e inventarios nacionales de emisiones de gases que provocan efecto de invernadero", el primero, con el fin de informar a las personas y entidades interesadas y promover su participación y colaboración en la investigación, y el segundo con el fin de presentar un informe parcial de los resultados y discutir las políticas para poder llevar a cabo el estudio de estrategias de mitigación.

La Academia apoyó con partidas financieras y se hizo presente a través de algunos de sus miembros en la organización ó promoción y desarrollo de los siguientes eventos:

VII Congreso Colombiano de Geología,

IV Encuentro de campo del proyecto: Correlación de eventos jurásicos en la América del Sur.

II Encuentro científico del Departamento de Biología de la Universidad Nacional.

Simposio "Las migraciones científicas internacionales hoy. Nueva problemática".

IV Escuela de verano en "Ecuaciones Diferenciales y áreas relacionadas".

PARTICIPACIÓN EN ACTIVIDADES NACIONALES E INTERNACIONALES

La Academia Colombiana de Ciencias hace parte como miembro nacional del International Council of Scientific Unions (ICSU) y se encuentra afiliada a las siguientes entidades: International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) del cual la Biblioteca Luis López de Mesa es Centro de Información Regional; Federación Latinoamericana de Academias de Ciencias (FELAC); «Committee on Science and Technology

in Developing Countries - International Biosciences Networks» (COSTED-IBN), e "International Scientific Committee for Biotechnology" (COBIOTECH). Además suscribió la Declaración de las Academias de Ciencias durante la II Conferencia sobre Hábitat.

Durante el período académico a que hace referencia el presente informe, la Corporación estuvo representada oficialmente en los siguientes eventos: Taller "Investigación sobre Cambio Global en las Américas", auspiciado por el IAI, realizado en Belem, Brasil del 28 al 30 de agosto. (José A. Lozano). III Congreso de Química en Puerto Rico, entre el 10 y el 15 de septiembre. (Augusto Rivera); Quinta Conferencia General de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) en Abuja, Nigeria entre el 17 y 22 de septiembre, (Alicia Dussan en representación del Presidente); Fourth Meeting of the IGBP Scientific Advisory Council: SAC IV and Third ICSU Forum on Earth System Research, celebrado en Beijing, China, del 22 al 27 de octubre. (José A. Lozano); VIII Seminario de Bibliotecas en la ciudad de Cali, del 14 al 17 de noviembre. (Víctor Albis y la Jefe de la Biblioteca, Clara de Becerra); Comité Científico de la Fundación Pro Sierra Nevada de Santa Marta que se llevó a cabo el 25 y 26 de marzo en la estación ecológica Alto de Mira en la cuenca alta del río Buritaca. (Luis Eduardo Mora). El presidente de la Corporación también participó en una reunión, que se llevó a cabo en Leticia del 8 al 12 de mayo, con el Gobernador del Amazonas, los alcaldes de Leticia y Puerto Nariño y otras autoridades civiles y académicas, en la cual se presentó el "Proyecto de la creación de un Instituto de Estudios y Aprovechamiento de plantas del Amazonas"; Taller sobre Biodiversidad realizado en Villa de Leyva, entre el 16 y 18 de mayo, bajo los auspicios del Instituto Von Humbolt. (Luis Eduardo Mora); "Taller de educación y cambio global" realizado en Mendoza, Argentina entre el 20 y el 26 de mayo de 1996. (José A. Lozano); "Taller de concertación sobre el proyecto de resolución para la regulación, uso y manejo sostenible del páramo", convocado por el Ministerio del Medio Ambiente, el 30 de mayo. (Thomás Van der Hammen y José A. Lozano). Primer "Taller para la estructuración del contenido de la Enciclopedia de los sistemas de soporte de la vida", que se celebró en la ciudad de Panamá, entre el 11 y el 14 de agosto de 1996. (José A. Lozano).

3. ENRIQUE PEREZ ARBELAEZ Y LA FUNDACION DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS. CONFERENCIA DICTADA POR EL ACADEMICO SANTIAGO DIAZ PIEDRAHITA EN LA SESION SOLEMNE ESTATUTARIA CELEBRADA EL 21 DE AGOSTO DE 1996.

Entre la lista de los quince personajes que formaron la nómina inicial de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales encontramos a **Enrique Pérez Arbeláez**, destacado hombre de ciencia, fundador del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, del Jardín Botánico de Bogotá y promotor, entre otras empresas, de las publicaciones de la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783 - 1816). Don Enrique vió la luz en Medellín el 1° de marzo de 1896, en el hogar formado por **Jesús María Pérez** y por **Carolina Arbeláez Urdaneta**, pero de corta edad fue trasladado a la capital donde residió en casa de su abuelo, el general, **Juán Climaco Arbeláez**, miembro de una destacada familia donde abundaban los clérigos y los militares. Sus estudios elementales los hizo en el Instituto San Bernardo de Bogotá, plantel regentado por los Hermanos de las Escuelas Cristianas, prosiguiendo el bachillerato con los padres Jesuitas en el Colegio de San Bartolomé de donde pasó al Seminario de la Compañía de Jesús, para luego ir a España donde cursó teología y filosofía, ordenándose como sacerdote en 1926. Por tal época tomo cursos libres de biología y microscopía ampliando notablemente sus conocimientos en historia natural, formación que había iniciado en los montes de Chapinero y en

el invernadero de las Facultades Eclesiásticas, donde comenzó un herbario de helechos que aún se conserva. Luego pasó a Holanda y Alemania para complementar su formación como naturalista. Su título doctoral lo logró en la Universidad Maximiliana de Baviera con la tesis titulada: «*Die naturliche gruppe der Davalliaceen*», la cual fue calificada «*summa cum laude*». Su tutor fue el estricto profesor **Karl von Goebels**, director del Jardín Botánico de Nymphenburg y destacado organógrafo y anatomista.

Hombre visionario y lleno de ideales, para **Pérez Arbeláez** la sola posibilidad de lograr una meta se convertía en obligación de cumplirla; a la par con su vocación religiosa dió curso a su vocación investigativa, uniendo a su formación científica europea una entereza de carácter tal, cualidades que le permitieron una vez retornado al país, llenar los vacíos que impedían el verdadero desarrollo científico. En 1929 creó el Herbario Nacional Colombiano y bajo el convencimiento de que para su permanencia y futuro progreso se requería de un apoyo institucional, buscó el amparo de la Universidad Nacional, entidad donde promovió la creación de un Instituto que le sirviese de base. Al ver que el herbario alcanzaba un mayor crecimiento



El académico Santiago Díaz-Piedrahita pronuncia el estudio de fondo durante la sesión solemne del 21 de agosto de 1996.

que el jardín botánico que lo rodeaba, en 1955 buscó para este último el apoyo de las autoridades municipales bogotanas, con lo cual creyó garantizar su estabilidad y futuro desarrollo.

Pérez Arbeláez es el responsable del arraigamiento de la ciencia institucional en nuestro medio. Al igual que le ocurrió a **José Celestino Mutis** y a **José Jerónimo Triana**, **Pérez Arbeláez** se obsesionó con el estudio y la publicación de la Flora de Colombia y a partir de 1927 buscó incansablemente la forma de llevar adelante tal proyecto, aprovechando para ello los materiales dejados por la Expedición Botánica. Para lograrlo empleó cuanto recurso encontró a su alcance, y sin desmayar tocó las puertas de diferentes administraciones hasta ver coronados sus esfuerzos; en 1952 fué testigo presencial del acto mediante el cual se suscribió y protocolizó el Acuerdo bigubernamental que iría a garantizar la publicación de la iconografía mutisiana, así como tuvo la satisfacción de ver arraigado y en pleno desarrollo el Herbario Nacional Colombiano por el fundado, y al abrigo del Instituto de Ciencias que también fundara en 1936 con el apoyo de la Universidad Nacional. Medio siglo después y en el mismo Instituto, sedaría inicio la publicación de la Flora de Colombia, obra que ya cuenta con dieciocho monografías.

Un breve recuento de la labor adelantada por **Pérez Arbeláez** pone de presente como las gestiones adelantadas desde 1927 poco a poco fueron fructificando; su iniciativa de publicar la obra de **Mutis**, como ya se indicó, tomó cuerpo en 1952 al ponerse en marcha la edición de la flora monumental, de la cual se han editado hasta el presente 26 volúmenes, siempre respetando la idea del gaditano de publicar su «*Flora de Bogotá*» en folio mayor o forma atlántica, de tal manera que el mundo se sorprendería con una obra magistral realizada por pintores americanos. El 30 de octubre de 1936 tuvo la satisfacción de ver creado, el «Departamento de Botánica» que luego se convertiría en el «Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural», entidad en la cual se han perpetuado los ideales mutisianos, al ser la continuadora de los trabajos de la Expedición, y en 1929, fiel al axioma de que «hay cosas cuya sola posibilidad las hace obligatorias», creó el Herbario Nacional Colombiano. Según sus propias palabras, el Herbario Nacional:

«nació en casa del doctor César Uribe Piedrahita quien lo acogió en su Laboratorio CUP y acompañó mis primeras recolecciones en Florencia del Caquetá, en Villavicencio y en Simití. Después pasó a un local en el Capitolio Nacional y al Laboratorio Nacional de Química.»

La creación del Herbario y del Instituto de Ciencias respondían a una preocupación manifiesta por la desvinculación del pueblo colombiano con la naturaleza del país y por la ignorancia en cuanto a nuestros propios recursos y a la destrucción y mala utilización de los mismos. Es de justicia hacer una breve semblanza del principal promotor de la botánica en nuestro país en el presente siglo, precisamente cuando se han cumplido cien años de su nacimiento.

A comienzos de este siglo se produjo el aglutinamiento de los hombres de ciencia del centro del país alrededor de un gabi-

nete de carácter privado, como era la Sociedad de Ciencias Naturales del Instituto de la Salle, entidad creada el 11 de febrero de 1912 en torno al Museo de la Salle por el **Hermano Apolinar María**. Esta agrupación laboró hasta 1919 cuando, para dar un mas amplio ámbito a sus labores cambió la denominación que tenía por la de Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales: con este nombre funcionó en forma progresiva hasta 1936, año en que desapareció para dar paso a la actual Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. El Congreso de la República dió carácter oficial a la Academia de Ciencias mediante la Ley 34 de 1933 y dispuso que cooperase con el Gobierno en la creación y funcionamiento de un Museo de Ciencias Naturales, un Jardín Botánico y un Jardín Zoológico, al tiempo que debía tener como misión primordial la de estudiar y proponer al mismo gobierno la forma como la nación colombiana pudiese participar en la publicación de las obras de **José Celestino Mutis** existentes en el Jardín Botánico de Madrid. En estos propósitos de crear un museo, un jardín botánico y particularmente publicar las láminas fruto de la Expedición se ve claramente la mano del Dr. **Pérez Arbeláez**, uno de los quince fundadores de la Academia y quien a la postre logró las tres metas propuestas gracias a su empeño y a su mente visionaria.

Nuestro personaje fue el primero en comprender que una obra monumental como la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, era labor de varias generaciones; en actitud ejemplar, se convirtió en coeditor y autor de la mayor parte del primer volumen y colaboró en la redacción del tomo correspondiente a la quinología, el cual aparecería en tercer lugar. Además sentó las bases para que en el futuro se pudiese realizar en el país y con recursos propios la Flora de Colombia. Gracias a **Pérez Arbeláez** se logró en nuestro medio el establecimiento de la ciencia institucionalizada; su puesto destacado en la historia de la botánica colombiana se debe no al hecho de haber sido un botánico sistemático, que en últimas no lo fué, sino al haber sido un gran promotor de ciencia y de cultura. Fue también un adalid en la lucha por la conservación y adecuada utilización de los recursos naturales de nuestro país. Su actividad en pro del desarrollo de la botánica supera con creces la calidad de sus escritos, la cual tampoco es objeto de discusión.

El propio **Pérez Arbeláez** se calificó como uno de los integrantes del grupo de botánicos antioqueños formado por **Andrés Posada Arango**, **Joaquín Antonio Uribe** y **Emilio Robledo**. **Pérez** constituye sin duda el eslabón que une la cadena de naturalistas que se inicia con **Mutis**, continúa con los integrantes de esa gran empresa que fue la Expedición Botánica, prosigue con **Triana** y con la Comisión Corográfica, con **Francisco Bayón** y con la Escuela de Ciencias Naturales: se mantiene con **Santiago Cortés** y la Oficina de Longitudes y llega hasta nuestros días mediante el Instituto de Ciencias Naturales. La semilla plantada por **Mutis** y fertilizada con la actividad de varias generaciones aparece hoy día como una planta fecunda y generosa y el Instituto propuesto por **Pérez Arbeláez** y prohiado por la Universidad Nacional ha alcanzado su plena madurez, contando en su haber con seis décadas de permanente y calificada actividad.

Gracias a su formación, a su recia personalidad y a su pluma, **Pérez Arbeláez** ocupó un importante espacio en la orientación de la opinión pública y en la cátedra, donde impartió múltiples enseñanzas en relación con los recursos naturales de la nación, con su potencialidad y con los peligros que implica el uso irracional al que se vienen viendo sometidos desde hace un siglo. Por la suma de sus ejecutorias y por su labor en favor del desarrollo de la ciencia en nuestro medio y en pro del medio ambiente y de su adecuada utilización, **Enrique Pérez Arbeláez** es el naturalista colombiano más importante del presente siglo. Se empeñó en ser el continuador de Mutis, tomando como suyos los ideales de la Expedición Botánica y mediante el estudio y análisis de los recursos naturales, demostró su devoción por el país y su preocupación por la suerte de las futuras generaciones.

Tres campos del saber merecieron su mayor atención. La historia de la ciencia, la botánica aplicada y los recursos naturales del país. En el campo histórico se preocupó por desentrañar los orígenes de nuestra ciencia y analizar su desarrollo, dejando a la posteridad interesantes trabajos entre los cuales merece especial atención el libro «**José Celestino Mutis 1732 - 1932**», edición conmemorativa del bicentenario del nacimiento del sabio gaditano, ocasión que aprovechó para desatar un fervor mutisiano tanto en España como en Colombia. Con la colaboración del Dr. **José Joaquín Casas**, promovió y organizó celebraciones simultáneas en las dos naciones, con conferencias, discursos, ofrendas florales y diversos actos que sirvieron de antesala para la creación de la Academia Colombiana de Ciencias como filial de la Academia Española y para poner en primer plano la necesidad de publicar las láminas de la Flora de Mutis.

En el campo historiográfico también son importantes otras cinco obras en las que trata los antecedentes y del desenvolvimiento de la empresa mutisiana, así como del posterior desarrollo de la botánica, y como señalara en el prólogo de uno de sus libros, lo que pretendía era :

«dejar descrito lo que mi generación ha hecho por la continuidad y la culminación del legado mutisiano..... en suma, lo que pretende en su modestia dicha obra, se puede resumir así: más ambientación, mayor vulgarización, mejor perduración.»

Y a fe que logró sus propósitos.

En el campo de la botánica aplicada cabe señalar las siguientes publicaciones: «**Quinas de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada**», «**botánica del cafeto**», para el Manual del cafetero colombiano (1932), «**Frutas de Cundinamarca**» (1933), las «**Plantas medicinales más usadas en Bogotá**» (1934), las «**Plantas medicinales y venenosas de Colombia**» (1937), el «**Manual del cacaotero venezolano**» (1937) y «**Plantas útiles de Colombia**» libro que alcanzó tres ediciones (1934, 1947 y 1956) varias reediciones y múltiples ediciones piratas. Este último libro es quizás su obra más conocida y ha sido una «**biblia**» para los botánicos, biólogos, agrónomos, ingenieros forestales y demás interesados en las plantas durante varias generaciones, siendo por mucho tiempo el único libro de consulta a disposición de la comunidad botánica nacio-

nal y de los países vecinos. Admira tanto por su contenido como por sus numerosas ilustraciones, tomadas del natural y excelentemente ejecutadas en tinta china sobre cartulina, con una indudable maestría en el manejo de la plumilla. A pesar de contar con sesenta años de existencia, tal libro aún tiene vigencia como guía para el reconocimiento de múltiples especies. Aunque ya está atrasado en nomenclatura, situación inevitable en las obras botánicas con el paso de los años, por su carácter práctico, su claridad y su nivel de información, es de gran utilidad y de consulta forzosa para los estudiosos de las plantas.

En el campo de la pedagogía y la docencia no pueden omitirse los capítulos de citología, nutrición taxonomía y zoología por él redactados para la «**Biología Moderna**» obra en cuatro tomos publicada en Barcelona entre 1925 y 1929, la cartilla titulada «**Las plantas, su vida y clasificación**» (1934), el folleto «**Suelo, árboles y cultivos**» (1940), el libro «**Botánica Colombiana Elemental**» (1942), el folleto «**Paisaje, tierra y trabajos**» (1948), las cartillas «**Once acciones sobre el futuro**» (1949), «**Bosques y maderas**» (1949), «**Conservemos estas aguas**» (1949) y «**Conservemos la fauna espontánea útil**» (1950) y el folleto «**Futuro de un gran presente, conservacionismo en Caldas**» (1951).

En el terreno de los recursos naturales tres son sus obras mayores y corresponden a los libros «**Hilea Amazónica Colombiana**» (1949), «**Hilea Magdalenesa**» (1949) y «**Recursos naturales de Colombia**», obra publicada en nueve entregas y que corresponden a diecisiete capítulos aparecidos entre 1953 y 1966, cuando había dejado su trabajo en la Contraloría General de la República para vincularse al Instituto Geográfico Agustín Codazzi. A estas publicaciones hay que añadir el informe titulado «**La hoya de captación del Acueducto de Manizales**» (1951) y «**Cuencas Hidrográficas**» (1979-1996).

Con un criterio eminentemente nacionalista, a través de la cátedra en las universidades Nacional de Colombia y Jorge Tadeo Lozano y mediante una columna en el diario El Tiempo, llamó permanentemente la atención sobre los problemas ambientales que aquejan a nuestro país, proponiendo fórmulas, a veces futuristas y hoy plenamente vigentes, conducentes a prevenir el deterioro de la naturaleza y la destrucción de sus recursos, y planteando a la vez un manejo racional que garantice su permanencia y utilidad a las generaciones futuras. En más de una oportunidad señaló premonitoriamente como el crecimiento demográfico excesivo y la falta de planeación afectarían el desarrollo de pueblos y ciudades causando daños irreparables a la fauna, la flora, las aguas, los suelos y el paisaje. Igualmente llamó la atención de los gobiernos para que, venciendo la desidia o superando la incompreensión, dieran apoyo y continuidad a las políticas ambientales.

Durante sus últimos años el padre Pérez se dedicó por entero a la organización del Jardín Botánico de Bogotá, dotándolo de la infraestructura necesaria para su futuro desarrollo. Por esta época le afectaba la enfermedad de Parkinson. Su salud se deterioró estando en Santa Marta, motivo por el cual debió ser trasladado de urgencia a Bogotá donde falleció el 22 de enero de 1972.

Deseo cerrar esta lectura conmemorativa del centenario del nacimiento de Pérez Arbeláez recordando algunas comentarios sarcásticos que reflejan claramente su carácter y su angustia por el porvenir del país y por la indiferencia de sus gobernantes hacia problemas cotidianos, que de haberse atendido con oportunidad, hoy no serían problemas.

«Los pueblos lejanos no sienten por nosotros ni afecto, ni interés, ni solidaridad, que no ceden ante su propia ganancia. Fiarse de esos postulados de unidad internacional, que tanto relucen en las burbujas de una copa de champaña, es una inocencia de lactante.»

«De una sociedad 'máximo de satisfacción' nace otra 'mínima de esfuerzo' y de esta una tercera 'máximo de trampas'. Si las clases sociales educadas con mayor esmero y a más costo llegan a la cumbre de los honores sin valer un maravedí, no es extraño que la riqueza se haga a base de astucia y de mala fe.»

«La bella fauna volará dejándonos solamente gallinazos y ratas. El crecimiento de ciudades y fábricas superará cualquier previsión, la disponibilidad de agua será insuficiente, la contaminación de agua y aire nos asqueará y sofocará, los torrentes perderán belleza, el petróleo se agotará.....»

«Sin bosques, nuestras empresas hidroeléctricas y acueductos tendrán menos agua y, si acaso tienen la misma, la reci-

ben en avenidas y cargada de aluviones y a destiempo, para después en las sequías carecer de la tasa indispensable para el cupo de servicio prometido a los consumidores.»

Todos los esfuerzos del Padre Pérez por promover la ciencia se debieron a sus deseos de remediar una situación debida - a que como lo señaló en alguna oportunidad - por causa de la desidia de los gobiernos, de las visitas de exploradores y naturalistas extranjeros que no le dejaron nada al país, de las colecciones mal mantenidas en museos de carácter puramente parroquial y de la falta de mentes progresistas y resueltas, la visión de Colombia en los medios científicos internacionales era la de la indigencia cultural. Decía nuestro personaje:

«por culpa del país, que no tenía jardines botánicos, ni herbarios públicos, ni centro naturalista alguno, ni legislación al respecto, otra cosa que colecciones vivas y muertas y bibliografía impresa, que nos hacían ver más indigentes en cultura.»

Gracias a Dios, este sacerdote, apostol de la ciencia y "alter ego" de Mutis en el presente siglo, logró hacer realidad lo que su predecesor gaditano no pudo llevar a feliz término. Hoy, a pesar de nuestras limitaciones y problemas, gracias a su tezonera y patriótica labor, no podemos ser calificados como indigentes en ciencia y en cultura. Por ello, Colombia le debe un homenaje de eterna gratitud.

4. DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA DURANTE LA SESION DE INSTALACION DEL II CONGRESO COLOMBIANO DE GENETICA. SEPTIEMBRE 19 DE 1996.

Agradezco sobremanera a la Sociedad Colombiana de Genética por la honrosa y gentil invitación que me extendiera, a través de su presidente, el Dr. Antonio José Bermúdez, para que como presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, llevara la palabra, en esta reunión de instalación del II Congreso Colombiano de Genética, certamen que no solamente señala el resurgimiento de la Sociedad a la vida científica de la Nación, sino que marca un hito en el proceso de su consolidación definitiva.

Por lo mismo, resulta para mí muy grato, saludar y agradecer a todos los participantes en este II Congreso Colombiano de Genética, de modo especial, a quienes procedentes de otros países o de diferentes instituciones científicas de Colombia, han tenido a bien asistir y enriquecer con sus aportes la Agenda de este II Congreso Colombiano de Genética.

La Academia Colombiana de Ciencias, registra con hondo beneplácito el resurgimiento de la Sociedad Colombiana de Genética y, en especial, la celebración de este Congreso; felicita por mi conducto a sus gestores y formula votos porque aunando esfuerzos, se alcancen las metas señaladas desde su fun-

dación; ahora renovadas por voluntad de sus Miembros y puestas a la altura de las exigencias actuales para asegurar el avance de la genética en nuestro país.

Sea también la oportunidad para manifestar que la Academia Colombiana de Ciencias está dispuesta a colaborar con la Sociedad Colombiana de Genética, como lo viene haciendo con otras Sociedades e Instituciones científicas, en consonancia con las políticas de proyectar su acción a la comunidad científica Nacional y de contribuir a consolidar, con el correr del tiempo, y con el esfuerzo mancomunado de todos sus Miembros, un espacio institucional estable para el estímulo y promoción de la Ciencia en nuestro medio.

Ya de la lectura del Programa de Conferencias y de Cursos Intercurrentes, acordado para el II Congreso Colombiano de Genética, se puede inferir la magnitud de los avances logrados en los últimos años, tanto en lo que concierne a la Genética fundamental, como sus aplicaciones: en los campos de la Medicina, de la Agricultura, de la Ingeniería Genética, o de la Biotecnología, entre otros. Desde luego, tales logros estimulan a quienes desde varias décadas atrás, en razón de una u otra

circunstancia, ha correspondido luchar por crear espacios interinstitucionales para el desarrollo de la Ciencia y el fortalecimiento de los valores y calidades humanas que se requieren para la tarea de la creación científica.

Si bien, la Genética resulta ser lo más joven de todas aquellas disciplinas especiales que surgieran tras la aparición, al comenzar el Siglo XIX, de la Biología, por otra parte, en razón de su rápido desenvolvimiento, primero a raíz del redescubrimiento y confirmación de los hallazgos y formulaciones teóricas del genial Monje Agustino Gregorio Mendel y, luego al promediar este siglo, tras el desciframiento del código genético; la genética es, hoy en día, sin duda, la disciplina biológica que despierta entre el público gran expectativa, en razón de las repercusiones que produce en la Sociedad, la amplia gama de aplicaciones posibles. Así sea que algunas de ellas hayan suscitado controversia, debido a sus implicaciones en el terreno de la bioética.

Me refiero, en particular, a las consideraciones éticas en relación con la manipulación de las células somáticas y germinales humanas y los posibles riesgos implicados. Sin embargo, estas consideraciones, de suyo muy necesarias, en cuanto apuntan a la preservación de la condición humana de ente no codificable, de manera alguna, ensombrese los beneficios que se derivan precisamente para la humanidad de las aplicaciones de los nuevos conocimientos genéticos, en la Medicina, en la Agricultura y aún en la preservación de las condiciones ambientales; las mismas que hacen posible, la preservación de las diferentes formas de vida del planeta, en especial la vida humana. De allí que en el largo plazo, resulta asimismo de especial relevancia el papel que habrá de corresponder a la Genética en el desciframiento de los grandes interrogantes que de antaño han preocupado a la humanidad y que me atrevería a formular, así: Qué es la vida? ¿Cuáles son las condiciones que hicieron posible su aparición en la tierra? ¿Cuáles de tales condiciones son las responsables de su diversificación tan sorprendente?

En el intento de dar respuesta a estas interrogantes, se han planteado interesantes hipótesis, como aquella que se refiere al origen de las moléculas orgánicas más simples, indispensables para que surgiera la vida y que supone que aquellas pudieron haberse formado bajo las condiciones arcaicas de la tierra primitiva, o quizás, llegaron a nuestro planeta con el polvo de los cometas o desde las regiones interestelares.

Sin embargo pese al interés y motivación que despiertan los interrogantes y las numerosas hipótesis que se plantean en el intento de resolverlos, muchas son todavía las complejas preguntas o problemas por resolver en relación con el origen de la vida.

Por ejemplo: Como fue posible que se produjera la síntesis de moléculas orgánicas y, en particular, la integración de estas en sistemas capaces de metabolizar, reproducirse, transformarse y prolongarse en el tiempo, transmitiendo la información genética de generación en generación? No obstante, merced a los aportes de la genética moderna existe claridad y consenso de que los atributos de los sistemas vivientes no derivan de las propiedades químicas de las moléculas orgánicas simples, sino

quizás de las cada vez más y más complejas configuraciones de los compuestos que ellos originan y, en particular, de la aún más compleja red de interacciones. Esto mismo justifica la importancia que se concede en los días que nos alcanzan, a la tarea de reconstruir la evolución del código genético, sobre todo en razón del consenso alcanzado entre quienes se ocupan de estos estudios, a cerca de la imposibilidad que pudiera surgir, de un sólo golpe, así no existan o conozcan códigos genéticos arcaicos, supérstites.

Me he detenido en estas consideraciones, por cuanto estimo de la mayor importancia, relieves que fue mediante la construcción de un cuerpo teórico sólido y coherente, cuya historia se remonta al concepto abstracto del "gen" de Mendel, como fueron posibles los avances de la genética fundamental y de la genética aplicada.

Desafortunadamente, entre nosotros, por razones que en mi opinión tienen que ver con nuestra prolongada demora en promover el desarrollo de las Ciencias Básicas, no es dable todavía que se reconozca y exalte el mérito de las contribuciones de nuestros investigadores dedicados al estudio de cuestiones básicas de las Ciencias y cuyos resultados se concretan: ora en el planteamiento de explicaciones; ora en soluciones a problemas científicos, ora en la formulación de hipótesis, teorías o modelos explicativos de fenómenos naturales; a pesar de que sin ellas difícilmente se puede llegar a las aplicaciones originales o al diseño de nuevas tecnologías competitivas, de que tanto se habla ahora, dirigidas al aprovechamiento de los recursos naturales de nuestro territorio. Erróneamente, se suele insistir en las aplicaciones o la creación tecnológica competitiva, sin el previo fortalecimiento de la Ciencia básica.

Precisamente en la Genética se dan muchísimos ejemplos de las interrelaciones recíprocas, entre teorías y aplicaciones. A juzgar por la agenda prevista para este Congreso seguramente durante su desarrollo, se discutirán ejemplos que apoyen esta tesis, y a través de las intervenciones, se ilustrarán las potencialidades para el desarrollo de la Genética. En nuestro propio medio; caracterizado, como es del conocimiento general, por poseer la más alta biodiversidad del planeta, por unidad de superficie y, al mismo tiempo, las condiciones del medio físico más variadas que puedan imaginarse para el desenvolvimiento de la vida; las mismas condiciones singulares, es donde emergen interesantísimas cuestiones por investigar y dilucidar, referentes a los campos de la Biología y, en particular, de la Genética.

En otras palabras considero que nuestro territorio constituye un espacio extraordinariamente propicio para la investigación biológica creativa que supere la descripción y trascienda a la explicación teórica de los fenómenos bajo estudio, desde donde de seguro, se podrá llegar con mayor certeza a las aplicaciones.

Con su venia Sr. presidente, declaro oficialmente instalado el II Congreso Colombiano de Genética. Muchas gracias,