



### CONTENIDO - CONTENT

	Págs.		Págs.
<b>Nota Editorial</b> ..... (Editorial Note)	639	<b>Las Ciencias de la Tierra y el medio ambiente en Colombia.</b> (Earth sciences and environment in Colombia)	
		<i>Michel Hermelin</i> .....	695
<b>Astronomía</b> (Astronomy)		<b>Matemáticas</b> (Mathematics)	
<b>Hidrodinámica en estructuras astrofísicas</b> (Hydrodynamics in astrophysical structures)		<b>Investigaciones acerca de los nuevos conectivos intuicionistas</b> (Investigations on novel intuitive connectives)	
<i>Mario Armando Higuera G</i> .....	641	<i>Xavier Caicedo F.</i> .....	703
<b>Botánica</b> (Botany)		<b>Zoología</b> (Zoology)	
<b>Euglenofitas pigmentadas de la Amazonia Colombiana</b> (Pigmented euglenophytes from Colombian Amazonia)		<b>Distribución de simúlidos neotropicales (Insecta, Diptera)</b> y sus áreas de endemismo (Distribution of Neotropical Simuliidae (Insecta, Diptera) and its areas of endemism)	
<i>Santiago R. Duque</i> .....	651	<i>Sixto Coscarón &amp; Cecilia L. Coscarón-Arias</i> .....	715
<b>Datos etnobotánicos adicionales sobre el Cachipay o Pijibay</b> ( <i>Bactris gasipaes</i> Kunth), Aracaceae y especies afines en América Intertropical (Additional ethnobotanical data on Cachipay or Pijibay, ( <i>Bactris gasipaes</i> Kunth) Aracaceae and related species in intertropical America)		<b>Aspectos biológicos de las jaibas <i>Callinectes sapidus</i> y <i>C.</i> <i>bocourti</i> de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano (Crustacea : Decapoda : Portunidae)</b> (Biological aspects of jaibas <i>Callinectes sapidus</i> and <i>C.</i> <i>bocourti</i> from the Ciénaga Grande of Santa Marta)	
<i>Victor Manuel Patiño</i> .....	661	<i>María José Valencia-Cuéllar</i> & <i>Néstor Hernando Campos</i> .....	731
<b>Capacidad de adaptación del hongo patógeno <i>Paracoccidioides</i></b> <b><i>brasiliensis</i> al organismo humano</b> (Adaptative ability of pathogenic fungus <i>Paracoccidioides</i> <i>brasiliensis</i> to human organism)		<b>Patrones de crecimiento de las tortugas gigantes</b> ( <i>Geochelone ephippium</i> ) de la isla de Pinzón, Galápagos (Growth patterns of giant turtles ( <i>Geochelone ephippium</i> ) from Pinzon island, Galapagos)	
<i>Angela Restrepo Moreno</i> .....	673	<i>R. Amneris Siaca &amp; Thomas H. Fritts</i> .....	741
<b>Ciencias de la Tierra</b> (Earth Sciences)		<b>Vida Académica</b> (Academic events).....	745
<b>Caracterización general de la zona de surgencia en la</b> <b>Guajira Colombiana</b> (General characterization of upwelling in Colombian Guajira)		<b>Índice General del volumen XIX</b> (Volume XIX general index).....	757
<i>Ricardo Alvarez-León, J. Aguilera-Quiñonez, C.A. Andrade-Amaya</i> & <i>P. Nowak</i> .....	679	<b>Constitución de la Academia</b> (Constitution of the Academy).....	763

# HIDRODINAMICA EN ESTRUCTURAS ASTROFISICAS

por

Mario A. Higuera G.\*

## Resumen.

Higuera, M.A.: Hidrodinámica en estructuras Astrofísicas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 641-650, 1995. ISSN 0370-3908.

El objetivo principal de este trabajo es examinar la dinámica y la estabilidad térmica, en términos de modos normales, de una estructura laminar constituida por un plasma con abundancias solares, enfriado y calentado a tasas proporcionales a  $\rho^2 T^\nu$  y  $\rho^a T^b$  ( $\text{ergs cm}^{-3} \text{s}^{-1}$ ) respectivamente y con un coeficiente de conducción térmica proporcional a  $\rho^c T^q$ . Se supone que inicialmente el gas tiene una presión estacionaria constante. Se hace un estudio analítico de la solución trivial (equilibrio térmico), se encuentra la ecuación característica correspondiente, se analizan sus raíces así como los dos primeros armónicos y se obtienen tres criterios de inestabilidad, independientemente de si las superficies de frontera se toman libres o rígidas. Se consideran cinco mecanismos típicos de calentamiento, de interés en astrofísica.

**Palabras clave:** hidrodinámica - inestabilidades - plasmas.

## Abstract

The dynamics and stability analysis into the normal modes of a slablike thermal structure constituted by a plasma with solar abundances, cooled and heated at rates  $\sim \rho^2 T^\nu$ , and  $\rho^a T^b$  ( $\text{ergs cm}^{-3} \text{s}^{-1}$ ), respectively, is carried out. The initial steady gas pressure through the structure is assumed to be a constant. A complete analytical study for the trivial solution (thermal equilibrium) is made; the corresponding characteristic equation, their roots and two harmonics are calculated, from which three instability criteria are obtained regardless the bounding surfaces be rigid or free. Five kind of heating mechanisms which are operative in different thermal structures of interest in astrophysics are considered.

**Key Words:** hydrodynamics - instabilities - plasmas.

## Introducción

La razón de ser de la astrofísica es el conocimiento de las diferentes estructuras observadas en el universo. Este trabajo se puede abordar desde dos puntos de vista mutuamente complementarios: la observación mediante el uso de instrumentos en el rango de frecuencias del espectro electromagnético accesible, o en la construcción acertada de modelos. Sin embargo la descripción de esta

realidad a través de modelos teóricos no resulta ser del todo completa.

Estrictamente hablando en el universo nada se puede tratar de forma aislada, sus estructuras (galaxias, estrellas, nubes, cuerpos opacos, etc) no se encuentran en equilibrio termodinámico, por lo que las interacciones de unas con otras a través de sus propios procesos físicos las llevan a evolucionar de un estado a otro. Estos cambios pueden ser suaves y lentos, o en algunas ocasiones con transiciones violentas en intervalos de tiempo muy pequeños.

El estudio de la evolución de los sistemas, entre estados de equilibrio temporal, es uno de los problemas más difíciles de la física actual, debido a la no linealidad de

\* Observatorio Astronómico Nacional Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Apartado Aéreo 2584. E-Mail: ahiguera@ciencias.campus.unal.edu.co  
Santafé de Bogotá, Colombia.

las ecuaciones que los gobiernan y en parte a la complejidad matemática y exigencia computacional. En primera aproximación se puede hacer una revisión de los estados de equilibrio y ver la estabilidad de dichos estados frente a una perturbación. Alterar los estados de equilibrio, significa que si un sistema está descrito por un conjunto de  $M$  variables (temperatura, densidad, velocidad, entre otras) que a la vez son funciones de la coordenadas  $\vec{r}$  y del tiempo  $t$ , se investiguen soluciones de la forma

$$\psi_i(\vec{r}, t) = \psi_i^0(\vec{r}) + \delta\psi_i(\vec{r}, t) \quad , \quad i = 1, \dots, M, \quad (1)$$

donde  $\psi_i^0(\vec{r})$  son las soluciones estacionarias correspondientes al estado de equilibrio y  $\delta\psi_i(\vec{r}, t)$  son las funciones a determinar. Si la magnitud de la función de perturbación es mucho menor que la magnitud de la solución estacionaria  $|\delta\psi_i(\vec{r}, t)| \ll |\psi_i^0(\vec{r})|$ , las ecuaciones fundamentales se pueden linealizar al llevar esta solución (1) a las ecuaciones de conservación y despreciar los términos de orden superior o igual a 2 en  $\delta\psi_i(\vec{r}, t)$ .

La introducción de perturbaciones en el estudio lleva a revisar varios aspectos estrechamente vinculados.

i.- En los problemas de estabilidad (Chandrasekhar, 1961), un sistema es estable si todas las perturbaciones se amortiguan con el tiempo y es inestable si por lo menos una de las  $\delta\psi_i(\vec{r}, t)$  crece con  $t$ . Entre estos dos procesos aparecen en escena los denominados estados marginales o de estabilidad neutra, ellos caracterizan en algunos parámetros del sistema, los valores para los cuales la estructura deja de ser estable. Por otra parte los tiempos de relajación (crecimiento o decrecimiento de la perturbación) señalan algún estado transitorio por el que pasa el sistema en estudio.

ii.- Las perturbaciones  $\delta\psi_i(\vec{r}, t)$  se propagan como ondas de diferentes tipos en el medio, y durante este proceso sufren amortiguaciones o amplificaciones, por lo tanto pueden producir cambios estructurales apreciables en el sistema; por ejemplo en el comportamiento de las estrellas Cefeidas, en las diferentes regiones de la atmósfera solar, en novae y supernovas, entre otras.

iii.- Si la condición  $|\delta\psi_i(\vec{r}, t)| \ll |\psi_i^0(\vec{r})|$  no se cumple, el sistema entra al régimen no lineal y esto puede llevar a la formación de discontinuidades: detonaciones o deflagraciones; ondas de choque (fuertes, débiles o sónicas). Varias de estas discontinuidades están íntimamente relacionadas con procesos típicos en diferentes sistemas, como por ejemplo en atmósferas y vientos estelares; acreción en el entorno de binarias y agujeros negros; formación de estrellas, cúmulos estelares y galaxias Ibáñez (1986).

Una vez linealizadas las ecuaciones de conservación, el problema se reduce a encontrar los métodos analíticos o numéricos, que permitan derivar los valores propios así como las respectivas autofunciones, compatibles unas con otras, correspondientes al plasma bajo estudio y sujetas a las condiciones de frontera. Dentro de este desarrollo, un análisis de la solución trivial estacionaria permitirá encontrar soluciones analíticas al problema, lo que físicamente corresponde a la solución para el equilibrio térmico.

Tabla 1

Valores de Densidad  $\rho$ , Temperatura  $T$  y Distancia  $R$  para 9 clases diferentes de gases (Kenneth, 1980)

Región	$\rho$ ( $g\text{cm}^{-3}$ )	$T$ (K)	$R$ (cm)
Ionosfera	$10^{-20} - 10^{-10}$	200 - 1500	$6.4 \times 10^8$
Maguetosfera	$10^{21}$	$10^4$	$10^{10} - 10^{11}$
Sol (estrellas)	1.4 (media)	$10^4 - 10^7$	$10^{11}$
Corona Solar	$10^{-13} - 10^{-16}$	$10^6$	$10^{12}$
Sistema Solar	$10^{-23}$	$10^3$	$10^{15}$
Nebulosa Galáctica	$10^{-19} - 10^{-16}$	$10^2 - 10^4$	$10^{18} - 10^{21}$
Galaxia	$10^{-24}$	$10^2 - 10^4$	$10^{23}$
Cúmulo Local	$10^{-27}$	$10^5$	$3 \times 10^{24}$
Universo	$10^{-29}$	$10^3 - 10^{10}?$	$3 \times 10^{28}$

En estudios anteriores llevados a cabo por Ibáñez & Plachco (1991), Ibáñez *et al.* (1992), se analizaron tanto la estructura térmica así como su estabilidad. En un desarrollo posterior Ibáñez *et al.* (1993) un análisis no lineal de la estabilidad térmica sobre una estructura laminar también fue llevado a cabo.

En el presente trabajo se va a investigar el comportamiento térmico y dinámico de una estructura laminar, constituida por un plasma que puede ser típico de varias regiones del medio interestelar, tal como el estudiado en los trabajos de McKee & Cowie (1977) y McKee & Ostriker (1977), o el que se encuentra en diversas regiones de la atmósfera solar (Priest, 1982), o en el gas alrededor de los cuasares (Mathews & Doane, 1990). La estructura se caracteriza por una función típica de calentamiento que representa el término de generación de energía, así como una función de enfriamiento, ambas dependientes de la densidad y la temperatura. En la tabla 1 se muestran algunas características físicas (densidad, temperatura y tamaño) de varias estructuras astrofísicas.

Al introducir los procesos dinámicos se tratará de observar en qué medida se afectan los resultados ya derivados en los trabajos anteriores. Para llevar a cabo este objetivo, se usarán las tres ecuaciones fundamentales de conservación (Masa, Momento y Energía), así como la ecuación de los gases ideales. La estructura térmica se tomará inicialmente en un estado estacionario a presión constante y a una temperatura dada. En términos de modos normales (Chandrasekhar, 1961) la perturbación a imponer sobre las variables del sistema tiene la forma de una onda plana,

$$\delta\psi(\vec{r}, t) = A(z)e^{i(k_x x + k_y y) + \mathcal{N}t}, \quad (2)$$

al linealizar las ecuaciones resultantes y tomar el estado estacionario (solución trivial) se obtendrá una ecuación de dispersión compleja para la cantidad  $\mathcal{N}$ , en general se tiene que  $\mathcal{N} = \sigma + i\omega$  donde  $\sigma$  y  $\omega$  son cantidades reales. Con base en estos resultados se derivarán los criterios de estabilidad.

## Ecuaciones fundamentales

Para derivar las Ecuaciones Hidrodinámicas (Landau, 1987) se considera el sistema de partículas o fluido como un medio continuo, caracterizado por un elemento diferencial de volumen  $dV$ , en el cual se estudiarán los procesos involucrados; el propósito es derivar el conjunto de ecuaciones y relaciones que permitan conocer el com-

portamiento de un fluido ideal, es decir aquel fluido que no es afectado por pérdidas debidas a procesos de viscosidad (fricción interna), efectos gravitacionales, conducción térmica y procesos exotérmicos explosivos. La descripción matemática del estado de movimiento de un fluido está determinada por las funciones que dan su distribución de velocidad  $V = V(x, y, z, t)$  además de cualesquiera dos funciones termodinámicas pertenecientes al mismo, tales como la presión  $P(x, y, z, t)$  y la densidad  $\rho(x, y, z, t)$ . Así el estado de movimiento del fluido queda determinado por 5 cantidades: 3 componentes de velocidad y 2 variables termodinámicas.

**A. Ecuación de continuidad**

Si se toma la materia como una cantidad invariante, la conservación de la masa está determinada por la ecuación de continuidad. Entonces si se define la masa del fluido  $M_i$  en el volumen  $V_o$  por:

$$M_i = \int_{V_o} \rho dV, \tag{3}$$

la pérdida por unidad de tiempo de la masa de fluido en el volumen  $V_o$  será:

$$\frac{\partial M_i}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial t} \int_{V_o} \rho dV, \tag{4}$$

y la masa total del fluido que se mueve fuera del volumen  $V_o$  por unidad de tiempo estará dada por:

$$\Delta M_f = \oint_s \rho \vec{v} \cdot dS = \int_{V_o} \nabla \cdot (\rho \vec{v}) dV. \tag{5}$$

Como las ecuaciones (4) y (5) representan la misma cantidad, se pueden igualar y al trasponer términos se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V_o} \rho dV + \int_{V_o} \nabla \cdot (\rho \vec{v}) dV = 0. \tag{6}$$

Eliminando los signos de integración se obtiene la ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0, \tag{7}$$

que expresa físicamente la conservación de la materia. Para el caso estacionario  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$  la anterior expresión representa el hecho de que no pueden existir fuentes ni sumideros de materia.

**B. Ecuación de Euler**

La ecuación de conservación de la cantidad de movimiento se puede desarrollar siguiendo a Landau (1987) y Brand (1964). Así sobre un elemento diferencial de volumen actúa una fuerza total

$$F = - \oint p df = - \int_V \nabla p dV, \tag{8}$$

desarrollando los términos extremos de la anterior expresión:

$$m \vec{a} = - \nabla p \int_{V_o} dV$$

$$\rho \vec{a} = - \nabla p \tag{9}$$

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = - \nabla p.$$

El operador  $D/Dt$  se denomina la derivada total o convectiva y toma en cuenta tanto los cambios por unidad de tiempo de la función sobre la que actúa, como las variaciones con respecto a las coordenadas espaciales. Sobre la velocidad se encuentra:

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \left( \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \vec{v}, \tag{10}$$

en donde el término  $(\frac{\partial \vec{r}}{\partial t} \cdot \nabla) \vec{v}$  es igual a  $dx(d\vec{v}/dx) + dy(d\vec{v}/dy) + dz(d\vec{v}/dz)$ . Al colocar esta cantidad, la ecuación movimiento se reduce a:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = - \frac{1}{\rho} \nabla p. \tag{11}$$

Añadiendo el término gravitacional  $g$ :

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = - \frac{1}{\rho} \nabla p + g, \tag{12}$$

se obtiene la ecuación de momento para un fluido en ausencia de fricción interna.

**C. Ecuación de conservación de la energía**

La primera Ley de la Termodinámica o Principio de Conservación de la Energía, establece que el cambio de la energía interna de un sistema más el trabajo realizado por el mismo es igual al cambio de calor; estas cantidades expresadas en unidades volumen y tiempo se escriben:

$$\rho \frac{Du}{Dt} + \rho P \frac{DV}{Dt} = \rho \frac{DQ}{Dt} = \rho T \frac{Ds}{Dt}, \tag{13}$$

donde  $u$ ,  $Q$  y  $V$  son la energía interna, el calor y el volumen respectivamente.

Si se tiene un fluido no viscoso, que entrega y recibe calor a través de una función de pérdida-ganancia, más un término difusivo, se encuentra que:

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \nabla \cdot (\kappa \nabla T) - \rho L(\rho, T), \tag{14}$$

en donde el término del lado izquierdo se puede escribir de tres formas diferentes:

a)

$$\begin{aligned} \rho T \frac{Ds}{Dt} &= \rho \frac{D\varepsilon}{Dt} + \rho P \frac{DV}{Dt} \\ &= \rho \frac{D\varepsilon}{Dt} - \frac{P}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} \\ &= \rho c_v \frac{DT}{Dt} - \frac{P}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} \end{aligned} \tag{15}$$

donde se realizaron las siguientes sustituciones:  $V = 1/\rho$  (siendo  $\rho$  la densidad específica).  $P = R/\mu\rho T$  y  $\varepsilon = c_v T$  (siendo  $\varepsilon$  la energía interna).

b)

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \rho c_p \frac{DT}{Dt} - \frac{Dp}{Dt}, \tag{16}$$

donde  $c_v = \frac{c_p}{\gamma} = \frac{1}{\gamma-1} \frac{R}{\mu}$ , y de la ecuación de los gases ideales  $\frac{D\rho}{Dt} = \frac{\mu}{RT} \frac{Dp}{Dt} - \frac{\rho}{T} \frac{DT}{Dt}$ .

c)

$$\rho T \frac{Ds}{Dt} = \frac{1}{\gamma - 1} \left[ \frac{Dp}{Dt} - \gamma \frac{p}{\rho} \frac{D\rho}{Dt} \right], \quad (17)$$

donde  $\frac{DT}{Dt} = \frac{\mu}{\rho R} \frac{Dp}{Dt} - \frac{T}{\rho} \frac{D\rho}{Dt}$ .

**D. Ecuación de estado**

Para un gas ideal las variables  $P$  (presión),  $\rho$  (densidad) y  $T$  (temperatura) están relacionadas en la forma:

$$P - \frac{R}{\mu} \rho T = 0, \quad (18)$$

donde  $R$  es la constante universal de los gases ( $8.3143 \times 10^7$  (erg/mol.K)) y  $\mu$  es el peso molecular. Si se toma en consideración un plasma con abundancias solares, el valor medio de  $\mu$  es 0.57222.

El conjunto de ecuaciones (7), (12) y (14), junto con la ecuación de estado (18), permiten calcular cinco magnitudes físicas (tres componentes de velocidad y dos variables termodinámicas), las cuales caracterizan el estado dinámico del fluido.

**Modelo térmico**

Los parámetros que van a caracterizar el sistema en estudio se representan en la figura 1; como se puede observar éstos involucran la geometría, la presión, la velocidad, la densidad y el gradiente de temperatura del sistema.

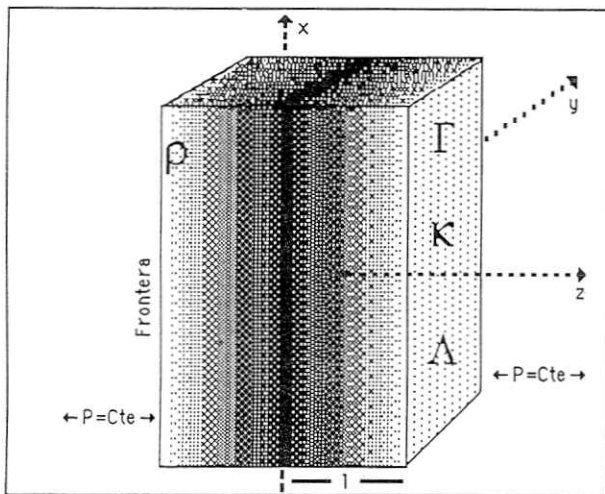


Figura 1. Representación de la estructura bajo estudio. Las funciones de calentamiento y enfriamiento son calculadas punto a punto. La presión es constante tanto dentro como fuera del sistema.  $l$  especifica la dimensión de la estructura a lo largo de  $z$ .

Las ecuaciones de conservación (7), (12) y (14) admiten soluciones estacionarias, i.e. donde todos los términos  $\frac{\partial X}{\partial t} = 0$ . En particular, existe la solución estacionaria ( $v = 0$ ) para la cual la ecuación de energía (14) se reduce a un equilibrio entre la difusión de calor, la generación interna de calor y la radiación.

En trabajos realizados por Ibáñez & Plachco (1991) se analizó el rango de valores que caracterizan los meca-

nismos de transporte de energía así como la geometría y las condiciones de frontera para las cuales existen soluciones estables de la ecuación estática

$$\nabla \cdot [\kappa(T) \nabla T] + Q(\rho, T) = 0, \quad (19)$$

donde  $Q(\rho, T)$  es el calor generado ( $Q > 0$ ) o radiado ( $Q < 0$ ) por unidad de volumen y tiempo, y tiene la forma:

$$Q = \pm Q_0 T^n, \quad (20)$$

expresión utilizada en muchos experimentos de laboratorio, así como típica de varias situaciones astrofísicas ( $Q_0$  y  $n$  son constantes conocidas).

Por otra parte, el coeficiente de conducción térmica escrito en forma general es:

$$\kappa(T) = \kappa_0 T^m, \quad (21)$$

siendo  $\kappa_0$  y  $m$  constantes dadas.

En un trabajo posterior (Ibáñez *et al.*, 1992) se generaliza el análisis de estabilidad incluyendo al mismo tiempo los términos de calentamiento y enfriamiento: ( $\Gamma(\rho, T) = \Gamma_0 T^m$  y  $\Lambda(\rho, T) = \Lambda_0 T^n$ ), esta situación es común en diversos modelos astrofísicos, en particular cuando las estructuras en el medio interestelar se encuentran cercanas al equilibrio térmico (McKee & Cowie, 1977; McKee & Ostriker, 1977; Parravano, 1987) y en diversas estructuras de la atmósfera solar (Priest, 1982).

Para configuraciones estáticas a presión ( $P$ ) constante en el tiempo ( $t$ ) la ecuación de energía viene expresada en la forma:

$$\nabla [\kappa(\rho, T) \nabla T] + \Gamma(\rho, T) - \Lambda(\rho, T) = 0, \quad (22)$$

con las correspondientes condiciones de frontera

$$\begin{aligned} \nabla T &= 0 \quad \text{en } r = 0 \quad (\text{centro}) \\ T &= T_b \quad \text{en } r = R \quad (\text{frontera}). \end{aligned} \quad (23)$$

La anterior ecuación se puede expresar:

$$\frac{1}{z^{\nu-1}} \frac{d}{dz} \left( z^{\nu-1} \theta^k \frac{d\theta}{dz} \right) + \lambda_* (\theta^m - \theta^n) = 0, \quad (24)$$

en donde:  $z = r/R$ ,  $\theta = T/T_*$ ,  $T_* = (\Lambda_0/\Gamma_0)^{1/(n-m)}$  (Temperatura del equilibrio térmico). El parámetro  $\nu$  es el índice de simetría ( $\nu = 1, 2, 3$  para láminas, cilindros y esferas respectivamente). El parámetro dimensional  $\lambda_*$  está definido por la relación:

$$\lambda_* = \frac{\Gamma_0}{\kappa_0} R^2 T_*^{m-k-1} = \frac{\Lambda_0}{\kappa_0} R^2 T_*^{n-k-1} \quad (25)$$

Si conocemos la geometría del problema en estudio y los índices ( $\kappa$ ,  $n$  y  $m$ ) se pueden determinar los rangos de temperatura, así como las dimensiones en donde existen distribuciones del campo térmico estacionarias y estables.

Si se revisa el caso no estacionario, la ecuación de energía se puede escribir

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{z^{\nu-1}} \frac{\partial}{\partial z} \left( z^{\nu-1} \theta^k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \lambda_* (\theta^m - \theta^n), \quad (26)$$

donde  $\bar{t}$  es el tiempo medido en unidades de un tiempo de relajación:  $t_x = R^2 \rho c_p / \kappa_o$ .

Si se toman soluciones para la ecuación anterior de la forma:

$$\theta(z, t) = \bar{\theta}(z) + \varepsilon(z) e^{\bar{\sigma} t}, \quad (27)$$

obtenemos:

$$\frac{1}{z^{\nu-1}} \frac{d}{dz} \left[ z^{\nu-1} \frac{d}{dz} (\bar{\theta}^k \varepsilon) \right] + [\lambda_* (m \bar{\theta}^{m-1} - n \bar{\theta}^{n-1}) - \bar{\sigma}] \varepsilon = 0, \quad (28)$$

con condiciones de frontera para  $\varepsilon(z)$

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{dz} &= 0 & z &= 0 \\ \varepsilon &= 0 & z &= 1. \end{aligned} \quad (29)$$

Para la solución trivial, la anterior ecuación se reduce a una ecuación de Bessel

$$\frac{1}{z^{\nu-1}} \frac{d}{dz} \left[ z^{\nu-1} \frac{d\varepsilon}{dz} \right] + [\lambda_* (m - n) - \bar{\sigma}] \varepsilon = 0, \quad (30)$$

cuyas soluciones compatibles con las condiciones de frontera son:

$$\begin{aligned} \varepsilon(z) &= A_1 \cos [\lambda_* (m - n) - \bar{\sigma}]^{1/2} z & \text{si } \nu &= 1 \\ \varepsilon(z) &= A_2 J_0 [\lambda_* (m - n) - \bar{\sigma}]^{1/2} z & \text{si } \nu &= 2 \\ \varepsilon(z) &= A_3 \frac{\text{sen} [\lambda_* (m - n) - \bar{\sigma}]^{1/2} z}{z} & \text{si } \nu &= 3, \end{aligned} \quad (31)$$

donde  $A_i$  son constantes,  $J_o$  es la función de Bessel de orden cero, y

$$\bar{\sigma} = \lambda_* (m - n) - b_N^2, \quad (32)$$

siendo  $b_N$ :  $(2N+1)\pi/2$ ,  $j_{(2N+1)}$  y  $(2N+1)\pi$  para  $\nu = 1, 2$  y 3 respectivamente. Obviamente, solo para  $m - n > 0$ , la tasa  $\bar{\sigma} > 0$ ; también se tiene que el modo más rápido es aquel para el cual  $N = 0$  y sera inestable si  $\bar{\sigma} > 0$ . El valor  $\lambda_c$  crítico correspondiente será:

$$\lambda_c = \frac{b_N^2}{m - n}, \quad (33)$$

y el tamaño de las estructuras, marginalmente estables, homogéneas, y en equilibrio térmico vendrá dado por:

$$R_c = \left[ \frac{b_N^2}{m - n} \left( \frac{\kappa_o}{\Gamma_o} \right) \left( \frac{\Lambda_o}{\Gamma_o} \right)^{(k+1-m)/(m-n)} \right]^{1/2}, \quad (34)$$

el cual se calcula por las propiedades físicas del gas en consideración.

En el trabajo de Ibáñez *et al.* (1992) (Artículo I) se continúa con un desarrollo numérico para las soluciones estacionarias que permite conocer las distribuciones de temperatura para diferentes valores del parámetro  $\lambda_*$  e identificar las ramas de estabilidad e inestabilidad con la ayuda de la solución trivial, y más adelante Ibáñez *et al.* (1993) (Artículo II) se lleva este análisis al régimen no lineal.

## Modelo dinámico

Ahora se va a analizar el acoplamiento del campo térmico con la dinámica, desarrollo que no ha sido aún tomado en cuenta. Recordando las ecuaciones hidrodinámicas:

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \nabla \cdot v = 0, \quad (35)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} + \nabla p = 0, \quad (36)$$

$$\frac{R}{\mu} \left( \frac{1}{\gamma - 1} \rho \frac{DT}{Dt} - T \frac{D\rho}{Dt} \right) + \rho L(\rho, T) - \nabla \cdot (\kappa \nabla T) = 0, \quad (37)$$

$$p = \frac{R}{\mu} \rho T, \quad (38)$$

donde  $\rho$ ,  $v$ ,  $p$ ,  $T$ ,  $\kappa$ , and  $R$  son: densidad de masa, velocidad, presión, temperatura, coeficiente de conducción térmica y constante de los gases, respectivamente.  $L(\rho, T)$  es la función de pérdida-ganancia de energía por unidad de masa y tiempo definida por

$$\rho L(\rho, T) = \Lambda(\rho, T) - \Gamma(\rho, T), \quad (39)$$

siendo  $\Gamma$ , el calor liberado por unidad de volumen y tiempo por procesos de caracter irreversible y/o calor absorbido de una fuente externa, y  $\Lambda$ , la tasa de pérdida de calor por unidad de volumen y tiempo respectivamente. En este trabajo la atención se centrará en la siguiente forma funcional para el calentamiento:

$$\Gamma(\rho, T) = C \rho^a T^b, \quad (\text{erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}), \quad (40)$$

$C$ ,  $a$ ,  $b$  son constantes dadas (Rosner *et al.*, 1978; Dahlburg & Mariska, 1988; y referencias citadas). Adicionalmente, la función de enfriamiento para gases con abundancias solares se tomará en la forma

$$\Lambda(\rho, T) = \rho^2 \Lambda_i \left( \frac{T}{T_i} \right)^\nu, \quad (\text{erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}), \quad (41)$$

(Vesecky *et al.*, 1979). Por otra parte, el coeficiente de conducción térmica se escribirá de la forma

$$\kappa(\rho, T) = \kappa_1 \rho^c T^q, \quad (42)$$

donde  $\kappa_1$ ,  $c$  y  $q$  son constantes dadas (Parker, 1953, Spitzer, 1962, Ibáñez & Plachco, 1991).

Las soluciones inicialmente estacionarias bajo consideración son:

$$v_o = 0, \quad p_o = \frac{R}{\mu} \rho_o T_o \equiv \text{constante}, \quad (43)$$

siendo  $(\rho_o, T_o)$ , soluciones de la ecuación:

$$\rho_o L_o(\rho_o, T_o) - \nabla \cdot (\kappa(\rho_o, T_o) \nabla T_o) = 0, \quad (44)$$

con condiciones de frontera

$$\nabla T_o = 0 \text{ en } (x, y, 0), \quad (45)$$

$$T_o(x, y, z) = T_b \text{ en } (x, y, l), \quad (46)$$

donde  $l$  es la distancia del centro al borde de la lámina en estudio.

Si se perturban las soluciones estacionarias, teniendo siempre presente que  $p_o \equiv \text{const}$ , se pueden tomar soluciones de las ecuaciones (35)-(38) de la forma:

$$\Psi(x, y, z, t) = \Psi_o(x, y, z) + \delta\Psi(x, y, z, t), \quad (47)$$

para cualquiera de las variables termodinámicas. Así, si se desprecian los términos no lineales en  $\delta\Psi$  del conjunto de ecuaciones (35)-(38) y si además se consideran las soluciones en términos de modos normales (Chandrasekhar, 1961), i.e.

$$\begin{aligned} & \left( \frac{d \ln \tilde{T}_o}{d \tilde{z}} \right) \left( c \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \tilde{N} + 1 \right) \frac{d \eta}{d \tilde{z}} \\ & + \tilde{N} \left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{\tilde{N}}{\tilde{T}_o} - \tilde{\alpha} \epsilon_* (2 \tilde{T}_o^{m-1} - a \tilde{T}_o^{m-1}) + c(q+1-c) \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \left( \frac{d \ln \tilde{T}_o}{d \tilde{z}} \right)^2 + c \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \left( \frac{d^2 \ln \tilde{T}_o}{d \tilde{z}^2} \right) \right] \eta \\ & + \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \tilde{N} \frac{d^2 \theta}{d \tilde{z}^2} + \left( \frac{d \ln \tilde{T}_o}{d \tilde{z}} \right) \left\{ [2(q+1)-c] \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \tilde{N} + 1 \right\} \frac{d \theta}{d \tilde{z}} \\ & - \tilde{N} \left\{ \frac{1}{\gamma} \frac{\tilde{N}}{\tilde{T}_o} + \tilde{\alpha} \tilde{T}_o^{q-c} \tilde{k}_\perp^2 + \tilde{\alpha} \epsilon_* [(\nu - q - 1) \tilde{T}_o^{m-1} - (b - q - 1) \tilde{T}_o^{m-1}] \right\} \theta = 0, \quad (50) \end{aligned}$$

donde

$$\begin{aligned} \tilde{z} &= \frac{z}{l}, \quad \tilde{T}_o = \frac{T_o}{T_*}, \quad \tilde{k}_\perp^2 = (lk_x)^2 + (lk_y)^2, \\ \tilde{N} &= \tau_* \mathcal{N}, \quad \tau_* = \frac{l}{c_*}, \quad \tau_\chi = \frac{l^2}{\chi_*}, \quad \tilde{\alpha} = \frac{\tau_*}{\tau_\chi}, \\ \epsilon_* &= \frac{l^2 \Gamma_1 T_*^{m-1}}{\kappa_*} = \frac{l^2 \Lambda_1 T_*^{m-1}}{\kappa_*}. \quad (51) \end{aligned}$$

En las anteriores ecuaciones,  $\chi_o \equiv \kappa_o / \rho_o c_p$  es la conductividad termométrica y  $c_o^2 \equiv RT_o / \mu$  es la velocidad del sonido. El subíndice (\*) se refiere a la respectiva cantidad evaluada a la temperatura de equilibrio  $T_*$ . En particular,  $c_*$  es la velocidad isotérmica del sonido en  $T_*$ . Por lo tanto,  $\tau_*$  y  $\tau_\chi$  son el tiempo de propagación de la onda sonora, y el tiempo de relajación debido a la conducción térmica, respectivamente. Adicionalmente, como la presión estacionaria es constante, las funciones de calentamiento y enfriamiento se pueden expresar tal como en Ibáñez *et al.* (1992), i.e.  $\Gamma = \Gamma_1 T^m$ ,  $\Lambda = \Lambda_1 T^m$ , siendo  $\Gamma_1$  y  $\Lambda_1$  constantes, y  $m = b - a$ ,  $n = \nu - 2$ .

### Estabilidad de la solución trivial

La ecuación estacionaria (44) tiene una solución  $T_o = T_*$  que caracteriza el estado de equilibrio térmico. Por lo

$$\begin{aligned} \frac{\delta \rho}{\rho_o} &= \eta(z) \exp[i(k_x x + k_y y) + \mathcal{N}t], \\ \frac{\delta T}{T_o} &= \theta(z) \exp[i(k_x x + k_y y) + \mathcal{N}t], \\ v &= v^1(z) \exp[i(k_x x + k_y y) + \mathcal{N}t], \\ \frac{\delta p}{p_o} &= \beta(z) \exp[i(k_x x + k_y y) + \mathcal{N}t], \quad (48) \end{aligned}$$

donde  $k_\perp \equiv (k_x, k_y)$  es el número de onda normal a la dirección  $z$  y  $\mathcal{N}$  es la tasa, se obtienen las siguientes dos ecuaciones diferenciales simultáneas:

$$\frac{d^2 \eta}{d \tilde{z}^2} - \left( \frac{\tilde{N}^2}{\tilde{T}_o} + \tilde{k}_\perp^2 \right) \eta + \frac{d^2 \theta}{d \tilde{z}^2} - \tilde{k}_\perp^2 \theta = 0, \quad (49)$$

tanto, para esta solución estacionaria  $\tilde{T}_o = 1$ , el sistema de ecuaciones (49)-(50) se simplifica, i.e.

Las soluciones requeridas de las ecuaciones (52)-(53) son de la forma  $\sim \exp(i \tilde{k}_z z)$ , donde  $\tilde{k}_z$  es el número de onda a lo largo del eje  $z$ , siempre y cuando se cumpla la ecuación característica

$$\frac{d^2 \eta}{d \tilde{z}^2} - (\tilde{N}^2 + \tilde{k}_\perp^2) \eta + \frac{d^2 \theta}{d \tilde{z}^2} - \tilde{k}_\perp^2 \theta = 0, \quad (52)$$

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{\gamma - 1}{\gamma} \tilde{N}^2 - \tilde{N} \tilde{\alpha} \epsilon_* (2 - a) \right] \eta + \tilde{N} \tilde{\alpha} \frac{d^2 \theta}{d \tilde{z}^2} \\ & - \left\{ \frac{\tilde{N}^2}{\gamma} + \tilde{N} \tilde{\alpha} \tilde{k}_\perp^2 + \tilde{N} \tilde{\alpha} \epsilon_* (\nu - b) \right\} \theta = 0. \quad (53) \end{aligned}$$

Adicionalmente, las perturbaciones en presión y velocidad están dadas por:

$$\beta(z) = \eta(z) + \theta(z), \quad (54)$$

$$\tilde{N} \tilde{v}_\perp^1(z) = -i \tilde{k}_\perp \beta(z), \quad (55)$$

$$\tilde{N} \tilde{v}_z^1(z) = -\frac{d}{d \tilde{z}} \beta(z), \quad (56)$$

donde  $\tilde{v}_w^1 = v_w^1 / c_*$ , and  $\tilde{N} = \tau_* \mathcal{N}$ .

$$\tilde{N} \left\{ \tilde{N}^3 + \gamma \tilde{\alpha} [\tilde{k}^2 + (n - m - a + 2) \epsilon_*] \tilde{N}^2 + \gamma \tilde{k}^2 \tilde{N} + \gamma \tilde{\alpha} [\tilde{k}^2 + (n - m) \epsilon_*] \tilde{k}^2 \right\} = 0,$$

en la ecuación anterior  $\tilde{k}^2 = \tilde{k}_z^2 + \tilde{k}_\perp^2$ .

Independientemente de las condiciones de frontera, existe una solución no-trivial para el sistema (52)-(53) que corresponde a la raíz  $\mathcal{N} = 0$ , i.e.  $\eta = -\theta$ ,  $\beta = 0$ ,  $v_z^1 = 0$ ,  $v_\perp^1 = 0$ , y  $\xi = 0$ , es decir un desplazamiento de los valores de equilibrio a presión constante, en donde los cambios en densidad son equilibrados por los cambios en temperatura ( $\delta\rho + \delta T = 0$ ). Los tres valores propios n\u00f3nulos restantes se determinan de las ra\u00edces de la ecuaci\u00f3n c\u00fabica que aparece entre los corchetes de la ecuaci\u00f3n (57).

Como es de esperarse, para las soluciones  $\mathcal{N} \neq 0$  las condiciones de frontera imponen restricciones sobre los valores de  $\tilde{k}_z$ . En efecto, se puede mostrar f\u00e1cilmente que si las fronteras de la l\u00e1mina son libres, las soluciones son:

$$\theta = \Theta_1 \cos(\tilde{k}_z z), \tag{58}$$

$$\eta = H\theta, \tag{59}$$

$$\beta = (1 + H)\theta, \tag{60}$$

$$\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_\perp^1 = -i\tilde{k}_\perp\beta, \tag{61}$$

$$\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_z^1 = \tilde{k}_z(1 + H)\Theta_1 \sin(\tilde{k}_z z), \tag{62}$$

donde  $\Theta_1$  es la amplitud de la perturbaci\u00f3n en temperatura,

$$\tilde{k}_z = (2N + 1)\left(\frac{\pi}{2}\right), \quad N = 0, 1, 2, \dots, \tag{63}$$

y

$$H = \frac{\tilde{\mathcal{N}} + \gamma\tilde{\alpha}[\tilde{k}^2 + \epsilon_*(\nu - b)]}{(\gamma - 1)\tilde{\mathcal{N}} - \gamma\tilde{\alpha}\epsilon_*(2 - a)}. \tag{64}$$

En la frontera  $\theta(1) = \eta(1) = \beta(1) = 0$ ,  $\tilde{v}_\perp^1(1) = 0$ ,  $\tilde{v}_z^1(1) = 0$ , pero  $\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_z^1(1) = \tilde{k}_z(1 + H)\Theta_1$  (aceleraci\u00f3n de la frontera)  $\neq 0$ , y  $\xi_z \neq 0$ . Por otra parte, en el centro de la estructura  $(d\theta/dz)_{z=0} = 0$ ; por lo tanto, las anteriores soluciones para la perturbaci\u00f3n en temperatura satisfacen id\u00e9nticas condiciones a las supuestas en el Art\u00edculo I. Lo anterior permite examinar los efectos de la din\u00e1mica del gas sobre la estructura t\u00e9rmica estudiada. Es intere-

sante resaltar que en el centro  $\theta(0) = \Theta_1$ ,  $\eta(0) = H\Theta_1$ , y  $\beta = (1 + H)\Theta_1 \neq 0$ ,  $\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_\perp^1(0) = -i\tilde{k}_\perp\beta(0) \neq 0$ ,  $\xi_\perp \neq 0$  pero  $\tilde{v}_z^1(0) = 0$ , y  $\xi_z(0) = 0$ .

Por otra parte, si las fronteras de la l\u00e1mina son r\u00edgidas, las soluciones correspondientes para  $\tilde{\mathcal{N}} \neq 0$  son:

$$\theta = \Theta_1 \sin(\tilde{k}_z z), \tag{65}$$

$$\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_z^1 = -\tilde{k}_z(1 + H)\Theta_1 \cos(\tilde{k}_z z), \tag{66}$$

donde  $\tilde{k}_z$  y  $H$  est\u00e1n definidas por las ecuaciones (63) y (64), respectivamente; y  $\eta$ ,  $\beta$ , y  $v_\perp^1$  contin\u00faan siendo definidas por las relaciones (59)-(61), respectivamente. Obviamente, en la frontera,  $\theta(1) = \Theta_1$ ,  $\eta(1) = H\Theta_1$ ,  $\beta(1) = (1 + H)\Theta_1$ ,  $\tilde{\mathcal{N}}\tilde{v}_\perp^1(1) = -i\tilde{k}_\perp\beta(1)$ ,  $\xi_\perp \neq 0$ ,  $\tilde{v}_z^1(1) = 0$  y  $\xi_z(1) = 0$ . Sin embargo, para que las soluciones anteriores satisfagan condiciones de frontera r\u00edgidas,  $(d\theta/dz)_{z=0} = \tilde{k}_z\Theta_1 \neq 0$  en el centro; adicionalmente,  $\theta(0) = \eta(0) = \beta(0) = 0$ ,  $\tilde{v}_\perp^1(0) = 0$ , y  $\xi_\perp = 0$ , pero  $\tilde{v}_z^1(0) = -\tilde{k}_z(1 + H)\Theta_1 \neq 0$ , y  $\xi_z \neq 0$ . Estrictamente hablando, sobre una superficie r\u00edgida se debe cumplir que  $v_\perp^1(1) = 0$ , y  $v_z^1(1) = 0$ . Sin embargo, y debido a que en el problema bajo estudio la viscosidad del gas se ha despreciado, la anterior condici\u00f3n no se puede cumplir.

**Ra\u00edces de la ecuaci\u00f3n de dispersi\u00f3n y criterios de inestabilidad**

La ecuaci\u00f3n c\u00fabica entre los par\u00e9ntesis del lado izquierdo de la ecuaci\u00f3n (57) es de la forma

$$\tilde{\mathcal{N}}^3 + a_1\tilde{\mathcal{N}}^2 + a_2\tilde{\mathcal{N}} + a_3 = 0, \tag{67}$$

con coeficientes reales  $a_i$ . En general, las ra\u00edces de la ecuaci\u00f3n (67) son de la forma

$$\tilde{\mathcal{N}}_j = \tilde{\sigma}_j + i\tilde{\omega}_j, \quad j = 1, 2, 3. \tag{68}$$

en donde las tasas  $\tilde{\sigma}_j$  y frecuencias  $\tilde{\omega}_j$  son cantidades reales.

Una forma de investigar c\u00faando los anteriores valores propios son inestables ( $\tilde{\sigma}_j > 0$ ) es aplicando los criterios de Hurwitz (1895), de acuerdo con los cuales, el n\u00famero de ra\u00edces de la ecuaci\u00f3n (67) con parte real positiva ( $\tilde{\sigma}_j > 0$ ) est\u00e1 dada por el n\u00famero de cambios de signo en la secuencia  $+1, a_1, a_1(a_1a_2 - a_3), a_3$  en donde:

$$a_1 = \gamma\tilde{\alpha}[\tilde{k}^2 + (n - m - a + 2)\epsilon_*], \tag{69}$$

$$a_1(a_1a_2 - a_3) = \gamma\tilde{\alpha} \left[ \tilde{k}^2 + (n - m + 2 - a)\epsilon_* \right] \left\{ (\gamma - 1)\tilde{k}^2 + [(\gamma - 1)(n - m) + \gamma(-a + 2)]\epsilon_* \right\} \tilde{k}^2, \tag{70}$$

$$a_3 = \gamma\tilde{\alpha}[\tilde{k}^2 + (n - m)\epsilon_*]\tilde{k}^2. \tag{71}$$

Adem\u00e1s, una condici\u00f3n suficiente para que una inestabilidad exista es que cualquiera de las siguientes relaciones se cumpla

$$\left(\frac{2N + 1}{2}\pi\right)^2 + \tilde{k}_\perp^2 + (n - m - a + 2)\epsilon_* \leq 0, \tag{72}$$

$$\left(\frac{2N + 1}{2}\pi\right)^2 + \tilde{k}_\perp^2 + [(n - m) + \frac{\gamma}{\gamma - 1}(-a + 2)]\epsilon_* \leq 0, \tag{73}$$

$$\left(\frac{2N + 1}{2}\pi\right)^2 + \tilde{k}_\perp^2 + (n - m)\epsilon_* \leq 0. \tag{74}$$

Obviamente, las igualdades en las relaciones (72)-(74) definen los estados marginales de la estructura t\u00e9rmica. Como se observa, a diferencia del caso estudiado por



Ibáñez, Parravano & Mendoza, aparecen tres criterios de inestabilidad; sin embargo, el criterio (74) se identifica claramente con la ecuación (33), derivada por ellos.

Si se conocen las condiciones físicas particulares del plasma en consideración (i.e. los valores de los índices  $n$ ,  $m$ , y  $a$  son dados), se puede resolver la ecuación de dispersión (57) para encontrar las tasas  $\bar{\sigma}_j$  y las frecuencias  $\bar{\omega}_j$  como funciones del número de onda transversal  $\tilde{k}_\perp$ , para los diferentes modos normales ( $N=0,1,\dots$ ) y los dos números adimensionales  $\alpha_* = \tau_*/\tau_\chi$  y  $\epsilon_*$ . Una vez que se determinen las raíces  $\tilde{N}_j$ , el parámetro  $H$  se puede calcular de la ecuación (64).

Tabla 2  
Procesos de calentamiento en plasmas astrofísicos.

Caso	Descripción	a	b
A	Calentamiento constante por unidad de volumen	0	0
B	Calentamiento constante por unidad de masa	1	0
C	Calentamiento por corriente coronal de disipación	1	1
D	Calentamiento por Modo Alfvén/Modo de conversión	7/6	7/6
E	Calent. por Modo Alfvén/Conducción anómala amortiguada	1/2	-1/2

Existen cinco procesos de calentamiento de particular importancia en astrofísica, ver tabla 2 [Rosner et al., (1978), Dahiburg & Mariska, (1988) y referencias citadas]. El caso  $n = -3/2$ ,  $m = -1$  estudiado en el Artículo I como un caso de referencia, será analizado.

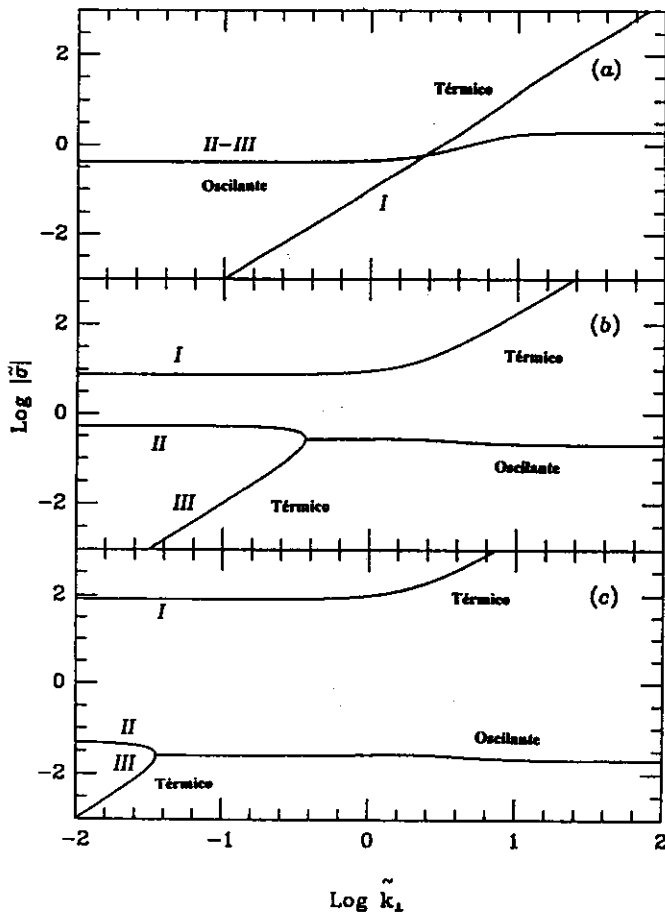


Figura 2. Las tasas  $\bar{\sigma}_j$  como funciones del número de onda  $\tilde{k}_\perp$  para el modo fundamental  $N = 0$ ,  $\gamma = 5/2$ ,  $n = -3/2$ ,  $m = -1$ ,  $a = 1$ ,  $\epsilon_* = \pi^2/2$ , y  $\alpha_* = 0.1, 1, 10$ , panel (a), (b), y (c), respectivamente. Las diferentes raíces de la ecuación (3.16) están etiquetadas con números romanos.

Este caso corresponde a una lámina de plasma con abundancias solares calentado a una tasa por unidad de masa constante (caso B), y enfriado por radiación libre-libre ( $\nu=1/2$ ). Adicionalmente, bajo las condiciones anteriores, la difusión de calor es dominada por electrones y la conocida relación de Spitzer (1962) se cumple (i.e.  $c = 0$ ,  $q = 5/2$ ).

La figura 2 es una gráfica de las tasas  $|\bar{\sigma}_j|$  como funciones del número de onda normal  $\tilde{k}_\perp$ , para el modo fundamental  $N = 0$ ,  $\gamma = 5/3$ ,  $n = -3/2$ ,  $m = -1$ ,  $a = 1$ ,  $\epsilon_* = \pi^2/2$ , (valor crítico en Artículos I, y II), y tres valores diferentes del parámetro adimensional  $\alpha_*$ : 0.1, 1 y 10 (paneles a, b y c respectivamente). Se observó que hay un rompimiento del cruce de modos para  $\alpha \approx 0.4899$ . Las respectivas frecuencias, cuando las raíces  $\tilde{N}_j$  son números complejos, se muestran en la figura 3, y los correspondientes valores de  $|ReH|$  en la figura 4. La figura 5 es similar a la figura 2; pero para  $\epsilon_* = \pi^2$ ; cuando  $\alpha \approx 0.385$ , desaparece el cruce de modos. Los respectivos valores de  $|ReH|$  se muestran en la figura 6. Como se espera de los criterios de Hurwitz independientemente del valor de  $\alpha_*$ , el modo térmico (el cual siempre se comporta como el modo más lento) se hace inestable para  $\tilde{k}_\perp \leq \tilde{k}_{c\perp} \cong \pi/\sqrt{2}$ . En las figuras 7 y 8 se observa el comportamiento de las raíces  $\bar{\sigma}_j$  para el primer y segundo armónicos,  $N = 1$  y  $N = 2$  respectivamente con  $\epsilon_* = \pi^2$ .

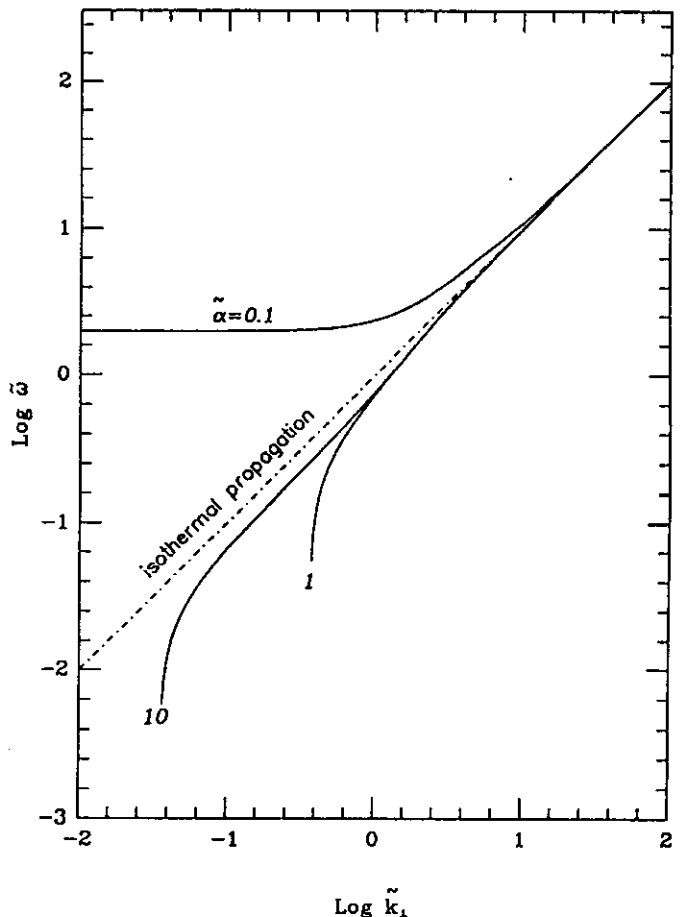


Figura 3. Las frecuencias correspondientes a los modos oscilantes de la figura 2 como función de  $\tilde{k}_\perp$ . La relación de dispersión  $\bar{\omega}(\tilde{k}_\perp)$  para una onda sonora isotérmica se muestra con una línea de puntos.

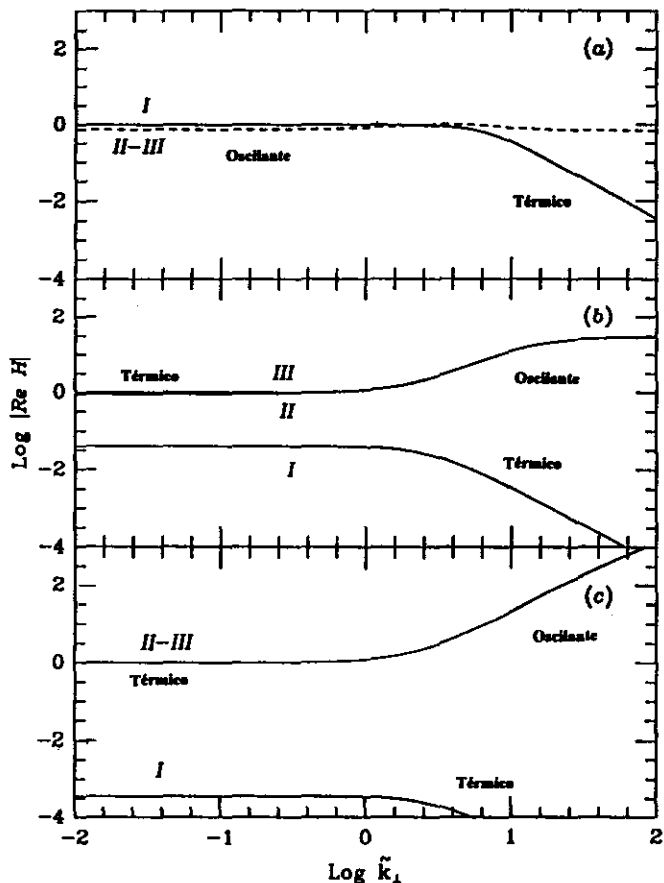


Figura 4. El parámetro adimensional  $ReH$  correspondiente a las respectivas tasas de la figura 2 como función de  $k_{\perp}$ . Valores positivos de  $ReH$  están indicados por líneas a trazos.

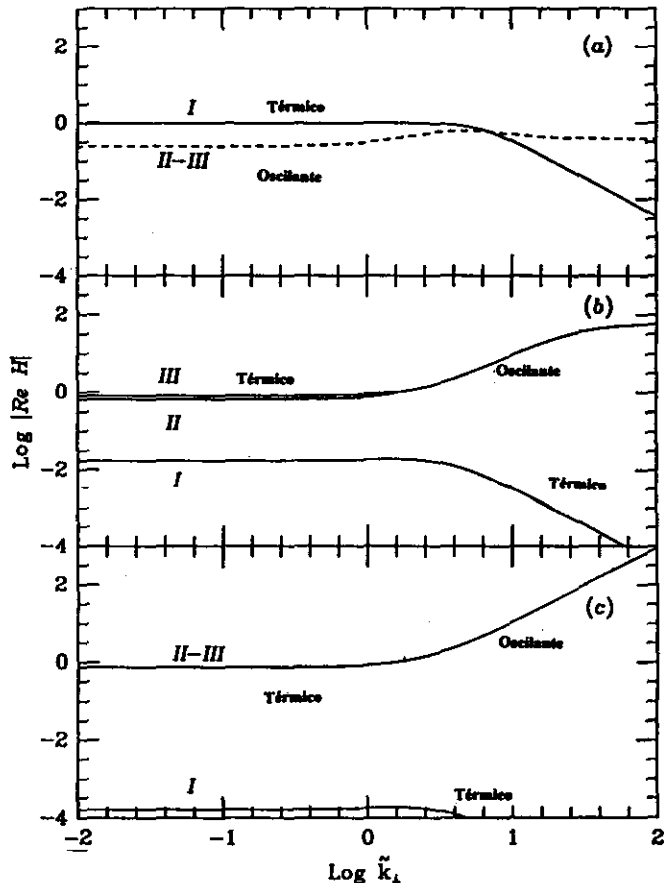


Figura 6. Los valores de  $ReH$  correspondientes a las raíces mostradas en la figura 5 como funciones de  $k_{\perp}$ . Líneas a trazos corresponden a valores positivos de  $H$ .

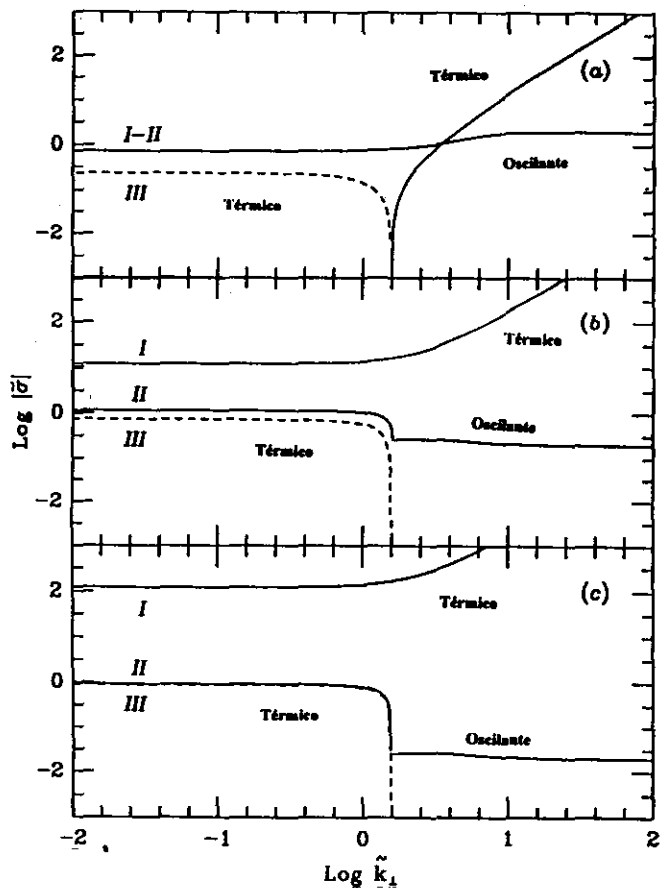


Figura 5. Similar a la figura 2 para  $\epsilon_* = \pi^2$

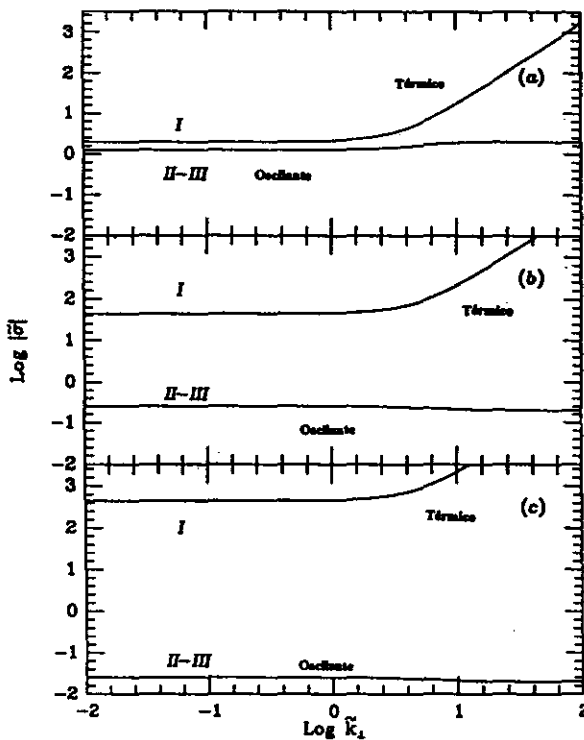


Figura 7. Similar a la figura 2 pero para el primer armónico  $N = 1$  y  $\epsilon_* = \pi^2$ .

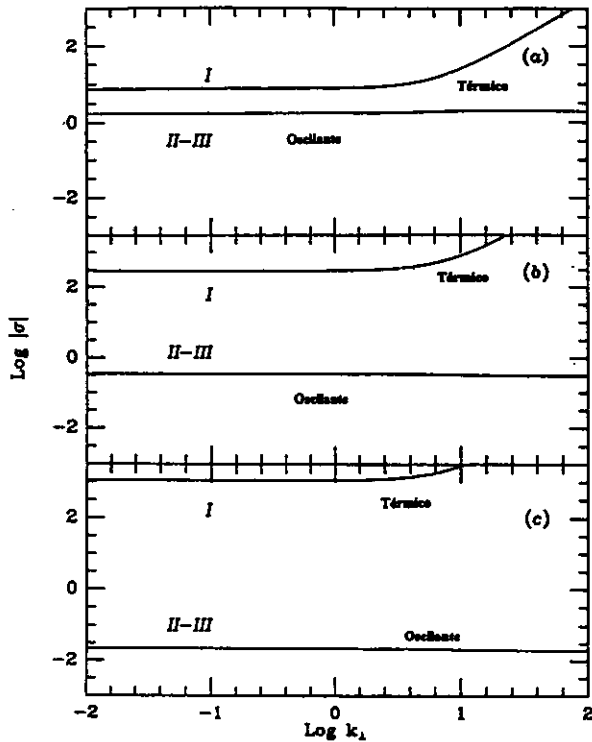


Figura 8. Similar a la figura 2 pero para el segundo armónico  $N = 2$  y  $\epsilon_* = \pi^2$ .

## Conclusiones

En resumen, en este trabajo se realizó un análisis en términos de modos normales de una estructura térmica laminar. El problema general de valores propios fue reducido a dos ecuaciones diferenciales acopladas de segundo orden las cuales deben ser solucionadas numéricamente. Se hizo un estudio analítico para la solución trivial (la solución del equilibrio térmico): se derivó la ecuación característica correspondiente y se obtuvieron tres criterios de inestabilidad independientemente de si las fronteras son libres o rígidas. Estos criterios determinan cuándo aparece una inestabilidad y el parámetro de acoplamiento  $H$  definido por ecuación (64) determina la forma en que la inestabilidad ocurre, i.e. la forma como la fluctuación en temperatura está acoplada con la fluctuación en densidad, presión y velocidad al surgimiento de la inestabilidad. Las ecuaciones (59)-(61) permiten visualizar el acople y desacople de las perturbaciones en temperatura, densidad, presión y velocidad para los tres modos resultantes (térmico, oscilante y no-oscilante); sin embargo, hay que tener presente que un análisis general debe involucrar la acción simultánea de las tres raíces. Es de destacar que si en todas las gráficas correspondientes a las raíces  $\bar{\sigma}_j$  contra  $\bar{k}_\perp$  se presentan raíces positivas (líneas a trazos), éstas dominan sobre las restantes ya que implican la aparición de una inestabilidad; pero en aquellas gráficas en que las tres raíces son negativas para un mismo valor de  $\bar{k}_\perp$ , quien domina la estabilidad es la menos negativa de todas. Al investigar los

armónicos correspondientes al caso de referencia, se observa cómo desaparece la inestabilidad presente cuando  $N = 0$  (Modo Fundamental).

Deseo expresar mi especial agradecimiento al Dr Miguel H. Ibáñez S, tutor de esta línea de investigación, a los Doctores Eduardo Brieva B. y Antonio Uribe por sus correcciones, así como al Observatorio Astronómico Nacional, por el soporte logístico.

## Bibliografía

- Bränd, L. 1964. Vector and tensor analysis. (New York: John Wiley & sons).
- Chandrasekhar, S. 1961. Hydrodynamic and hydromagnetic stability (Oxford: Clarendon press).
- Dahlburg, R. B. & J.T. Mariska. 1988. Solar Physics, 117, 51.
- Higuera, G.M.A. 1994, M.Sc Tesis. Universidad de Los Andes, Mérida. Venezuela.
- Hurwitz, A. 1895. Math. Ann. 46, 273.
- Ibáñez, S. M. H. 1986. Estabilidad y Ondas Lineales en Fluidos. Departamento de Física. Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela.
- Ibáñez, S. M. H., & M. F. P. Plachco. 1991. On the thermal stability of slabs, cylinders and spheres. ApJ, 370: 743-751.
- Parravano A. & B. C. A. Mendoza. 1992. On the thermal structure and stability of configurations with heat diffusion and a gain-loss function. ApJ, 398: 177-185. (Artículo I).
- Parravano A. & B. C. A. Mendoza. 1993. Non-linear instability of thermal field. ApJ, 407: 611-621. (Artículo II).
- Kenneth R. L. 1980. Astrophysical Formulae (Berlin: Springer-Verlag).
- Landau, L.D. & E.M. Lifshitz. 1987. Fluid Mechanics (London: Pergamon).
- Mathews W.G. & J.S. Doane. 1990. Can quasar clouds form in thermal instabilities. ApJ, 352: 423-432.
- Mckee, Ch. & J. Ostriker. 1977. A theory of interstellar medium. ApJ, 218: 148-169.
- Mckee, Ch. & L. Cowie. 1977. The evaporation of spherical cloud in hot gas. ApJ, 215: 213-225.
- Parker E.N. 1953. ApJ. 117, 431.
- Parravano, A. 1987. A&A, 172, 280.
- Priest, E. R. 1982. Solar Magnetohydrodynamics (Dordrecht: Reidel)
- Rosner, R., Tucker, W. H., & G.S. Vaiana. 1978. Dynamics of the quietest solar corona. ApJ, 220: 643-665.
- Spitzer, L. 1962. Physics of fully ionized gases (New York: Interscience publishers).
- Vescky, J. F., Antiochos, S. K. & J. H. Underwood. 1979. ApJ, 233, 987.

# EUGLENOFITAS PIGMENTADAS DE LA AMAZONIA COLOMBIANA

por

Santiago R. Duque\*

## Resumen

Duque, S.R.: Euglenofitas pigmentadas de la Amazonía colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 651-659, 1995. ISSN 0370-3908.

Setenta y cinco especies de euglenofitas pigmentadas se registran para la Amazonia colombiana. Se discute la distribución geográfica de los taxa encontrados. Se plantea la posibilidad de diferenciar cuatro nuevas formas en *Leponcinclis ovum* var. *ovum*, *L. ovum* var. *globula*, *Trachelomonas caudata* var. *intermedia* y *T. oviformis*.

**Palabras clave:** Taxonomía, Euglenophyta, Colombia, Amazonia, América del Sur.

## Abstract

Seventy five species of pigmented Euglenophyta are reported for the Colombian Amazonia. The geographic distribution of the taxa found and the possibility of differentiate four new forms in *Leponcinclis ovum* var. *ovum*, *L. ovum* var. *globula*, *Trachelomonas caudata* var. *intermedia* and *T. oviformis* are discussed.

**Key words:** Taxonomy, Euglenophyta, Colombia, Amazonia, South America.

## Introducción

Los estudios ficológicos en la Amazonia son todavía escasos; sin embargo, cabe destacar el apreciable número de trabajos en la región brasilera (Uherkovich, 1984). Para los otros países de la cuenca, se dispone de listas parciales de las algas encontradas en ríos, caños y lagos de inundación (Hegewald et al., 1976; Bourrelly & Couté, 1982; Thérézien, 1989; Duque & Donato, 1992, 1993, 1994).

Dentro de los estudios realizados en el Brasil que incluyen a euglenoides se destacan los de Thomasson (1971) donde se registran veinticinco especies procedentes de lagos cercanos a Santarém y Manaus (Amazonia Central); los de Uherkovich & Schmidt (1974) quienes mencionan cincuenta y ocho especies del lago do Castanho, y se refieren a la posible distribución geográfi-

ca en la región, de los taxa encontrados. Más tarde, Uherkovich (1976) cita ocho especies de los ríos Negro y Tapajós y Uherkovich & Rai (1979) encuentran seis especies en el río Negro y sus tributarios.

De los "igarapés", Uherkovich & Franken (1981) citan siete especies y entre las muestras colectadas por H. Sioli en el período 1940-1959, Uherkovich (1981) identifica catorce especies de euglenofitas pigmentadas.

Rodrigues (1994) registra ciento ochenta y cinco taxa de euglenoides para el Lago Camaleão, cerca de Manaus y Conforti (1993) e incluye un estudio taxonómico de *Trachelomonas* Ehr. con base en las muestras colectadas por Rodrigues.

Los trabajos de Bourrelly & Couté (1982) se limitan a la Guyana Francesa, donde encontraron seis especies de euglenoides; Couté & Thérézien (1985) citan treinta y cinco especies de *Trachelomonas* para la Amazonia boliviana y para el mismo sector Thérézien (1989) menciona la presencia de sesenta y cuatro especies de euglenoides.

\* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. A. A. No. 215. Leticia, Amazonas - Colombia.

El presente trabajo es el primero que se adelanta sobre este grupo para la Amazonia colombiana.

### Materiales y Métodos

Se obtuvieron muestras en diferentes ambientes acuáticos del trapecio amazónico colombiano en el período 1991-1993. Las muestras se obtuvieron por arrastres superficiales con una malla de 40  $\mu\text{m}$  de criba para el fitoplancton y estrujamiento "squeezing" de macrófitos para las formas ticoplanctónicas. Las muestras se fijaron con una solución transeau en proporción 1:1.

En la figura 1 aparecen los mapas de los dos sectores donde se efectuaron los trabajos. Para el caso del río Cotuhé (afluente del río Putumayo) ubicado al norte del trapecio amazónico, se encuentran:

- 0034. Lago Tipisca Grande, Muestra de fitoplancton; 19/06/91
- 0042. Lago Buutaá, fitoplancton; 26/06/1991
- 0043. Lago Pupuñita, fitoplancton; 27/06/1991
- 0046. Lago Quinina (Desembocadura del R. Cotuhé con el R. Putumayo), fitoplancton; 29/06/1991

En el sector de la orilla colombiana del río Amazonas, están:

- 0054. Lago Tarapoto (R. Loreto Yacu) fitoplancton; 3/12/1991
- 0066. Caño Pacatua (R. Amazonas), fitoplancton; 3/12/1991
- 0073. Río Amacayacu, fitoplancton; 12/02/1992
- 0074. Lago Tipisca (R. Amacayacu), fitoplancton; 12/02/1992
- 0089. Lago Resaca (R. Amazonas), fitoplancton; 17/03/1992
- 0104. Lago Tarapoto, (R. Loreto Yacu), fitoplancton; 23/04/1992
- 0110. Lago Pozo Hondo (R. Amazonas) fitoplancton; 29/04/1992
- 0117. Lago Tarapoto (R. Loreto Yacu) fitoplancton; 21/05/1992
- 0128. Río Amacayacu, fitoplancton; 29/07/1992
- 0129. Lago Tipisca (R. Amacayacu), fitoplancton; 29/07/1992
- 0130. Lago Resaca (R. Amazonas), fitoplancton; 29/07/1992
- 0149. Lago Pozo Hondo (R. Amazonas) ticoplancton; 10/09/1992
- 0169. Lago Sabala (R. Amacayacu), fitoplancton; 4/03/1993
- 0170. Lago Tipisca (R. Amacayacu), fitoplancton; 4/03/1993

0179. Lago Garza Cocha (R. Boia Uassú), fitoplancton; 5/03/1993

La determinación taxonómica de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de ficología y limnología de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Como trabajos de referencia se utilizaron los de Hüber-Pestalozzi (1955) y Tell & Conforti (1985).

### Resultados

En la Tabla 1 se mencionan las especies de euglenofitas pigmentadas encontradas en la Amazonia colombiana, que tienen amplia distribución geográfica y las que son cosmopolitas.

A continuación se describen e ilustran las otras especies encontradas, las cuales presentaron una distribución geográfica más restringida. Estos taxa tienen un mayor interés por su aporte a la biogeografía del grupo.

*Leponcinclis nayali* Conr. Células de 44 x 29  $\mu\text{m}$  (lámina I, fig. 1). Sitio de colecta 0104. La especie se conoce solo de Africa. Esta es la primera cita para Colombia y Suramérica.

*Leponcinclis ovum* (Ehr.) Lemm. var. *ovum* fo. Células de 14-15  $\mu\text{m}$  de largo y 10-25  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 2). Posiblemente se trata de una nueva forma por su menor tamaño encontrado en comparación con la variedad *ovum* que según Tell & Conforti (1986) es de 20-38  $\mu\text{m}$  de largo y 13-23  $\mu\text{m}$  de ancho. Sitio de colecta 0104.

*Leponcinclis ovum* var. *globula* (Perty) Lemm. fo. Células de 52 x 44  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 3). Este taxón se diferencia por su tamaño, ampliamente de la variedad *globula* que mide 13-37  $\mu\text{m}$  de largo y 10-26  $\mu\text{m}$  de ancho (Tell & Conforti, 1986). Sitio de colecta 0066.

*Leponcinclis paxilliformis* Playf. Células de 28-30  $\mu\text{m}$  de largo y 13-16  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 4). Los ejemplares son de tamaño similar al registrado en Argentina por Tell & Conforti (1986). Sitio de colecta 0066. Se conoce en Australia y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Leponcinclis texta* var. *richiana* Hüber-Pest. Células de 57 x 26  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 5). Sitio de colecta 0066. Se conoce para Sudáfrica y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Leponcinclis truncata* da Cunha. Células de 40-47  $\mu\text{m}$  de largo y 28-35  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 7). Sitios de colecta 0034 y 0043. Se conoce solo en Brasil y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Phacus ephippion* Pochm. Células de 60 x 33  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 9). Sitio de colecta 0066. Se conoce en Sudáfrica, Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Phacus lefevrei* Bourr. Células de 43-54  $\mu\text{m}$  de largo y 36-45  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 8). Algunos de los ejemplares encontrados poseen dimensiones mayores a las registradas para el taxón. Sitios de colecta 0034 y 0066. Se registró solo en Guadalupe y en Argentina. Primera cita para Colombia.

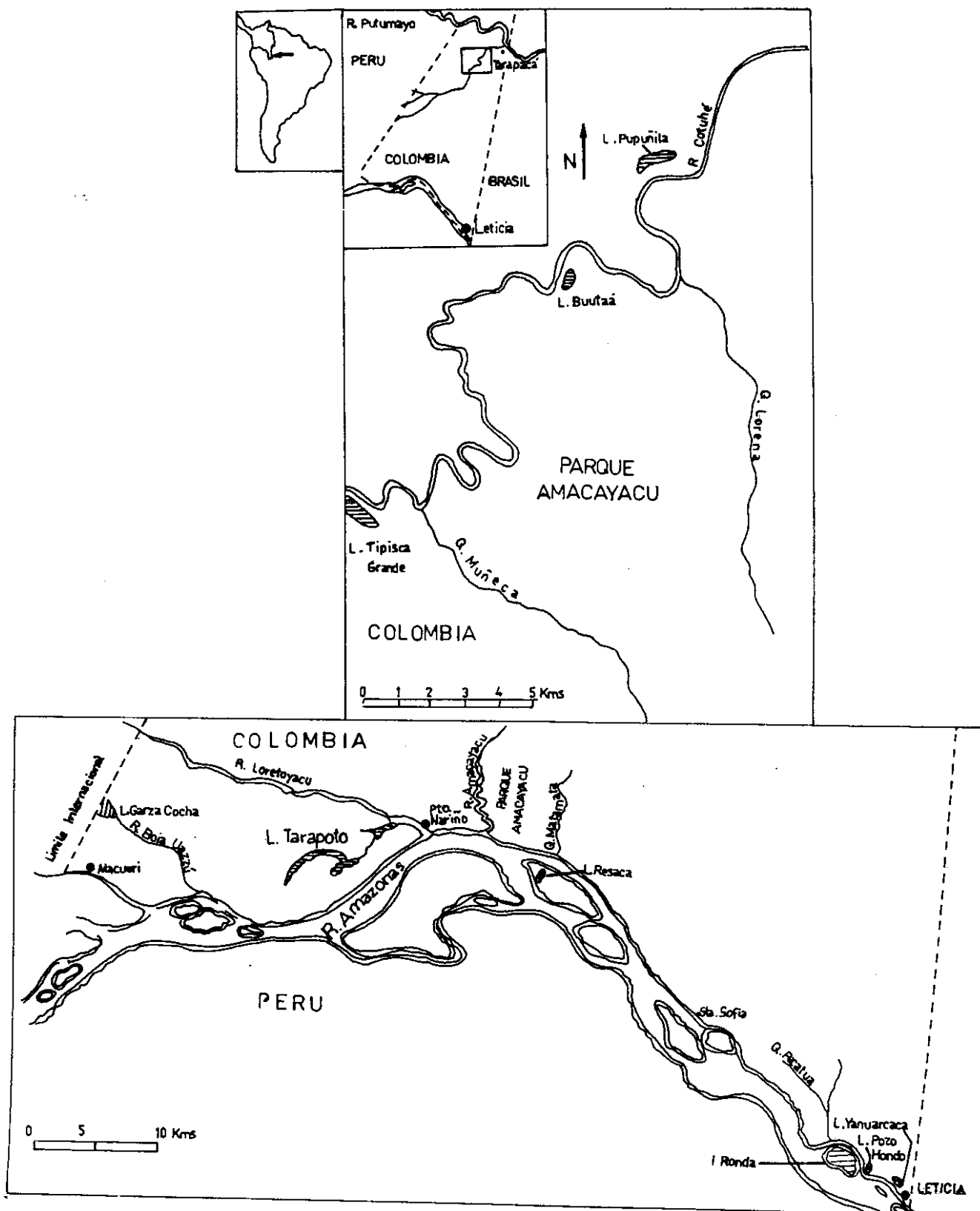


Figura 1 Ubicación de los lagos, caños y ríos muestreados en el trapecio amazónico colombiano

**Tabla 1.** Especies de Euglenofitas pigmentadas encontradas en la Amazonia Colombiana que presentan amplia distribución o que son cosmopolitas.

Taxón	Lugares de Colecta	Distribución	Taxón	Lugares de Colecta	Distribución
<i>Euglena acus</i> Ehr. var. <i>acus</i>	0066-0128	Cosmopolita	<i>Trachelomonas armata</i> var. <i>steinii</i> Lemm.	0110-0149	Cosmopolita
<i>Euglena fusca</i> (Klebs) Lemm.	0073-0117	Cosmopolita	<i>Trachelomonas caudata</i> (Ehr.) Stein	0117-0169	Cosmopolita
<i>Euglena oxyuris</i> Schmarda var. <i>oxyuris</i>	0042-0043 0054-0066 0074-0089 0104-0117 0129	Cosmopolita	<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein emend. Defl. var. <i>hispida</i> fo. <i>hispida</i> .	0110-0149	Cosmopolita
<i>Leponcinclis ovum</i> var. <i>globula</i> (Perty) Lemm.	0066-0104 0110-0149	Cosmopolita	<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>duplex</i> Defl.	0149	Cosmopolita
<i>Leponcinclis salina</i> Fritsch fo. <i>salina</i>	0043-0054 0066-0074 0110-0117	Cosmopolita	<i>Trachelomonas hispida</i> var. <i>punctata</i> Lemm.	0073-0074 0117-0149 0169	Cosmopolita
<i>Leponcinclis texta</i> (Duj.) Lemm. emend. Conrad. var. <i>texta</i>	0034-0043 0073-0089	Cosmopolita	<i>Trachelomonas intermedia</i> Dang. var. <i>intermedia</i> fo. <i>intermedia</i>	0042	Cosmopolita
<i>Phacus acuminatus</i> Stokes var. <i>acuminatus</i>	0054	Cosmopolita	<i>Trachelomonas kellogii</i> Skv. emend. Defl. var. <i>kellogii</i>	0149	Amplia distribución
<i>Phacus brevicaudatus</i> (Klebs) Lemm.	0042	Cosmopolita	<i>Trachelomonas kellogii</i> var. <i>effigurata</i> Skv.	0066-0110 0169	Amplia distribución
<i>Phacus horridus</i> Pochm.	0104-0117 0169	Cosmopolita	<i>Trachelomonas oblonga</i> Lemm. var. <i>oblonga</i>	0042	Cosmopolita
<i>Phacus longicauda</i> var. <i>insecta</i> Hüber-Pest.	0042-0043 0066-0117 0128-0129 0130-0169	Cosmopolita	<i>Trachelomonas pulcherrima</i> Playf. var. <i>pulcherrima</i>	0149	Cosmopolita
<i>Phacus onyx</i> Pochm. var. <i>onyx</i>	0034-0054 0073-0074 0128-0149	Cosmopolita	<i>Trachelomonas robusta</i> Swir. emend. Defl.	0169	Amplia distribución
<i>Phacus orbicularis</i> Hübn.	0066	Cosmopolita	<i>Trachelomonas similis</i> var. <i>spinosa</i> Hüb-Pest.	0169	Amplia distribución
<i>Phacus platalea</i> Drez. var. <i>platalea</i>	0128	Amplia distribución	<i>Trachelomonas superba</i> Swir. emend. Defl. var. <i>superba</i> .	0066	Cosmopolita
<i>Phacus textus</i> Pochm.	0128-0170	Amplia distribución	<i>Trachelomonas volvocina</i> Ehr. var. <i>volvocina</i>	0043-0054 0110	Cosmopolita
<i>Phacus tortus</i> (Lemm.) Skv.	0054-0073 0074	Cosmopolita	<i>Trachelomonas volvocina</i> var. <i>punctata</i> Playf.	0042	Amplia distribución
<i>Phacus triqueter</i> (Ehr.) Duj.	0043-0104	Cosmopolita	<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> Swir. var. <i>volvocinopsis</i>	0034	Cosmopolita
<i>Phacus undulatus</i> (Skv.) Pochm. var. <i>undulatus</i>	0042-0043 0104-0117 0169	Amplia distribución	<i>Strombomonas fluviatilis</i> (Lemm.) Defl. var. <i>fluviatilis</i>	0066-0129	Cosmopolita
<i>Trachelomonas abrupta</i> var. <i>arcuata</i> (Playf.) Defl.	0110	Amplia distribución	<i>Strombomonas fluviatilis</i> var. <i>levis</i> (Lemm.) Skv.	0128	Cosmopolita
<i>Trachelomonas abrupta</i> var. <i>minor</i> Defl.	0128-0149	Amplia distribución	<i>Strombomonas scabra</i> (Playf.) Tell et Conforti var. <i>scabra</i>	0089-0128	Cosmopolita
<i>Trachelomonas armata</i> (Ehr.) Stein var. <i>armata</i> fo. <i>armata</i>	0042-0066 0104-0117 0129	Cosmopolita	<i>Strombomonas verrucosa</i> var. <i>zmiewika</i> (Swir.) Defl.	0066	Amplia distribución

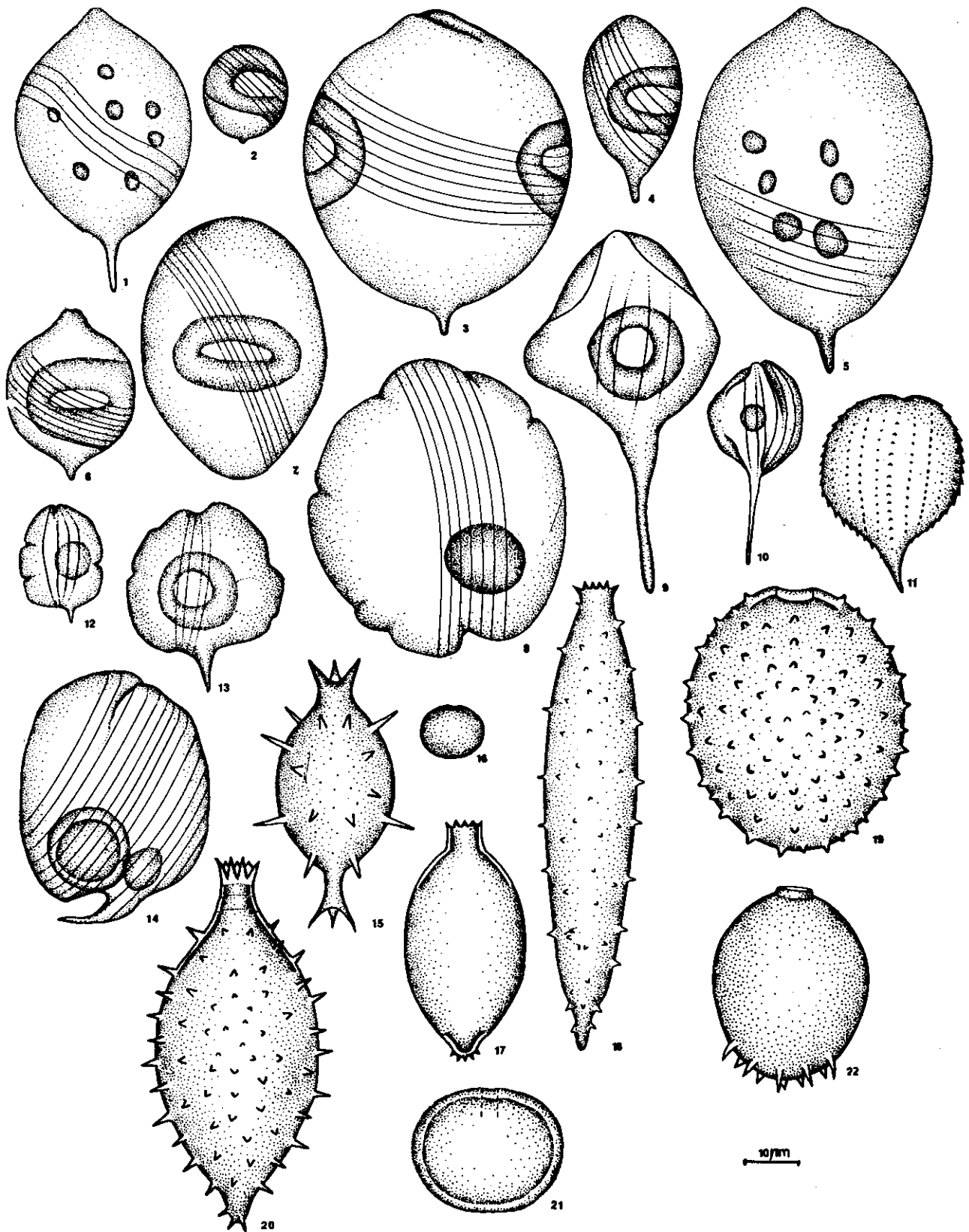


Lámina I

1. - *Leponcinclis nayali*, 2. *L. ovum* var. *ovum* fo., 3. *L. ovum* var. *globula* fo., 4. *L. paxilliformis*, 5. *L. texta* var. *richiana*, 6. *L. ovum* var. *globula*, 7. *L. truncata*, 8. *Phacus lefevrei*, 9. *P. ephippion*, 10. *P. longicauda* var. *rotunda*, 11. *P. margaritatus*, 12. *P. multifidus*, 13. *P. onyx* var. *symetrica*, 14. *P. pleuronectes* var. *ungulatus*, 15. *Trachelomonas acanthophora* var. *minor*, 16. *T. curta* var. *minima*, 17. *T. bernardinensis* var. *bernardinensis*, 18. *T. amphoriformis* var. *spinosa*, 19. *T. bacillifera* var. *ovalis*, 20. *T. caudata* var. *intermedia* fo., 21. *T. curta* var. *tubigera*, 22. *T. dangeardiana* var. *glabra*.



*Phacus longicauda* var. *rotunda* Hüber-Pest. Células de 80 x 38  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 10). Sitio de colecta 0110. Se conoce en Java, Argentina y Amazonia brasilera. Primera cita para Colombia.

*Phacus margaritatus* Pochm. Células de 32 x 22  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 11). Sitio de colecta 0089. Se cita solo en Francia, Argentina y para la Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Phacus multifidus* Conforti. Células de 18 x 13  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 12). Sitio de colecta 0179. El único registro pertenece al río Matanza en Argentina (Conforti, 1991). Primera cita para Colombia.

*Phacus onyx* var. *symetrica* Tell et Zaloc. Células de 28 x 25  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 13). Sitio de colecta 0066. Se conoce solo para Argentina. Primera cita para Colombia.

*Phacus pleuronectes* var. *ungulatus* Tell et Zaloc. Células de 42 x 30  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 14). Posee menor dimensión que lo registrado por Tell & Zalocar (1985). Sitio de colecta 0054. Se cita solo para el Chaco argentino. Primer registro para Colombia.

*Trachelomonas acanthophora* var. *minor* Balech et Dast. Células de 35 x 18  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 15). Presenta numerosas espinas en la parte media de la lóriga. Sitio de colecta 0066. Se conoce del Chaco argentino. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas amphoriformis* var. *spinosa* Conforti. Células de 70-74  $\mu\text{m}$  de largo y 14-16  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 18). Sitios de colecta 0104 y 0117. Conforti (1993) describe la variedad para el lago Camaleão, cerca de Manaus en la Amazonia brasilera. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas bacillifera* var. *ovalis* Playf. Células de 42 x 34  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 19). Sitio de colecta 0042. Se conoce solo para Australia y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas bernardinensis* Visch. emend. Defl. var. *bernardinensis*. Células de 38-42  $\mu\text{m}$  de largo y 17-19  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 17). Sitio de colecta 0104. Se conoce para Europa, Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Trachelomonas caudata* var. *intermedia* Yacubson. Fo. Células 53-56  $\mu\text{m}$  de largo y 26-29  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. I, fig. 20). No posee corona con espinas en el cuello. Los ejemplares encontrados presentan mayor tamaño al registrado para *T. caudata* var. *intermedia* que es de 48  $\mu\text{m}$  de largo y de 24.7  $\mu\text{m}$  de ancho (Yacubson & Bravo, 1982-83). Sitio de colecta 0066.

*Trachelomonas curta* var. *minima* Tell & Zaloc. Células de 19 x 10  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 16). Sitio de colecta 0110. Solo se conoce en Argentina y la Amazonia brasilera. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas curta* var. *tubigera* Defl. Células de 20 x 24  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 21). Sitio de colecta 0149. Solo se conoce para Venezuela, Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Trachelomonas dangeardiana* var. *glabra* (Playf.) Defl. Células de 31 x 24  $\mu\text{m}$  (lam. I, fig. 22). Sitio de colecta 0066. Se conoce para Australia, Venezuela y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas dastuguei* Balech var. *dastuguei*. Células de 65 x 18  $\mu\text{m}$  (lam. II, fig. 23). Sitio de colecta 0104. Se conoce solo para Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Trachelomonas hispida* var. *crenulatocollis* (Maskell) Lemm. fo. *crenulatocollis*. Células de 25 x 20  $\mu\text{m}$  (lam. II, fig. 24). Sitio de colecta 0073. Se conoce solo para Francia y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas hispida* var. *multispinosa* (Traccana) Tell et Conforti. Células de 40-43  $\mu\text{m}$  de largo y 33-35  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. II, fig. 25). Sitio de colecta 0042. Solo se conoce en Argentina. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas kellogii* Skv. emend. Defl. var. *nana* Balech.

Células de 20-22  $\mu\text{m}$  de largo y 17-19  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. II, fig. 26). Sitios de colecta 0104 y 0110. Solo se conoce para Argentina y Amazonia brasilera. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas magdaleniana* Defl. Células de 80-96  $\mu\text{m}$  de largo y 14-17  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. II, fig. 27). Sitios de colecta 0054, 0117 y 0169. Solo se conoce en América del Sur (Venezuela, Argentina, Amazonia brasilera). En Colombia se encuentra en embalses de la zona Andina (Ramírez, 1992).

*Trachelomonas mirabilis* var. *affinis* Skv. Células de 47 x 26  $\mu\text{m}$  (lam. II, fig. 29). Sitio de colecta 0054. Solo se conoce para China y Argentina. Primera cita para Colombia.

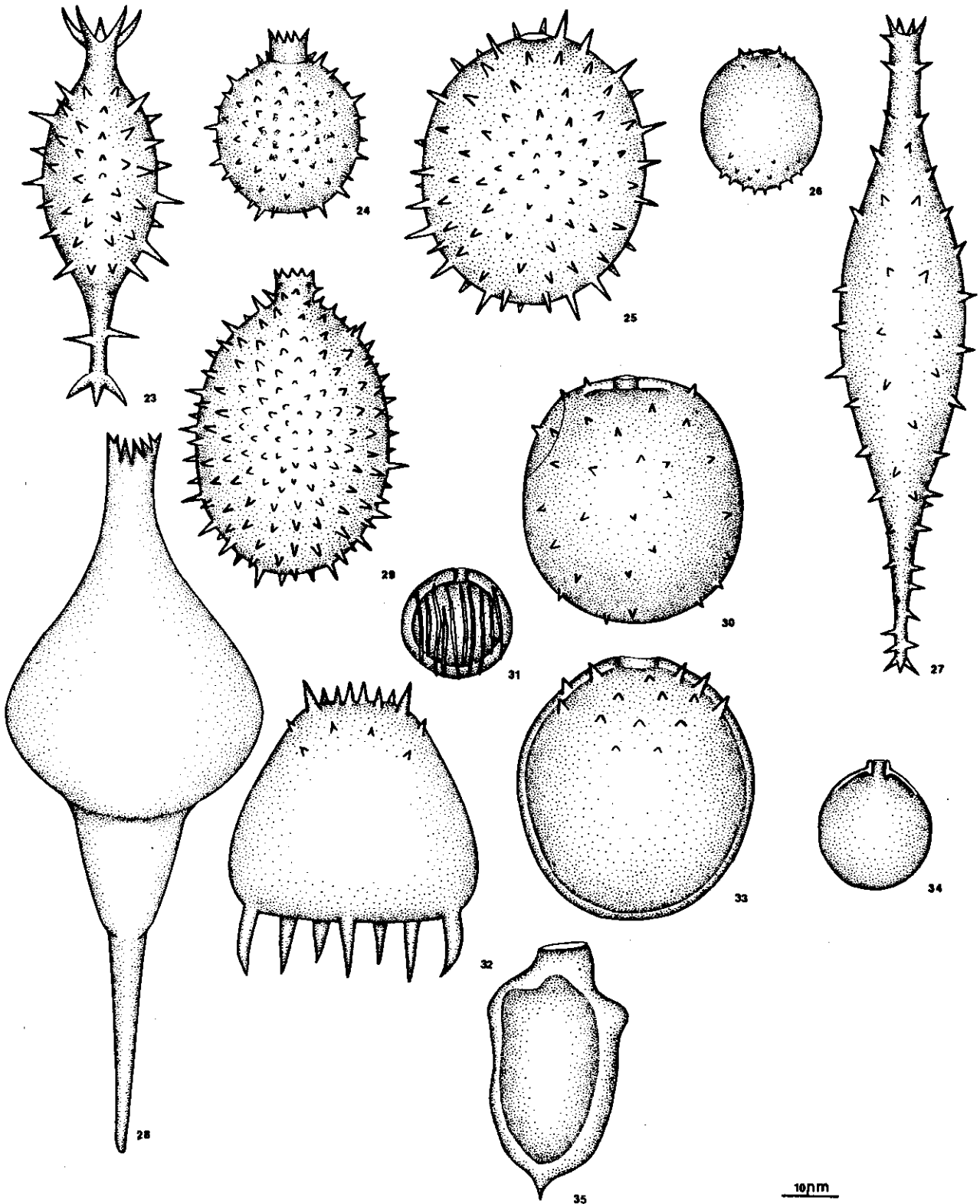
*Trachelomonas oviformis* Drez. fo. Células de 37-39  $\mu\text{m}$  de largo y 34-37  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. II, fig. 30). Los ejemplares encontrados tienen mayores dimensiones. Para *T. oviformis*, Tell & Conforti (1986) indican medidas menores de 24-27.5  $\mu\text{m}$  de largo y 18-22  $\mu\text{m}$  de ancho. Sitio de colecta 0117.

*Trachelomonas pyramidata* Couté et Thérézien. Células de 34 x 37  $\mu\text{m}$  (lam. II, fig. 32). Sitio de colecta 0117. Solo se conoce para Venezuela, Argentina y la Amazonia brasilera y boliviana. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas raciborskii* Wolosz. var. *nova* fo. *nova*. Células de 31-40  $\mu\text{m}$  de largo y 26-38  $\mu\text{m}$  de ancho (lam. II, fig. 33). Algunos ejemplares presentan un menor tamaño al registrado en la literatura. Sitios de colecta 0042, 0149. Se conoce para Polonia, Argentina y la Amazonia brasilera. Primera cita para Colombia.

*Trachelomonas rugulosa* var. *rugulosa* fo. *paralella* Tell et Zaloc. Células de 18 x 15  $\mu\text{m}$ . (lam. II, fig. 31). Sitio de colecta 0089. Solo se conoce para Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

*Trachelomonas varians* Defl. Células de 20 x 17  $\mu\text{m}$  (lam. II, fig. 34). Sitio de colecta 0110. Se conoce



## Lámina II

23. *Trachelomonas dastuguei* var. *dastuguei*, 24. *T. hispida* var. *crenulatocollis* fo. *crenulatocollis*, 25. *T. hispida* var. *multispinosa*, 26. *T. kellogii* var. *nana*, 27. *T. magdaleniana*, 28. *Strombomonas ensifera* var. *ensifera*, 29. *T. mirabilis* var. *affinis*, 30. *T. oviformis* fo., 31. *T. rugulosa* var. *rugulosa* fma. *paralella*, 32. *T. pyramidata*, 33. *T. raciborskii* var. *nova* fo. *nova*, 34. *T. varians*, 35. *S. triquetra* var. *torta*.

solo para Australia y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Strombomonas ensifera* (Daday) Defl. var. *ensifera*. Células de 115-125 µm de largo y 37-46 µm de ancho (lam. II, fig. 28). Sitios de colecta 0054, 0066, 0104, 0110 y 0130. Se conoce para Paraguay, Venezuela y Argentina. Primera cita para Colombia.

*Strombomonas triquetra* var. *torta* Rino. Células de 39 x 19 µm (lam. II, fig. 35). Sitio de colecta 0104. Solo se conoce en Mozambique, Argentina y Amazonia brasilera. Primer registro para Colombia.

## Conclusiones

En total, se registran por primera vez setenta y cinco especies para la Amazonia colombiana. Cuarenta de estas especies o son cosmopolitas o presentan amplia distribución (Tabla 1). *Leponcinclis paxilliformis*, *Phacus longicauda* var. *rotunda*, *Trachelomonas bernardinensis* var. *bernardinensis* y *T. dangeardiana* var. *glabra* se encuentran en Suramérica, Asia y Australia; *T. mirabilis* var. *affinis* para Suramérica y Asia.

Para Suramérica se citan por primera vez *Leponcinclis nayali*, conocida hasta ahora del Africa. *L. texta* var. *richiana*, *Phacus ephippion*, *P. lefevrei* y *Strombomonas triquetra* var. *torta* se encuentran en Suramérica y en Africa.

El área de distribución de algunos euglenoides se restringe a Suramérica, entre ellos se encuentran: *Leponcinclis truncata*, *Phacus multifidus*, *P. onyx* var. *symetrica*, *P. pleuronectes* var. *ungulatus*, *Trachelomonas acanthophora* var. *minor*, *T. amphoriformis* var. *spinosa*, *T. curta* var. *minima*, *T. curta* var. *tubigera*, *T. dastuguei* var. *dastuguei*, *T. hispida* var. *multispinosa*, *T. kellogii* var. *nana*, *T. magdaleniana*, *T. pyramidata* y *T. rugulosa* var. *rugulosa* fo. *paralella*.

Los taxa *Euglena acus* var. *acus*, *E. fusca*, *E. oxyuris* var. *oxyuris*, *Leponcinclis texta* var. *texta*, *Phacus triquetra*, *Trachelomonas armata* var. *armata* fo. *armata*, *T. hispida* var. *hispida* fo. *hispida*, *T. magdaleniana*, *T. superba*, *T. volvocina* var. *volvocina* y *T. volvocinopsis* var. *volvocinopsis*, ya se habían registrado para Colombia.

En cambio, para Colombia se citan por primera vez, los siguientes taxa: *Leponcinclis ovum* var. *globula*, *L. paxilliformis*, *L. salina* fo. *salina*, *L. texta* var. *richiana*, *L. truncata*, *Phacus acuminatus* var. *acuminatus*, *P. brevicaudatus*, *P. ephippion*, *P. horridus*, *P. lefevrei*, *P. longicauda* var. *insecta*, *P. longicauda* var. *rotunda*, *P. margaritatus*, *P. multifidus*, *P. onyx* var. *onyx*, *P. onyx* var. *symetrica*, *P. orbicularis*, *P. platalea* var. *platalea*, *P. pleuronectes* var. *ungulatus*, *P. textus*, *P. tortus*, *P. undulatus* var. *undulatus*, *Trachelomonas abrupta* var. *arcuata*, *T. abrupta* var. *minor*, *T. acanthophora* var. *minor*, *T. amphoriformis* var. *spinosa*, *T. armata* var. *steinii*, *T. bacillifera* var. *ovalis*, *T. bernardinensis* var. *bernardinensis*, *T. caudata*, *T. curta* var. *minima*, *T. curta* var. *tubigera*, *T. dangeardiana* var. *glabra*, *T. dastuguei* var. *dastuguei*, *T. hispida* var. *crenulatocollis* fo. *crenulatocollis*, *T. hispida* var. *duplex*, *T. hispida* var.

*multispinosa*, *T. hispida* var. *punctata*, *T. intermedia* var. *intermedia* fo. *intermedia*, *T. kellogii* var. *kellogii*, *T. kellogii* var. *effigurata*, *T. kellogii* var. *nana*, *T. mirabilis* var. *affinis*, *T. oblonga* var. *oblonga*, *T. pulcherrimavar. pulcherrima*, *T. pyramidata*, *T. raciborskii* var. *nova* fo. *nova*, *T. robusta*, *T. rugulosa* var. *rugulosa* fo. *paralella*, *T. similis* var. *spinosa*, *T. superba* var. *superba*, *T. varians*, *Strombomonas ensifera* var. *ensifera*, *S. fluviatilis* var. *fluviatilis*, *S. fluviatilis* var. *levis*, *S. scabra* var. *scabra*, *S. triquetra* var. *torta* y *S. verrucosa* var. *zmiewika*.

Se plantean las siguientes nuevas formas: *Leponcinclis ovum* var. *ovum* fo., *L. ovum* var. *globula* fo., *Trachelomonas caudata* var. *intermedia* fo. y *T. oviformis* fo. No se encontró un número alto de especímenes en estos taxa, por lo que estudios posteriores en el nivel poblacional confirmarán esta apreciación.

## Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos a la Universidad Nacional de Colombia, al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA) y al Jardín Botánico de Missouri (Estados Unidos) por la cofinanciación de las investigaciones. Del mismo modo, el autor agradece al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología (COLCIENCIAS) y a la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), por la financiación del viaje y estadía en la Argentina. A los Doctores Guillermo Tell y Visitación Conforti por la revisión del manuscrito y consecución del material bibliográfico. Los dibujos fueron realizados por María Eugenia Morales (estudiante de posgrado del Instituto de Ciencias Naturales de la U. Nacional), a quien el autor expresa asimismo su reconocimiento.

## Bibliografía

- Bourrelly P. & A. Couté 1982. Quelques algues d'eau douce de la Guyane Française. *Amazoniana* 7(3): 221-292.
- Conforti V. 1991. Taxonomic study of the Euglenophyta of a highly polluted river of Argentina. *Nova Hedwigia* 53(1- 2):73-98.
- 1993. Study of the Euglenophyta from Camaleão lake (Manaus- Brazil) I. *Trachelomonas* Ehr. *Rev. Hydrobiol. trop.* 26(1): 3-18
- Couté A. & Y. Thérézien 1985. Première contribution à l' étude des *Trachelomonas* (Algae, Euglenophyta) de l' Amazonie bolivienne. *Rev. Hydrobiol. trop.* 18(2): 11-131.
- Duque S. R. & J. Ch. Donato 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuadernos Divulgativos U. Javeriana-Colombia 35: 1-21.
- 1993. Primeros registros de *Micrasterias* (Desmidiaceae) en lagos del río Amazonas de Colombia. *Caldasia* 17(2): 354-355
- 1994. Primeros registros de *Closterium* (Desmidiaceae, Zygothyceae) en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas. *Rev. Acad. Col. Cienc.* 19(73): 259-264
- Hegewald E., A. Aldave & T. Hakuli 1976. Investigations on the lakes of Peru and their phytoplankton 1. Review of literature, description of the investigate waters and chemical data. *Arch. Hydrobiol.* 78(4): 494-506.
- Hüber-Pestalozzi G. 1955. Das phytoplankton des Süsswasser, in A. Thienemann, *Die Binnengewässer.* 16(4): 606 p.
- Ramírez J.J. 1992. Contribución al estudio ecológico y taxonómico del fitoplancton de algunos cuerpos importantes para el sector

- eléctrico colombiano. Fondo FEN, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Rodrigues M. S.** 1994. Biomassa e produção do Lago Camaleão (Ihla Marchantaria, Amazonas). Tese Doutor INPA/FUA-Max Planck. Manaus, AM, Brazil. 194 p
- Tell G. & De O. Zalozar** 1985. Euglenophyta pigmentadas de la Provincia del Chaco (Argentina). *Nova Hedwigia* 41: 353- 391.
- \_\_\_\_\_ & **V. Conforti** 1986. Euglenofitas pigmentadas de la República Argentina. *Bibliotheca Phycologica* J. Cramer. Berlin. 301 p
- Thérézien Y.** 1989. Algues d'eau douce de la partie Amazonienne de la Bolivie. *Bibliotheca Phycologica* 82. J. Cramer, Berlin 72 p.
- Thomasson K.** 1971. Amazonian algae: studies on South American freshwater plankton. *Mem. Inst. r. Sci. nat. Belg. ser. 2*, 86: 1-57
- Uherkovich G.** 1976. Algen aus den Flüssen Rio Negro und Rio Tapajós. *Amazoniana* 5(4): 465-515.
- \_\_\_\_\_ 1981. Algen aus einigen Gewässern Amazoniens. *Amazoniana* 7(2): 191-219.
- \_\_\_\_\_ 1984. Phytoplankton. In H. Sioli (ed.), *The Amazon, Limnology and Landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. 295-310.
- \_\_\_\_\_ & **G. W. Schmidt** 1974. Phytoplanktontaxa in dem zentralamazonischen schwemmlandsee Lago do Castanho. *Amazoniana* 5(2): 243-283.
- \_\_\_\_\_ & **H. Rai** 1979. Algen aus dem Rio Negro und seinen nebenflüssen. *Amazoniana* 6(4):611-638.
- \_\_\_\_\_ & **M. Franken** 1980. Aufwuchsalgen aus zentralamazonischen regenwalbtüchen. *Amazoniana* 7(1): 49- 79.
- Yacubson S. & C. R. Bravo** 1982-1983. Especies de *Trachelomonas* (Euglenophyta) de algunos cuerpos de agua de los Distritos Urdaneta y Perija (Estudio de Zulia, Venezuela). *Boletín Centro Inv. Biol.* 15: 17-47.

# DATOS ETNOBOTANICOS ADICIONALES SOBRE EL CACHIPAY O PIJIBAY (*Bactris gasipaes* Kunth), ARECACEAE, Y ESPECIES AFINES EN AMERICA INTERTROPICAL

por

Víctor Manuel Patiño R.\*

## Resumen

**Patiño, V.M.** : Datos etnobotánicos adicionales sobre el cachipay o pijibay (*Bactris gasipaes* Kunth) Arecaceae, y especies afines en América Intertropical. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 661-671, 1995. ISSN 0370-3908.

Como complemento de dos artículos y un libro publicados sobre el tema, entre 1958 y 1963 se presentan nuevos datos pertinentes tanto a la dispersión geográfica como a las toponimias, fitónimos, mitos, leyendas, creencias, domesticación, cultivo y cosecha de *Bactris gasipaes*. Estos datos se enriquecen con información relativa a las especies afines así como de la primer descripción de la especie hecha en el siglo XVIII por el botánico español José Celestino Mutis.

**Palabras clave** : Etnobotánica, *Bactris gasipaes*, América.

## Abstract

Following the publication of two papers and one book since 1958 through 1963, the autor recalls the subject of the Ethnobotany of the peach-palm and its allies. One section is devoted to the true *Bactris gasipaes* on the aspects of geographical dispersion, toponymy, indigenous names, myths, leyends, and believes, domestication, culture, harvest and harvest feasts, and discriminated uses for the stem and the fruits. The other section concerns with the allied species. Finally are presented data on the earlier scientific descriptions of the peach palm in the XVIII century by the Spanish Colonial botanist José Celestino Mutis.

**Key words** : Ethnobotany, *Bactris gasipaes*, America.

## Antecedentes

En 1958 el autor publicó una primera contribución sobre la importancia que la palma cachipay o pijibay ha tenido desde la época prehispánica como fuente de alimento y bebida y por su leño de gran resistencia (Patiño, 1958). En 1960 se presentaron datos complementarios sobre la historia colonial y más de 300 nombres indígenas de la misma planta (Ibid., 1960). En 1963 se unificó el material anterior y se enriqueció con nuevos aportes (Ibid., 1963).

Durante los treinta años transcurridos desde entonces, se han adelantado trabajos de recolección de

material genético a nivel internacional, con participación de personal de Costa Rica, Colombia -también por el autor- Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil; se han establecido bancos de germoplasma en por lo menos tres países; se ha iniciado el cultivo en grande escala de la palma para la producción de palmito en no menos de cuatro países; se ha avanzado en el conocimiento de los mecanismos de la polinización, así como en el de los enemigos naturales, y aun se ha empezado a publicar en Costa Rica -nación pionera en el cultivo, el boletín "Pejibaye", que lleva ya seis o siete entregas.

Durante el mismo periodo, el autor ha recogido información adicional sobre la palma y sus especies afines, material que ha servido para elaborar este trabajo.

\* A.A. 21-54. Cali, Valle-Colombia.

*Bactris gasipaes*

## Dispersión geográfica

Aunque hay noticias recientes del plantío de pijibay en el sur de Chiapas en Méjico, se continúa considerando a Honduras como el límite norte, así como Nicaragua, especialmente en la Mosquitia. En el caserío Woukee figura en la segunda mitad del siglo XIX como universal la palma *supa*, lado a lado con el árbol del pan (Wickham, 1872). Alrededor de las casas de los indios en Quam Watla, a orillas de la laguna de Bluefields, había manchas de palma *supa* (soopa), según un naturalista que visitó un lugar a fines del mismo siglo (Belt, 1899). Un botánico nicaragüense describe el pijibay como existente en su país, donde se consumía el fruto sancocado; sugería que con la almendra se preparase una horchata, similar a la que se obtiene del ajonjolí y de la almendra europea (Ramírez-Goyena, 1911).

Varios datos apuntan hacia la existencia de un tipo, quizá silvestre, en Chontales de Nicaragua (Guerrero, 1956) y el alto Huahuashau, cerca a Corozo (Carr, 1953; Bartlett, 1957). También al sur de Bluefields se ha señalado un "Pejivalle de monte", de fruto no comestible (Conzernius, 1932). A mediados de este siglo se vendía el fruto del pijibay en el mercado de Managua (Ashton, 1945).

A medida que se avanza hacia el sur, las noticias van siendo más seguras. En 1783 en el río Frío, afluente del San Juan o Desaguadero, que ahora sirve de límite a Nicaragua y Costa Rica, los indios huatusos pescadores, usaban balsas que impulsaban con palancas de pigibay (García -Peláez, 1943).

En cuanto al límite sur, el autor durante viajes por el oriente boliviano en los años 1951-1955, entrevistó el 10 de junio de 1954 cerca de Villa Tunari al Señor Guillermo Pereira, quien dijo haber visto palma tembe espontánea en el río Ypacani, Santa Cruz de la Sierra, donde no se cultiva; allí los indios yuracarés aprovechan los racimos en febrero y marzo. Asimismo en la localidad de Rurrenabaque, el 13 de agosto del mismo año 1954, entrevistado el señor Cirilo Gutiérrez, con 35 años de residencia allí, dijo que conocía la palma chima hasta Mapipe, cerca de Tipuani, y a todo lo largo del Beni hasta Riberalta, y que se propaga en las chacras mediante las frutas que caen (Patiño, Diario de viajes, 1954).

Recientemente ha sido fijado el límite de dispersión hacia 17° 16'S, en el parque Nacional Amoro, sobre el río Colorado Chico, en Bolivia (Saldías-Paz 1991).

Hace pocos años se empieza a ensayar el cultivo para palmito en el estado de São Paulo.

En el sentido altitudinal, en la región cafetera del municipio del Jardín, Departamento de Antioquia, Colombia, cuya cabecera está situada a 1805m., se cultiva chontaduro que, aprovechando la fertilización aplicada al café, produce cosechas óptimas (Velasco, informe verbal).

## Toponimia

a) De *Bactris gasipaes*.

Cachipay = En las cabeceras bajas del río Opón (Vergara y Velasco, 1974).

Cachipay = Núcleo poblado, parte alta de la cuenca del río Opón, entre Oponcito y la quebrada Litigiosa, municipio de La Paz, Santander, Colombia (Galán Gómez, 1947).

Chontas, río de las = Afluente del Alto Mamoré, Bolivia (Valdizán y Maldonado, 1922).

Chontaduro = Un caserío de Antioquia, dos quebradas en Cauca y una en Tolima (Mosquera, 1868).

Chontaduro, altura del = En municipio de Toro, Valle (Peña, 1892).

Pijuayal = Guarnición militar peruana, conectada por una trocha de 152 Km a Puca-Urco (Faura Gaig, 1964 ?).

Pipiral = Un caserío y dos quebradas en Cundinamarca (Mosquera, op. cit).

Pupunha, río = Cerca al Tefé, Amazonas, Brasil (Sampaio, 1825).

b) De especies afines.

Macanal, meseta de = Cerca a Guateque, Boyacá (Vergara y Velasco, op, cit).

Pijiguayal, vereda = Municipio Ciénaga de Oro, Córdoba (Ayus Pérez y Durante, 1970). Este nombre quizá se refiera más bien a *Astrocaryum standleyanum* Bailey, que a *Bactris*.

## Nombres

NOMBRE	IDIOMA O LOCALIDAD	FUENTE
Bibira	Tunebo	Márquez, 1961.
Bibira	"	Márquez, 1979.
Biburá ( V. vibura)	"	Rochereau, 1961.
Cachipá	Mariquita	Hernández de Alba, 1956.
Cachipás	Huila	Alario, 1983.
Cachipae (1788)	Nuevo Reino	Gredilla, 1982.
Cachipae	Sáliva	Morey & Morey, 1980.
Cachipaes (1584)	Muzo	Friede, 1975.
Cachipaes (1783)	Mariquita	Hernández de Alba, 1958
Cachipay	Maracaibo	Hernández de Alba, 1947.
Cachipay	Boyacá, Cundinamarca Huila, Norte de Santander, Santander, Tolima.	Alario, 1983.
Chima	Chácobo	Boom, 1987.
Chontaduro (1785)	Mariquita	Hernández de Alba, 1958.

Dabá	Guaymí	Gordon, 1969.
Ele, elepé= Chontaduro	Llanos	Alario, 1983.
Fifirre (1788)	?	Gredilla, 1982.
Gachepae	?	Alario, 1983.
Huanima	Chácobo	Boom, 1987.
Jijirri	Sáliva	Morey & Morey, 1980.
Juani	Shipibos del Parinacocha (Ucayali).	Bodley & Benson, 1979.
Kfri	Campa	Denevan, 1974.
Muri	Puinave	Triana, 1985.
Ñoja = <i>B. concinna</i> ?	Perú	More et alii, 1960.
O'ma	Kofanes Sucumbfos	Pinkley, 1973.
Oor (eera,s) fruto	Chokó	Holmer, 1963.
Oorba (palma)		
Paripe	Karib	Wessels-Boer, 1965.
Paripoe		
Pepire (1672)	Meta, Colombia	Mantilla, 1984.
Pijabae	Ecuador	Tinajero, 1978.
Pigibaye = chontaduro	Quindío, Colombia	Campo & Rivas, 1803.
Pighua	Darién, Panamá	Linné, 1929.
Pijibay	Nicaragua	Ramírez Goyena, 1911.
Pijuayo	Cocamillas, Ucayali	Stocks, 1981.
Pipire	Cundinamarca y Huila	Alario, 1983.
Pupunha-uacu o grande	Amazonas, Brasil	Ferreira, (1792), 1971.
Pupunha-mirim o pequeña		
Tembé	Yurucarés	D'Orbigny (1845)1945.
Tew	Worani	Davis & Yost, 1983.
Tipirí (V.fifirre, pipire) ?		Hernández de Alba, 1947.
Upt-Kán (chontaduro silvestre Comestible) ?		Triana, 1985.
Uwi	Jfbaro	Harner, 1978.
Uyai	Aguaruna	Berlin & Berlin, 1977.
Viburá (V. bibura)	Tegrías (Tunebo)	Rochereau, 1959.
Viburá "	Tunebos	Rochereau, 1961

## Mitos

Los yukuna-matapí del Mirití-Paraná, afluente del Caquetá, Amazonas, tienen un mito para explicar la adquisición de tres plantas cultivadas, chontaduro, piña y coca. Se hace notar que el primero es planta cultivada y no silvestre, y se personifica en forma humana. Kanumá, el hé-

roe, es el dador de dichas plantas, porque no aparece acto alguno de creación propiamente dicho (Herrera, 1975).

Los ticunas del trapecio amazónico tienen un mito sobre el ave pautil y el chontaduro (Campos-Rozo, 1987).

Una versión sobre el mito de Tutruiká y el otro mundo, donde hay tierras sembradas de chontaduros, pero cuyos habitantes se alimentan sólo con el olor de la fruta, pues no tienen órgano de defecación, que en oportunidad pasada se dió como de los katfos, ha sido recogido de nuevo con variantes (Pinto-García, 1978).

## Leyendas

Se ha dicho que en el escudo de Manco Capac, el mítico fundador del imperio de los Incas, figuraba un árbol de chonta (Poma de Ayala, 1944). En este caso hay ambigüedad, porque en quechua chonta es cualquier palma, aunque más específicamente las del género *Bactris*. Ello es que está documentado el tributo prehispánico de lanzas y flechas de chonta por los opataríes de los Andes orientales al Cuzco (Sarmiento de Gamboa, 1947).

Un atestado manuscrito del siglo XVIII, explica que habiéndose presentado una época de escasez de alimentos en Cali, se logró superar la emergencia, trayendo chontaduros de la costa de Buenaventura y como agradecimiento nació el culto de Nuestra Señora de los Remedios (Recio, 1947).

## Creencias

Los tunebos, consumidores del fruto de la palma *bíbur*, se abstienen de cocinarlo con sal, porque pretenden que así las palmas no vuelven a producir; hasta el punto de que si lo tienen que hervir en una olla donde antes han preparado algún alimento salado, la lavan muy bien (Márquez, 1979).

Los sanema-yanoama del Alto Orinoco no talan las palmas, que suelen propagar mediante retoños basales, porque las sembraron sus abuelos y porque las preservan los espíritus hícolas (Walalam-Barandiarán, 1966).

## Domesticación

Un autor cree verosímil que la domesticación de la especie habría ocurrido en la cuenca del río Ucayali (Lathrap, 1970). Más ceñida a la realidad parece la hipótesis de que cada grupo humano en cuyo habitat existieron formas genéticas similares, domesticó lo que tenía a la mano (Mora Urpí, varias comunicaciones). En efecto, aun comunidades muy primitivas como varias del alto Orinoco, han demostrado la capacidad de someter a cultivo la especie *B. gasipaes*.

Lo que sí parece sostenible es que la domesticación se verificó en el interior y no en regiones costeras. Los arawak guayaneses, por ejemplo, aunque solían mantener en el siglo XIX algunos pies cerca de sus viviendas, no sabían de dónde procedían (Thurn, 1883).

Pero aún siendo una especie domesticada de antiguo en varios puntos de América, tiene la capacidad de

Padre Francisco Knobloch, Cauaboris, 14. XI. 1962.  
Missão Salesiana  
Rio Cauaboris  
Via Tapuruquara, Rio Negro  
Amazonas, Brasil.

Instituto Colombiano de Antropología  
Apartado Nacional 407  
Bogotá, D. E., Colombia.

A Revista Colombiana de Antropología  
recibi com grande prazer. Muito obrigado.

Em relação ao publicação.

História Colonial e nomes indígenas de la  
Palma Pijibay (Guilielma Gasipaes (H.B.K.)  
Bailey) me permiti algunas notas

Na lingua EUREKENA-ARAWAK

falada em algumas aldeias do Rio Kú,  
afluente do Rio Negro na margem direita,  
Amazonas, Brasil, a palmeira Guilielma  
gasipaes (H.B.K.) Bailey e chamada:

Uépi (palmeira)

Minápi (fruta)

Péna (folha)

Na lingua AHARAÏBU

(familia GUAÏCA), falada no território  
do alto Rio Cauaboris, alto Marauja e Canal de

Naturacá, afluentes do Rio Negro, margem  
esquerda, Amazonas, Brasil, pelos varios gru-  
pos da familia Guaiça. Aharaiçu a repêda  
palmeira e chamada:

1. Raça wara rome (Pupunha amarela)

(Guilielma gasipaes (H.B.K.) Bailey, var. flava  
Barbosa Rodr.)

2. Raça wake wake (Pupunha vermelha)

(Guilielma gasipaes (H.B.K.) Bailey,  
var. coccinea Barb. Rodr.)

3. Raça maro maro (Pupunha sem espinhos)

(Guilielma gasipaes (H.B.K.) Bailey,  
var. mitis (Drude) Barb. Rodr.)

A lingua Aharaiçu ainda distingue:

Raça misike - Pupunha com espinhos

Raça moke - Pupunha com caroço

Raça mo kuta-ama - Pupunha sem caroço

Não foi me, porém, possível identificar  
o nome científico de estas espécies.

Nota: Pupunha tomada da lingua Geral  
(N'engaiti), falada no Rio Negro, Brasil.

Š na palavra Raça pronunciada como

š na lingua checa e x na lingua portuguesa

(ex. Rio Kngú) e sh na lingua inglesa (shell)

Muito respeitoso

P. Francisco Knobloch.



MINISTERIO DE EDUCACION NACIONAL  
Instituto Colombiano de Antropología  
APARTADO NACIONAL 407 - BOGOTÁ, D. E. COLOMBIA

Bogotá, diciembre 7 de 1.962

Señor Doctor  
VICTOR MANUEL PATIÑO  
Carrera 14-P N° 1-177-Oeste  
C. A. E. Valle.

Muy apreciado doctor Patiño:

Adjunto a la presente me permito remitirle una carta del P. Francisco Knobloch, de la Misión Salesiana del Río Cauaboris, Via Tapuruquara, Rio Negro, Amazonas, Brasil, de fecha 14 de noviembre de 1.962, para los efectos que usted estime convenientes en relación con su solicitud e información acerca de los nombres indígenas de la palma Pijibay (Guilielma Gasipaes (H.B.K.) Bailey), con ocasión de la publicación de su estudio "Historia Colonial y nombres indígenas de la Palma Pijibay" en el volumen IX (1960) de la Revista Colombiana de Antropología.

Sin otro particular, anticipo a usted mi cordial saludo de Navidad y Año Nuevo, deseándole toda suerte de felicidad con los suyos, y me suscribo como su atento servidor y amigo,

FRANCISCO MARQUEZ YARZ  
SUBDIRECTOR DEL INSTITUTO COLOMBIANO  
DE ANTROPOLOGIA.

Anexo: lo anunciado.

Figura 1. Con motivo de la publicación No. 2 a que me he referido al principio, recibí del subdirector del Instituto Colombiano de Antropología, una carta del 7 de diciembre de 1962, en que me acompañaba la carta manuscrita del Padre Francisco Knobloch, fechada en Cauaboris, misión salesiana en el Río Negro brasileño, de 14 de noviembre de 1962, con nombres de la palma en estudio en dos dialectos de esa región. Para agradecer esta contribución, pese al tiempo transcurrido, se reproduce el original de la carta mencionada.



mantenerse y seguir produciendo en conucos abandonados, convirtiéndose en un relicto antropógeno. Así ocurría en la Mosquitia en el siglo XIX, donde la universal palma *supa* indicaba sitios de anteriores poblaciones (Wickham, 1872). Entre los guaika de Venezuela suele hallarse en parcelas abandonadas (Barker, 1953) y su presencia condiciona la residencia del grupo. Así ocurre también en el Aguarico entre los siona-secoya (Vickers, 1976).

### Cultivo

En una probanza levantada el 5 de Mayo de 1584 por el oidor Francisco Guillén Chaparro, de la Audiencia de Santafé de Bogotá, sobre lo que solían pagar y tributar los indios muzos en tiempos de su gentilidad, tres capitanes de esa etnia respondieron: "Y que los frutos de la tierra siempre han sido y son maíz y yucas y batatas que se crían debajo de la tierra, y cachipaes que se crían en palmas, que es fruta de buen mantenimiento, y algún algodón, que es el mayor aprovechamiento que ellos tenían" (Friede, 1976). Más claro no canta un gallo. El cachipay se continua utilizando en la provincia de Muzo, y de allí procede la mayoría de los frutos que se venden en las calles de Bogotá.

En el siglo XIX los guaymíes de Panamá, manteniendo una tradición documentada de muy atrás, continuaban sembrando pigibitales, juntamente con el plátano (Pinart, 1882).

En 1619 se alzaron algunos caciques de los indios aoyaques, cureros y hebenes de la cuenca del río Tarife, en los actuales límites de Costa Rica y Panamá, donde desde 1540 se constató por los españoles el cultivo intensivo de pejibayes; mataron al franciscano que los evangelizaba e hicieron otros daños. Para someterlos, entró a la región el gobernador de Costa Rica, Alonso de Castilla Guzmán, y dominó a los alzados, con muertes y cautiverio de muchos. Levantado el respectivo proceso, fueron los movedores condenados a muerte en la horca y en la hoguera. Las cabezas se debían poner como escarmiento en varias partes, entre ellas "en la plaza de Aoyaque, en los pijibaes, se ponga otra" (Fernández, 1907). En la vecina región de Bahía del Almirante, hasta en la actualidad se continúa con la arboricultura del pixbae (Jaén Suárez, 1981).

Una muestra de herbario con 5 pliegos de *Guilielma speciosa* colectó el botánico C.B. Doyle el 18 de enero de 1906 en Cali, y lleva el número 719576-79, del Herbario Nacional de los Estados Unidos. Todavía quedan algunas greyes en solares de esa ciudad.

### Cosecha y procedimientos

En la guerra los pijaos de la primera década del sistema del siglo XVII, se registró este episodio: "Hizo una gentileza el indio Inacho (que siempre andaba con los nuestros, con no pequeña importancia), que fue subir más de seis o siete varas un árbol arriba, no más grueso que la pantorrilla, asiéndose con solas las manos y los dedos de los pies, sin tener cosa alguna en ellos, para aporrear desde él un racimo de cachiques [por cachipaes] sazonados que tenía una palma, que fue espantosa demostración para todos los trepadores que son estos indios" (Simón, 1982).

En cambio, los cacua actuales (makú) usan el artillugio que llaman munahnah, para escalar las palmas de *pupua* (Cathacart, 1973). Los guaikas de Venezuela cosechan los racimos en chacras abandonadas con varas provistas de garfios si la palma es baja; pero si es alta, con el mismo aparato mencionado atrás (Barker, 1953) cuyo uso, copiado de la región del Putumayo, donde se llama "marota", se está generalizando actualmente en la costa colombiana del pacífico entre los agricultores negros. Los yukuna del Mirití-Paraná le llaman "morrocoy" (van der Hammen, 1992).

### Calendario y fiestas de cosecha

Pocas dudas caben de que la cosecha se verifica en las cuencas del Orinoco-Rionegro y en el Amazonas dentro del primer semestre del año y más particularmente entre febrero y abril o mayo. Un grupo expedicionario de la Comisión de Límites entre España y Portugal reportó el 10 de marzo de 1781 la presencia de chontaduros en el río Yapurá o Caquetá, en el sector habitado por los indios muras (Lucena Giraldo, 1991). Este es el periodo en que las tribus del sector al norte del Amazonas celebran la fiesta y liban la chicha del chontaduro, como los bora, muinane, andoque y rosígaro; estos últimos llaman al canto entonado en la ocasión como *pikkigüi* (Cartagena, 1951-1953; Abadía Morales, 1977). En cuanto a los miraña, el calendario se inicia con el verano del chontaduro en enero y febrero, y sigue con otras fiestas (La Rotta, 1988).

Los andaquíes de Mocoa a mediados del siglo XIX hacían la fiesta de la azotaina, usando como proyectiles chontaduros verdes arrojados con hondas (Albis, 1885), 1936. Entre los sionas la cosecha produce comida para tres o cuatro meses; la palma se cultiva en las chacras distantes o cerca de las viviendas (Wheeler, 1973). Los Kofanes del Sucumbíos llaman al periodo de cosecha de febrero o marzo *o'ma naité*, punto de referencia calendárica de alta significación cultural en la vida del grupo (Pinkley, 1973). Entre los siona-secoya del Aguarico la producción se centra en febrero-marzo y en agosto; pero para mantener un suministro constante, ahuman los frutos con el objeto de preservarlos (Vickers, 1976). Los matapí del Mirití-Paraná hacen a principios del año el baile del chontaduro, considerado como un rito de fertilidad y se halla en las tradiciones del grupo (Herrera Angel, 1976). Un antropólogo asistió a una bebezón y fiesta de las chontas en Macas, en una jivaría del río Upano y filmó el grupo (Wavrin, 1941).

Los sirionó del Brasil consumen los frutos de la chonta en el periodo febrero-abril (Meggers, 1972).

Los yuracarés de Bolivia se agrupaban al rededor de las palmas de tembé de febrero a junio y hacían chicha del fruto a mediados del siglo XIX (D'Orbigny, 1945).

Pasando a la cuenca Orinoco-Rionegro, un antropólogo observó en 1965 la fiesta del pijiguao entre los sanema-yanoama, en varios altos afluentes del Orinoco, y las describe detalladamente (Barandiarán, 1968): se invita a grupos circunvecinos, con lo que el encuentro constituye una irradiación de la personalidad cultural.

Otros investigadores describen la fiesta del pijiguao entre los guaikas (Barker, 1953), en cuya región la cosecha va de enero a abril; pero si se atrasa, hacen la fiesta de todos modos; el fuego está siempre encendido para prender las antorchas de leño que el grupo de danzantes lleva en las manos (Walalam-Barandiarán, 1966).

## Usos

### Leño :

a) *Entero*. Las estacadas de *pighua* se mencionan de la región del Darién, en la zona limítrofe entre Panamá y Colombia, donde la palma es común, (Linné, 1929), así como entre los sanema-yanoama del alto Orinoco (Walalam-Barandiarán, 1966) para rodear sus aldeas.

b) *Hendido*. Los datos recogidos parecen confirmar la hipótesis del autor de que el pijibay fue utilizado por el hombre primitivo en primer término por el leño, pues su dureza y elasticidad lo hacen apetecible sin vacilación.

### Usos pacíficos:

A la Exposición Nacional de Caracas de 1883 se presentaron chapas de macanilla, material de construcción obtenido de la que se clasificó por un botánico como *Guilielma speciosa* (Ernst, 1983).

Los indios katíos del Urabá y bajo Atrato emplean la esterilla del chontaduro en la construcción del piso de sus viviendas, así como el del desván o zarzo (Schottelndreyer, 1979). Los cacua o makús hacen mesas con esterilla de chonta, que se identifica como *Guilielma* sp. (Cathacart, 1973).

Los quijos abren los huecos en que siembran la yuca con espeques de chonta, la misma de que consumen el fruto (Oberem, 1970).

Los médicos paeces llevan en la mano la tama, vara de chonta de 40 cm, imprescindible en toda curación. La que se usa para pelear con el ptans o sucio, trae adherido un vegetal llamado *nica*, sin clasificar (Bernal Villa, 1954).

Horcones de chontaduro para sostener las bóvedas en los enterramientos empleaban los quimbayas (Duque-Gómez, 1963). Queda la duda en este caso de que se trate, no del verdadero *Bactris gasipaes*, sino de la variedad *chontaduro* de Triana, relativamente común en la región.

Un dato de 1783 indica que los huatusos del Río Frío, afluente de San Juan o Desaguadero, impulsaban con palancas de pigibay las balsas o embarcaciones que utilizaban en la pesca (García-Peláez, 1943).

De chonta hacen los huarayos de Bolivia varillas para atravesar como adorno los tabiques nasales, y también para fabricar cuchillos grandes (Zeleny, 1976).

### Usos bélicos:

En la expedición de Felipe Gutiérrez en 1536 a Veraguas, sus hombres hallaron indios con lanzas luengas de una palma negra dura como hierro, y también como

azabache las tenían los de Esquegua, Urracá, Borica y Parisi (Oviedo y Valdés, 1959). En todas estas provincias panameñas ha sido común el pixbae.

Un testigo presencial en la primera mitad del siglo XVI dice que los panches peleaban con largas lanzas de palma de 30 palmos y más, muy pesadas, y describe la manera de usarlas contra los caballos de los españoles (López, 1970). Durante la conquista en Sotará y Guanacas tenían los indios lanzas de palma negra de 20-25 palmos (Cieza, 1984), lo mismo que en el valle de Nutibara (Ibid., 1984), y los yalcones (Ibid., 1985).

Lo más común fué confeccionar del leño arcos y flechas: De palma pigibay hacían flechas en el golfo de Urabá, según comprobaron los miembros de la expedición marítima Fidalgo (Cuervo, 1891). Esto se registra desde la época de la conquista (Cienza, 1984).

Cerca de la Gran Diosa, en Santa Cruz de la Sierra, de la palma chonta elaborábanse a mediados del siglo XIX arcos, macanas, puntas de flechas (D'Orbigny, 1945). Los amahuacas hacen arcos de pifuayo, o astas de *Gynerium* con puntas de la misma palma o de bambú (Carneiro, 1974).

Los sanema-yanoama del Alto Orinoco de los troncos viejos o desechados fabrican arcos, que tienen un alto valor comercial (Walalam-Barandiarán, 1966).

Los yanomama hacen puntas de flechas de veneno de *Guilielma gasipaes* a la que llaman *raspa* o de la palma macana, *Euterpe* sp. (Lizot, 1980).

Los tunebos aprovechan astillas de la víbura para arcos y flechas (Rochereau, 1961).

Lanzas, bodoqueras y otros utensilios confeccionan los waorani de esta palma semidomesticada (Davis & Yost, 1983).

Los muzo - colinas de los cachepais y otras maderas fuertes hacían "sus armas y se traen bordones a España" (Vásquez de Espinosa, 1948).

### Usos misceláneos:

En la médula del leño en palmas derribadas se reproducen las larvas de ciertos coleópteros, consideradas por los indígenas de todas las denominaciones como un bocado exquisito. En el Rionegro se llamaban *pihiguas* las palmas (Spruce, 1908). La larva la consumían también los canelos (Ibid, 1908), como ocurre actualmente con los quijos (Oberem, 1970).

El palmito desde luego, es hortaliza buscada por varias tribus, como los bribbrís y cabécares de Costa Rica (Ginzburg, 1977), que utilizaban también las flores tiernas. Asimismo los boras comen el palmito del pijuyo (Denevan et alii, 1986).

## Fruto

En esta ocasión son más abundantes las menciones al uso del fruto para preparar bebidas que para consumo directo. Los yuracarés de Bolivia fueron observados a mediados del siglo XIX por ambas modalidades de

emplearlo (D'Orbigny, 1945). En el diario de los miembros de la Comisión Científica Española al Pacífico, de 1862-1866, en el registro del 3 de abril de 1865 se describe la preparación del masato de *chontafuiro* (Espada, 1928).

Los bribbrís de Costa Rica hacen chicha de pajibaye o *dikó* y de yuca, aunque se dice que es peligroso ingerirla (Pittier, 1938). Otro autor describe como se prepara por los katis (Pinto-García, 1978). Los chokó la llaman *uerrenaga* y a veces le añaden para los rituales de cosecha el narcótico *dapa* (Reichel-Dolmatoff, 1960).

En algunas tribus se usa el fruto casi exclusivamente para chicha, como entre los cubeos (Goldman, 1963), los puinaves (Triana, 1985), y los shuares o jívaros (Harner, 1978).

### Especies Afines

Continúa siendo confuso el panorama de las relaciones filogenéticas del taxón *Bactris* (*Guilielma*) *gasipaes* con otras especies vecinas. Falta mucha exploración en vastas áreas americanas donde se ha señalado la presencia de palmas real o presuntamente silvestres, como ocurre en la Mosquitia en Honduras y Nicaragua; la Sierra Nevada de Santa Marta; la cuenca del lago Maracaibo, sobre todo en sus porciones meridional y occidental, incluyendo las serranías de Perijá y los Motilones; la región del medio Magdalena, especialmente en áreas de los muzos en los departamentos colombianos de Cundinamarca y Boyacá; el sistema Orinoco-Casiquiare-Alto Rionegro; las vertientes altas del Caquetá y del Putumayo, así como áreas en el oriente del Ecuador, del Perú y de Bolivia, y el occidente de Colombia particularmente en sus afluentes de la Cordillera Occidental, vertiente occidental, cuenca del río Patía, de donde se conocen informaciones sobre chontaduro silvestre.

A continuación se presentan algunos datos verosíblemente atribuibles a varias de tales especies afines.

#### Macana:

Está en duda si la macana, visible en varios puntos del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta, es *B. macana* o *B. caribaea*, porque existen en esta región por lo menos dos tipos diferentes, uno cespitoso y otro de tallo solitario.

El mismo nombre macana es de dudoso autoctonismo en el norte de América del Sur, pues los lingüistas la consideran perteneciente al idioma taíno que se hablaba en las Grandes Antillas (Cuervo, 1939; Tejera, 1935); en Santo Domingo todavía se llama *cana* una palmera no Bactridina (Ibid) que corresponde a *Sabal umbraculifera* Mart. (Liogier, 1974), quizá porque de su leño se hacían las armas usadas allí, de lo cual no dan detalles los cronistas. En la propia Sierra, mencionada al parecer en el flanco sur, se usan los nombres indígenas *a-nekana*, la negra, y *cúkúma* (Vinales, 1952). Los ijca entre los seres sobrenaturales que reconocen, llaman Busin al dios de la macana y de los utensilios que de ella se hacen, con los cuales se corta el fique *Furcraea* (Lucena Salmoral, 1966-1969). En efecto usan una paleta del leño de esa palma para limpiar y raspar las

hojas de dicha planta fibrosa (Reichel-Dolmatoff *et al.*, 1977). La llamada marimba atanquera, instrumento musical, se fabrica de un delgado palillo de macana, arqueado mediante un hilo de fique (Ibid, 1948). A fines del siglo XVII un religioso llevó de muestra a Europa armas de madera utilizadas en el fuerte de Atanques, localidad en el flanco sur de la Sierra (Romero (1693, 1955). A mediados del siglo XIX los indígenas de este macizo fabricaban cerbatanas de palma macana para cazar aves, con el fin de no espantarlas, por ser instrumento silencioso (Saffray, 1948). Otro viajero del mismo siglo señala el uso como material de construcción (Reclus, 1881).

Los onotos del lago de Maracaibo usaban para puntales de sus casas palafíticas palmas muy fuertes, cuya descripción no se da (Oviedo y Valdés, 1959). Al sur del lago se usaban flechas con puntas alargadas de madera de macanilla, que se identifica como *B. gasipaes* (Sanoja y Vargas, 1974), aunque puede no serlo sino alguna de sus congéneres.

En cuanto a los indígenas de los flancos septentrionales de la Sierra de Mérida, concretamente en el valle de La Grita, se defendieron de los españoles en la época de la conquista durante 6 días seguidos con dardos de palma y lanzas de 10 palmos de lo mismo (Oviedo y Valdés, 1959). Arco, flecha y macana se conocía entre estos serranos (Jahn, 1927). Los timotocucas, en plena sierra, usaban alfileres de macana (Acosta Saignes, 1961).

#### Chontas:

Este nombre, del quechua *chunta*, se aplica a las palmas en general: "palma, árbol de la montaña, de madera muy dura y de color negrusco" (Guardia Mayorga, 1980). El botánico Hipólito Ruiz, al describir la *Martinezia ciliata* (*Bactris ciliata*) le aplica el nombre de chonta, y dice que de su madera negra y durísima pero fácilmente laborable, hacían en su tiempo los indios del oriente peruano arcos, flechas, bayonetas, bastones y cerbatanas, y que su cogollo es comestible, de lo cual da fe (Ruiz, 1952). Otro botánico restringe el uso del nombre chonta al sur y centro del Perú (Weberbauer, 1945), porque *B. gasipaes* se distingue como *pifuayo*. Richard Spruce, quien viajó por el Huallaga en el siglo XIX, reporta allá, *B. concinna* (Spruce, 1908). Los indígenas de ese río usaban una lanza larga de chonta y dardos de lo mismo, en este caso *B. ciliata* (Izaguirre, 1927). Esta misma, en la cuenca del Vilcanota, vive por debajo de los 1200m, y se usó para armas, pero en la actualidad sólo para mangos de herramientas y para construcción (Gade, 1975). Cerca del lago Parinacocha, Pucallpa, aparecen greyes de *B. concinna* y *B. maraja* (Bodley & Benson, 1979).

Entre los cofanes del río Sucumbíos en el Ecuador limítrofe con Colombia, se consumen los frutos de *B. concinna*, llamada allí *anzapara* (Pinkley, 1973).

#### Algo sobre taxonomía

No es mucho lo que se ha avanzado en el conocimiento taxonómico del género *Bactris*, pese a los trabajos adelantados en el Jardín Botánico de Fairchild y en Pernambuco del Brasil, por sendos investigadores. Continúan las reticencias y vacilaciones sobre el taxon para

las formas cultivadas del pijibay. Algunos agrónomos vinculados con el estudio de esta palma en los últimos 15 o 20 años, como Jorge Mora Urpí y Charles Clement, propugnan la recuperación del género *Guilielma* de Martius para el pijibay cultivado y las especies afines de tronco grueso, sea o no cespitoso. En ese caso la denominación sería *Guilielma gasipaes* Bailey, 19., porque en cuanto a la especie misma parece no haber controversia.

Aunque no se pueda alegar como válido en virtud de las reglas internacionales de nomenclatura, es bueno dejar constancia de la propuesta hecha en 1785 por el botánico José Celestino Mutis, de adoptar para el género un nombre que consagra el de "cachipay" y variantes, propio de la vertiente occidental de la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, en el lenguaje de los indios muzo-colimas o de sus vecinos, quizá de algún antiguo sustrato chibcha, porque según las tradiciones, los muzos expulsaron de su territorio a los muiscas y se apoderaron de sus mujeres, y después unos y otros convivieron pacíficamente. Ello es que en el Diario de Observaciones de Mutis, director de la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, en la entrada correspondiente al 5 de marzo de 1785, en Mariquita, sede La Expedición, dice: "La lámina de las frutas de esta palma [cachipaes] se hizo en mi primera mansión [por estada] en esta ciudad, y la de las flores con su espata durante mi ausencia. Esta es mi Palma de género Cachipaya" (Hernández de Alba, 1958).

No se sabe si Mutis completó la descripción correspondiente; "Cachipaya" no figura entre sus géneros válidos (Díaz-Piedrahita, 1991); pero si quedaron las láminas, que dan fe de un tratamiento anterior al de *Bactris gasipaes*. Humbolt y Bonpland basaron su taxón en muestras obtenidas en Ibagué después de su permanencia en Bogotá (1801), donde pudieron haber tenido la oportunidad de ver el material de Mutis, que ya se encontraba en ese año en la capital del virreinato. Es curioso que en el primer material colectado por la pareja Humboldt-Bonpland es de San Fernando de Atabapo a fines de abril (1800), pero en su descripción no consagraron el nombre indígena local, pirijao o pihiguo, sino el de la Nueva Granada, "cachipá", "cachipai", latinizado en *gasipaes*. En otras palabras, habrían adoptado para la especie el nombre que Mutis le tenía reservado al género.

Mutis 15 años antes que los dos ilustres visitantes, no sólo había hecho apuntes morfológicos sobre el cachipá y el chontaduro, de cuyas afinidades se percató sino que con motivo de la colección por sus herbolarios de materiales para los dibujos de esta palma, observó la rapidez con que se caen las flores masculinas, y consignó apuntes sobre la biología floral. Se transcriben los pasajes pertinentes, que entre otras cosas consagran el dato fenológico de haber inflorescencias abiertas y por abrir en los meses de marzo a mayo en el medio Magdalena.

"Mariquita. 7 de marzo [1785] : "Visitó hoy hacia las once del día la misma *Palma cachipá* y le veo otra espata abierta con el espadiz desplegado, pero cabizbajo. El espadiz de flosculillos no abiertos del sábado tiene ya todos caídos, y puestas más rígidas y horizontales las espigas. Parece pues, que acabada la fecundación se

levantan estas espigas. Igualmente parece que dichos flósculos masculinos son de brevísima duración. Son, pues, ya tres los racimos de esta palma. Seguiré observándola por tenerla tan a mano, y con tan buena proporción para determinar el número de racimos y la duración para hacerse el fruto" (Hernández de Alba, 1958).

8 de marzo: "Visitó mi *palma cachipay*, y advertí que había reventado otra espata por el frente en que yo la observo, y que el espadiz de ayer había ya soltado las flores masculinas, levantándose en la forma acostumbrada. También divisé que por encima de éstos, había otras espatas cerradas, que anunciaban irse abriendo sucesivamente en la estación presente. Descubrí después que por la parte opuesta por donde yo lo observo había reventado otra espata al mismo tiempo, como se infiere de su situación cabizbaja. Son, pues, por todas las hasta la presente abiertas, cinco. Mandé al herbolario Pedro para que las reconociese de cerca y contase todas las abiertas y cerradas. En efecto, se hallaron cinco abiertas y siete cerradas" (Hernández de Alba, 1958).

13 de marzo, domingo: "Abrió hoy otra espata de la *palma cachipay*. Se cuentan ya siete. Me lleva la atención esta palma para observar si tal vez el último racimo será solamente de flores masculinas. No sería de extrañar esta conjetura, pues en las plantas polígamas se atraen las flores masculinas, tal vez para completar la fecundación" (Ibid, 1958).

16 de marzo: "Rizo concluyó hacia las tres de la tarde la lámina de la *Palmita Chontaduro*. Falta en esta lámina la anatomía de las frutas de la palmita Chontaduro (Ibid, 1958)

.... de marzo: "Matiz continuó todo el día con la lámina de la *Palmita Chontaduro*, en frutas, y la concluyó al fin de la tarde" (Ibid, 1958).

9 de mayo: "Por que no se pase la estación envié al herbolario Pedro en solicitud de la *Palmita* llamada aquí *Chontaduro*. Me trajo un hermoso espadiz con su espata, que naturalmente abriría en la noche anterior, según las mismas señales que advierto en él análogos a los del Cachipay. No quiero perder la ocasión; y así, aunque hoy dio principio Rizo a las frutas leguminosas de la *Brownea Hermesias*, la haré interrumpir para que dé principio por la tarde a la lámina de esta *Palmita*" (Ibid, 1958).

## Bibliografía

- Abadía Morales, G. 1977. Compendio general de Folklore colombiano. Bogotá, Editorial Andes, 558 págs.il.
- Acosta Saignes, M. 1961. Estudios de Etnología antigua de Venezuela. 2da ed., Caracas, Imprenta Universitaria, xxiv, 247 págs.
- Alario Di Filippo, M. 1983. Lexicón de colombianismos. 2a. ed., Bogotá, Talleres Banco República, 2 vol. con 864 págs.
- Albis, M.M. (Pbro.) 1936. Memorias de un viajero (1854) Popayán, XXVI (163-165): 28-32.
- Ashton, J. 1945. On the plant resources and Flora of Nicaragua. En Verdoorn, Frans: 60-64.
- Ayus-Pérez, J. & P. Durante. 1970. Estudio socio-económico de la vereda Pijiguayal, Ciénaga de Oro, Montería. Universidad de Córdoba, 24 págs. mimeo.
- Barandiarán, D. de 1968. El fuego entre los indios sanema-yanoama. Antropológica, Caracas, 1-64 il.

- Barker, J. 1953. Memoria sobre la cultura de los Guaika, Trad. Walter Dupouy. Boletín Indigenista Venezolano, Caracas, I (1): 433-489, V lám.
- Bartlett, H. H. 1956. Fire, primitive agriculture, and grazing in the tropics. En Thomas, W.L. : 692-720.
- Belt, T. 1888. The naturalist in Nicaragua. London, Ballantyne, Hanson & Co., Edinburgh and London, xxxiii + 403 págs. il. (Otra edición de 1899).
- Berlin, B. & A.A. Berlin. 1977. Ethnobiology, subsistence, and nutrition in a tropical forest society: The Aguaruna Jívaro. Universidad de California, Berkeley, 42 hojas, mimeo.
- Bernal Villa, S. 1954. Economía de los páez. Revista Colombiana de Antropología, Bogotá, III: 291-367. XIII láms.
- Bodley J.H. & F.C. Benson. 1979. Cultural ecology of Amazonian palms, Washington State University. viii + 85 págs. il. 52 fig., mimeo.
- Boom, B. M. 1987. Ethnobotany of the Chácobo Indians, Beni, Bolivia. Lawrence, Kansas, Allen Press. 71 págs.
- Campo y Rivas, M.A. 1803. Compendio histórico de la fundación... de la ciudad de Cartago...Guadalajara, México, impreso por Mariano Valdés Téllez Girón, 166 págs.
- Campos Roza, C. 1987. Etnoecología de la actividad de la caza de los indígenas Ticuna. Dactilografía, 463 hojas.
- Carneiro, R. L. 1974. Hunting and hunting magic among the Amahuaca of the Peruvian Montaña, en Lyon, 122-132.
- Carr, A. F. 1953. High jungles and low. Gainesville, University of Florida Press, xviii + 226 p.il.
- Cartagena, A. de (P.) 1951. Palabras indígenas relacionadas con los "Apuntes sobre el baile" de algunas tribus en la región sur-oriental de Colombia. Amazonia Colombiana Americanista, Sibundoy, tomo V, Nos. 17-19 : 26-33; 73-102.
- Cathcart, M. 1973. Cacia, en Instituto Lingüístico de Verano. I, 101-133.
- Cieza de León, P. de 1984-1985. Obras completas. Madrid, Artes Gráficas Clavileño, I, xx + 383. págs. 3 vol.
- Conzemius, E. 1932. Ethnographical survey of the Miskito and Sumu Indians of Honduras and Nicaragua. Washington, D.C., Government Printing Office, 199 págs.
- Coppens, W. 1980. (editor general): Escalante, B. (editora asistente): Los aborígenes de Venezuela. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas, Imprime MELSA, Madrid. I. Etnología antigua, 335 pp. il.
- Cuervo, A.B. 1891. Colección de documentos inéditos sobre la geografía y la historia de Colombia...I, Imprenta de vapor de Zalamea Hnos., Bogotá, 559 págs.
- Cuervo, R. J. 1939. Apuntes críticos sobre el lenguaje bogotano. Bogotá, Editorial "El Gráfico", 819 págs.
- Davis, E. W. & J. A. Yost. 1983. The Ethnobotany of the Waorani of Eastern Ecuador. Cambridge, Mass., Botanical Museum Leaflets, 20 (3) : 159-217 il.
- Denevan, W. M. 1974. Campa subsistence in the Great Pajonal, Eastern Perú, En Lyon, J. : 92-110, 7 fig.
- \_\_\_\_\_ et alii. 1986. Agricultura forestal indígena en la Amazonia peruana, Mantenimiento bora de los cultivos. Amazonia Peruana, Lima, VIII: 9-33 il, 8 fig.
- Díaz Piedrahita, S. 1991. La Botánica en Colombia, hechos notables en su desarrollo. Academia Colombiana de Ciencias, Bogotá, Editora Guadalupe, (8) 125 p.il.
- D'orbigny, A. 1945. Viaje a la América meridional. Buenos Aires, Talleres Gráficos La Mundial, tomo III, pp. 817-1232; tomo IV, pp. 1233-1614.
- Duque-Gómez, L. 1963. Los Quimbayas, Reseña etno-histórica y arqueológica. Bogotá, Librería Voluntad; 1-174.
- Ernst, A. 1983. Obras completas. Caracas, 4 vols., III, viii + 704 págs.
- Espada, M. J. de la. 1928. Diario de la expedición al Pacífico... años 1862-1865... Madrid, Real Sociedad Geográfica, 257 págs.
- Faura Gaig, G. S. 1964 ?. Los ríos de la Amazonia peruana, estudio histórico-geográfico-político y militar... S.p.i. (12) + 629 p.
- Fernández, L. 1907. Colección de documentos para la historia de Costa Rica. Diez tomos, VII, Barcelona, Imprenta Viuda de Luis Tasso, 506 págs. VIII, 510 págs.
- Ferreira, A.R. 1971. Viagem filosófica pelas capitánias de Grao-Pará, Rio Negro, Matto Grosso e Cuiabá, 1783-1792. Sao Paulo, Editora Monumento, Imprensa Nacional, 246 págs., 4 fig..
- Friede, J. 1975-1976. Fuentes documentales para la historia del Nuevo Reino de Granada ... Bogotá, Editorial Andes, 8 tomos, VIII, 1581-1590, 458 págs.
- Gade, D.W. 1975. Plants, man and the land in the Vilcanota Valley of Perú. Biogeographica, VI, The Hague, viii + 240 págs., 59 fig.
- Galán-Gómez, M. 1947. Geografía económica de Colombia. Tomo VIII, Santander, Bucaramanga, Imprenta Departamental, xvi + 646 págs., mapas.
- García-Peláez, F. de P. 1943-1944. Memorias para la historia del antiguo reino de Guatemala, 2a. ed., Guatemala, Tipografía Nacional, 3 vol., III, 221 págs.
- Ginzburg, S. 1977. Plantas medicinales de los indios bribrís y cabécar. América Indígena, XXXVII (2) : 367-398.
- Goldman, F. 1963. The Cubeo Indians of the Northwest Amazon. Illinois Studies in Anthropology, No.2, Urbana, (10) 305 págs., 13 fig.
- Gordon, B. L. 1969. Anthropogeography and rain-forest ecology in Bocas del Toro Province, Panamá. University of California, Berkeley, 99 hojas, mimeo.
- Gredilla (Y Gauna), A.F. 1982. Biografía de José Celestino Mutis...Bogotá. Plaza & Janés, 381 págs., retrato.
- Guardia Mayorga, C.A. 1980. Diccionario Kechwa-castellano, castellano-Kechwa. Lima, Ediciones Populares Los Andes, (6) 221 págs.
- Guerrero C. J. N. 1956. El pueblo extranjero (Monografía de Chontales), Managua. Editorial Recalde, xx + 319 págs., lám.
- Gutiérrez, C. 1954. Información personal.
- Harner, M. J. 1978. Shuar, Pueblo de las cascadas sagradas, Quito. Ediciones Mundo Shuar. (10) 237 págs., 24 fig.
- Hernández de Alba, G. 1947-1949. Archivo epistolar del sabio naturalista José Celestino Mutis. Bogotá, Imprenta Nacional, 2 tomos.
- \_\_\_\_\_ 1957-1958. Diario de observaciones de José Celestino Mutis (1760-1790). Bogotá, Editorial Minerva, dos tomos con 1.248 págs.
- Herrera Angel, L. 1975. Kanumá: Un mito de los Yukuna-Matapí. Revista Colombiana de Antropología XVIII : 283-416.
- \_\_\_\_\_ 1976. El nacimiento de los Matapí. Revista Colombiana de Antropología XX : 201-280.
- Holmer, N.M. 1963. Gramática comparada de un dialecto chocó: 79-248. Instituto Lingüístico de Verano. 1973-1979. Aspectos de la cultura material de grupos étnicos de Colombia (varios autores), Loma Linda, Meta, Editorial Townsend, 2 tomos con 630 págs. (véanse Cathcart, Schottelndreyer, Wheeler).
- Izaguirre, B. (fr.) 1927-1928. Descripción histórico-etnográfica de algunas tribus orientales del Perú. Boletín Sociedad Geográfica de Lima, tomos XLIV, XLV; 5-26; 237-267.
- Jaén Suárez, O. 1981. Hombres y ecología en Panamá. Panamá, Editorial Universitaria, xviii + 157 pág. il.
- Jahn, A. 1927. Los aborígenes del occidente de Venezuela, su historia, etnografía y afinidades lingüísticas. Caracas, Lit. y Tip. del Comercio, viii + 419 págs.
- Knobloch, F. (P.) 1962. Carta.
- La Rotta, C. et al. 1988. Estudio etnobotánico sobre las especies utilizadas por la comunidad indígena Miraña (Amazonas, Colombia). Bogotá, Editorial Presencia, 386 págs. il.

- Lathrap, D. W.** 1970. *The Upper Amazon*. Southampton, The Camelot Press, 256 págs., il.
- Linné, S.** 1929. *Darien in the past, The archaeology of Eastern Panamá and North-Western Colombia*. Göteborg, Elanders Boktryckeri Aktiebolag, viii + 318 págs.
- Liogier, A. H.** 1974. *Diccionario botánico de nombres vulgares de la Española*, Santo Domingo. Impresora UNPHU, 813 págs. il.
- Lizot, J.** 1980. *La agricultura yanomami*. Antropológica (53) Caracas : 3-93.
- López, P.** 1970. *Rutas de Cartagena de Indias a Buenos Aires... 1540-1570*. Madrid, Ediciones Atlas. xvi + 120 págs.
- Lucena Giraldo, M.** 1991. *Francisco de Requena y otros: ilustrados y bárbaros...1782*. Madrid, Alianza Editorial, 152 págs.
- Lucena-Salmoral, M.** 1966-1969. *Informes preliminares sobre la religión de los Ijca*. *Revista Colombiana de Antropología XIV*: 221-260.
- Lyon, P.J.** 1974. *Native South Americans, Ethnology of the Least Known Continent*. Boston, Little, Brown and Co., xiv + 433 págs. il.
- Mantilla R. L. C. (O.F.M.)** 1984. *Origen de las misiones franciscanas en los llanos orientales de Colombia según una relación inédita del siglo XVII*. *Boletín de Historia y Antigüedades, Bogotá LXXI (747): 973-1005*.
- Márquez V., M. E.** 1979. *Los Tunebo*. Medellín, Editorial Copymundo, 257 págs. il.
- \_\_\_\_\_ 1981. *Los indios Tunebo y su cosmogonía*. Caracas, Editorial Arte, 192 págs. il.
- Meggers, B. J.** 1972. *Amazonia, Man and culture in a counterfactual paradise*. Chicago, Aldine Publishing Co., x + 182 págs., il.
- Moore, Jr., H.; C.A. Salazar & E.E. Smith.** 1960. *A reconnaissance survey of palms in Eastern Perú, Lima, U.S. Operation Mission to Perú*, 33 hojas (incompleto).
- Mora-Urpi, J.** *Varias contribuciones*.
- Morey, N. C. & R. V. Morey.** 1980. *Los sáliva*. en *Coopens et al.* : 241-306.
- Mosquera, T.C. de.** 1868. *Diccionario geográfico de los Estados Unidos de Colombia*. Bogotá, Imprenta de Echeverría Hnos. (4) 146 págs.
- Oberem, U.** 1970. *Los quijos, Historia de la transculturación de un grupo indígena en el oriente ecuatoriano (1538-1956)*. Madrid, Universidad de Madrid, mimeo, 336 págs. 55 lám.
- Oviedo y Valdés, G. F. de.** 1959. *Historia general y natural de las Indias*. Madrid, Gráficas Orbe, 5 vol., III, 435 págs.
- Patíño, V. M.** 1958. *El cachipay o pijibay (Guilielma gasipaes (HBK) Bailey), y su papel en la cultura y en la economía de los pueblos indígenas de América tropical*. *América Indígena, XVIII, (3,4) : 77-204; 299-332*.
- \_\_\_\_\_ 1960. *Historia colonial y nombres indígenas de la palma pijibay (Guilielma gasipaes) (HBK)*. *Revista Colombiana de Antropología IX* : 23-72.
- \_\_\_\_\_ 1963-1974. *Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial*, Cali. Imprenta Departamental, 6 tomos, I, 547 págs.
- \_\_\_\_\_ *Diario de viajes, inédito*.
- Peña, H.** 1892. *Geografía e historia de la provincia del Quindío (Departamento del Cauca)*. Popayán, Imprenta del Departamento, 151 págs.
- Pereira, G.** 1954. *Información personal en Bolivia*.
- Pinart, A. L.** 1882. *Noticias de los indios del Departamento de Veragua y Vocabularios de las lenguas guaymí, norteño, sabanero y dorasque*. San Francisco. Imprenta de A.L. Bancroft y Cía., 73 págs. Folio.
- Pinkley, H. V.** 1973. *The ethno-Ecology of the Kofán Indians*. Cambridge, Mass., mecanotipia, x + 259 h., XL plates.
- Pinto García, C.** 1978. *Los indios Katíos, su lengua*. Medellín, Editorial Gran América, 2 tomos, con 812 págs.
- Pittier, H.** 1938. *Apuntaciones etnológicas sobre los indios Bribrí, San José, Costa Rica*. Imprenta Nacional, 28 págs.
- Poma de Ayala, P. G.** 1944. *Primer nueva crónica y buen gobierno*. La Paz, Editorial del Instituto Tihuanaco, 909 págs. (doble numeración).
- Ramírez Goyena, M.** 1911. *Flora nicaragüense, Conteniendo la Botánica elemental*. Managua, dos tomos, con 1062 págs.
- Recio, B.** 1947 (S.J.). *Compendiosa relación de la cristiandad de Quito*. Madrid, Selecciones Gráficas, 695 págs.
- Reclus, E.** 1881. *Voyage a la Sierra - Nevada de Sainte - Marthe, Paysages de la nature tropicale*. París, Librairie Hachette et Cie., vi + 350 págs., il.
- Reichel - Dolmatoff, G.** 1948. *La marimba atanquera (ficha extraviada)*.
- \_\_\_\_\_ 1960. *Notas etnográficas sobre los indios del Chocó*. *Revista Colombiana de Antropología IX*: 73-158, il.
- \_\_\_\_\_ & **A. de Reichel-Dolmatoff.** 1977. *Estudios antropológicos*, Bogotá. Editorial Andes, 584 págs.
- Rochereau, H. J. (Pére).** 1959. *Colección de textos negrías*. *Revista Colombiana de Antropología VIII* : 9-124.
- \_\_\_\_\_ 1961. *Los tunebos*, Grupo Unkasí. *Revista Colombiana de Antropología X*: 37-119.
- Romero, F.** 1955. *Llanto sagrado de la América Meridional (1693)*, Bogotá, Editorial ABC, 138 págs.
- Ruiz (López), H.** 1952. *Relación histórica del viaje que hizo a los reynos del Perú y Chile... 1777-1788*, Madrid, Talleres Gráficos de Cándido Bermejo, 2 vol. I texto con 570 págs., II ilustraciones.
- Saffray, h.** 1948. *Viaje a la Nueva Granada*. Bogotá, Prensas del Ministerio de Educación, 352 págs.
- Saldías Paz, M.** 1991. *La chonta de Castilla (Bactris gasipaes H.B.K.), Taxonomía y algunos datos económicos en Santa Cruz y su distribución en Bolivia*. Mecanotipia, 18 hojas.
- Sampaio, F.J.** 1825. *Diario de viagem que em visita, e correicao das povoacoes da capitania de S. José do Río Negro fez o ouvidor... no anno de 1774 e 1775...*Lisboa, Typografia de Academia, 124 págs.
- Sanoja, M. & I. Vargas.** 1974. *Antiguas formaciones y modos de producción venezolanas...*Caracas, Monte Avida Editores, Litografía Melvin, 250 págs.
- Sarmiento de Gamboa P.** 1947. *Historia de los Incas*. 3a. de. Biblioteca Emecé de obras universales. Buenos Aires, Compañía Impresora Argentina, S.A. 302 págs.
- Schottelndreyer, M.** 1979. *Catío*, Trad. Juan Manuel Pombo, ILV, II: 203-227.
- Simón, P.** 1982. *Noticias históricas de las conquistas de tierra firme en las Indias Occidentales*. Bogotá, Talleres Gráficos Banco Popular, 1981-1982, VI, 526 págs.
- Spruce, R.** 1908. *Notes of a botanist on the Amazon & Andes*. Edimburgh, R. & R Clark, 2 vol., con 1.124 págs.
- Stocks, A. W.** 1981. *Los nativos invisibles (Cocamillas)*. Trad. Annette Rosenvinge de Uriarte, Lima, Gráfica, 185 págs.
- Tejera, E.** 1935. *Palabras indígenas de la isla de Santo Domingo...* Santo Domingo, Editorial "La Nación", 526 págs.
- Thomas Jr. W. et al.** 1960. *de. Man's role in changing the face of the Earth...*Chicago, The University of Chicago Press. 1959. Third impression 1960. xxxviii + 1193 pp. 27 tables.
- Thurn, E.F.** 1883. *Among the indians of Guiana...*London, Spottiswoode and C., 461 págs.
- Tinajero, J. R.** 1978. *Nomenclatura sistemática de las plantas anotadas por el P. Juan de Velasco...*Quito. Col. Academia Nacional de Historia. LXI, (131-132) : 5-102.
- Triana, G.** 1985. *Los puinaves del Infrida*. Bogotá, Editora Guadalupe, 122 págs.

- USMNH . United States Museum, National Herbarium. Exsicados.
- Valdizán, H. & A. Maldonado . 1922. La medicina popular peruana. Imprenta Torres Aguirre, 3 tomos con 1654 págs.
- Van der Hammen, M. C. 1992. El manejo del mundo, Naturaleza y Sociedad entre los Yukuna de la Amazonia colombiana. 2a. de., Tropenbos Colombia, Bogotá, Tercer Mundo Editores, 380 págs.
- Vásquez de Espinosa, A. 1948. Compendio y descripción de las Indias Occidentales. Washington, D.C., Smithsonian Miscellaneous Collections, vol. 108, 813 págs.
- Velasco Ferrerosa, A. Comunicación verbal.
- Verdoorn, F. 1945. Plants and plant science in Latin America. Waltham, Mass., Chronica Botanica, 422 págs.
- Vergara y Velasco, F. J. 1974. Nueva Geografía de Colombia escrita por regiones naturales. Bogotá, Talleres Gráficos Banco de la República, 3 tomos con 1268 págs.
- Vickers, W. T. 1976. Cultural adaption to Amazonian habitats: The Siona-Secoya of Eastern Ecuador. Ann Arbor, 368 págs.
- Vinalesa, P. J. de 1952. Indios arhuacos de la Sierra Nevada de Santa Marta. Bogotá, Editorial Iqueima, 195 págs.
- Walalam, A. 1966. Aushi (Introducción por Daniel de BARANDIARAN) : La fiesta del pijiguao entre los indios waikas, EL FAROL, No. 219, año XXVIII : 8-15, Caracas, Editado por Creole Petroleum Co., Cromotip.
- Wavrin, M. de 1941. Les jivaro réducteurs de têtes, Récit d'exploration publié par Gaston Bunnens, París, Payot, 213 págs.
- Weberbauer, A. 1945. El mundo vegetal de los Andes peruanos. Lima, Editorial Lumen, 796 págs.
- Wessels-Boer, J. G. 1965. The indigenous palms of Suriname. Leiden, E. J. Brill, 193 págs.
- Wheeler, A. 1973. Siona, ILV, I: 161-178.
- Wickham, H. A. 1872. Rough notes of a Journey through the wilderness, from Trinidad to Para, Brasil... London, W.H.J., Carter, 319 págs.
- Zeleny, M. 1976. Contribución a la etnografía huaraya (Ecé je)... Translation Alena Janischova Marquezova, Univerzita Karlova, Praha, 183 págs.

# CAPACIDAD DE ADAPTACION DEL HONGO PATOGENO *Paracoccidioides brasiliensis* al ORGANISMO HUMANO\*

por

Angela Restrepo Moreno, Ph.D.\*\*

## Resumen

**Restrepo Moreno, A.:** Capacidad de adaptación del hongo patógeno *Paracoccidioides brasiliensis* al organismo humano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 673-678, 1995. ISSN 0370-3908.

Como todos los organismos vivos, los hongos deben reproducirse para sobrevivir. Para ello, aprenden a desarrollarse bajo condiciones adversas, lo que usualmente se cumple gracias a una serie de mecanismos de adaptación establecidos por selección natural, usualmente aplicables dentro de su hábitat normal. Sin embargo, tales mecanismos les son también útiles cuando un accidente los ubica en ambientes extraños. Tal es el caso del hongo dimórfico *P. brasiliensis*, el que a pesar de medir apenas 15 micras de diámetro en promedio, posee sistemas de adaptación iguales o aún mejores, a los exhibidos por muchos organismos eucarióticos superiores. Algunas de sus características más notorias son el soportar condiciones extremas de pobreza nutricional, bajo las cuales produce los elementos reproductivos que le permitirán sobrevivir en su hábitat. Puede, además, cambiar de forma de crecimiento bajo el impulso de una temperatura superior a la normal, acomodándose así a su accidental hospedero humano, pasando de la forma micelial a la levadura. Una vez en esta forma aprende a tolerar el efecto deletéreo de un ambiente extraño, en el que puede encontrar baja oxigenación cuando para su normal desarrollo, le es indispensable disponer de oxígeno. A pesar de necesitar hierro para su crecimiento, el *P. brasiliensis* se las ingenia para fabricar quelantes que atrapan las trazas de este metal que pudieran existir en el sustrato. Llega hasta el punto de permitir que las células macrofágicas del hospedero, que deberían destruirlo, lo fagociten porque en su interior encuentra el hierro que le permite transformarse en levadura, para continuar así su lucha por sobrevivir. Se comprueba en esta forma, el poder de los mecanismos biológicos que, a nivel molecular, se expresan por igual en los organismos micro y macroscópicos.

**Palabras clave:** *Paracoccidioides brasiliensis*. Capacidad adaptativa.

## Abstract

As all living organisms, fungi must reproduce to survive. To accomplish this, they learn to withstand the hardships of inhospitable environments by developing a series of adaptation mechanisms, established by natural selection and which are usually useful within their natural habitats. However, these can also be employed when by accident, a different type of environment must be contemplated. This is the case of the thermally dimorphic fungus, *P. brasiliensis*, which in spite of its small size, approximately 15 microns, has adaptation systems that parallel or even surpass, those of the higher eukaryots. Some of the most notorious

\* Estudio científico pronunciado en el recinto de la Academia el 22 de febrero de 1995 con ocasión de su posesión como académica correspondiente.

\*\* Sección de Micología. Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB) A.A. 7378 Medellín, Antioquia.



characteristics are its capacity to withstand nutritional deprivation which forces the fungus to sporulate in order to survive. Furthermore, it is capable of changing forms (mycelial to yeast) under the influence of temperatures above normal and by so doing, accommodating to the conditions found in the tissues of its accidental human host. Once in the yeast form, it learns to tolerate the detrimental effect of a foreign environment, in which it may encounter oxygen concentrations lower than expected for an aerobic microorganism. In spite of the fact that it needs iron for vital processes, *P. brasiliensis* has the capability of sequestering iron traces from the media by means of its own chelants; the fungus is then able to meet other challenges for its survival. Rather than remaining in the extra cellular milieu, it prefers to be engulfed by the host's macrophages, which should destroy it, only to have access to the iron needed for its transformation to the tissue form and further adaptation to the new host. These mechanisms illustrate the power of biological mechanisms which at the molecular level, are expressed equally by microscopic and macroscopic organisms.

**Key Words:** *Paracoccidioides brasiliensis*. Capacidad adaptation mechanisms.

### Generalidades sobre la paracoccidioidomicosis y su agente etiológico

*Paracoccidioides brasiliensis* es el agente causal de una de las afecciones micóticas sistémicas (diseminadas) más severas del hombre, la paracoccidioidomicosis (PCM) (Lacaz, 1994a,b). Se trata de una enfermedad infecciosa pero no contagiosa, que ocasiona lesiones, clínicamente aparentes, en los pulmones, las membranas mucosas, la piel, los ganglios linfáticos, las adrenales y otros órganos. Existen también infecciones subclínicas que cursan en ausencia de manifestaciones orgánicas notorias, las que, en habitantes de la zona endémica, son más frecuentes que la enfermedad misma. Sin embargo, el individuo infectado conserva por años el recuerdo inmunológico de su encuentro con el microorganismo, hecho que facilita la determinación de la frecuencia de infección en una población dada. Desafortunadamente, el hongo puede permanecer latente en los tejidos de la persona infectada y, años más tarde, dar lugar a enfermedad por reactivación endógena de un foco infeccioso parcialmente dominado por sus defensas inmunes (Newman *et al.*, 1994; Restrepo, 1993; San Blas, 1993).

La PCM reviste ciertas características de importancia, entre las que se destacan su distribución geográfica limitada a la América Latina. En efecto, la micosis es informada sólo entre México (23° N) y la Argentina (34° S), con gran predominio de casos en el Brasil, seguido de Venezuela, Colombia y Ecuador (Ríos-Fabra *et al.*, 1994). Llama la atención el que dentro del área señalada, algunos países como Chile y las islas caribeñas, resulten indemnes (Restrepo, 1994). A pesar de unos confines tan limitados, se desconoce aún el hábitat natural del *P. brasiliensis* (Restrepo, 1994). La PCM es también peculiar en lo referente al sexo de los pacientes, ya que la enfermedad es mucho más frecuente en hombres que en mujeres, en una proporción de 13:1 para toda el área endémica y de 100:1 para Colombia, Venezuela y Ecuador (Brummer *et al.*, 1993, Wanke & Londero, 1994). Curiosamente, ambos sexos se infectan por igual y en el caso de los niños, no hay diferencias por sexo, lo cual señala la importancia de las hormonas en la relación hospedero-parásito (Salazar *et al.*, 1988). Otras circunstancias notorias son la mayor frecuencia de la enfermedad en los adultos y agricultores, así como la

severidad de la afección en inmigrantes al área endémica (Wanke & Londero, 1994).

### Rudimentos históricos

En 1908 en la ciudad de São Paulo, Brasil, el profesor Adolfo Lutz describió los dos primeros casos de la enfermedad y logró aislar el agente etiológico. Su colaborador, Adolfo Splendore, prosiguió los estudios y designó el hongo con el binomio *Zymonema brasiliensis*, una de las varias designaciones que recibiría el microorganismo el que, además, en 1913, es confundido con el agente de otra micosis, la coccidioidomicosis. Es sólo en 1930 que el profesor Floriano de Almeida condujo estudios sistemáticos sobre el hongo, que le permitieron conocerlo mejor y clasificarlo con el nombre actual *Paracoccidioides brasiliensis*. Las contribuciones fundamentales de los tres anteriores profesionales fueron reconocidas en el pasado, al ser designada la micosis como la enfermedad de Lutz-Splendore-de Almeida. A partir de 1940, el liderazgo de la investigación sobre la entidad y su agente etiológico fue asumido por el profesor Carlos de Silva Lacaz, quien aún mantiene su posición de connotado maestro (Lacaz, 1994a,b).

### El agente etiológico

*Paracoccidioides brasiliensis* es un microorganismo eucariótico, heterotrófico, clasificado en el Reino de los Hongos, Phylum Deuteromycota, Clase Hyphomycetes, Orden Moniliales, Familia Moniliaceae. Es aeróbico pero puede tolerar concentraciones reducidas de oxígeno. Hasta el momento, se desconoce su fase perfecta (sexuada). Este hongo exhibe una característica importante, el fenómeno del dimorfismo por el cual cambia de aspecto bajo la influencia de la temperatura. Por debajo de 25°C y muy posiblemente también en la naturaleza, se manifiesta como un moho. A 35°-37°C, así como en los tejidos, el hongo se desarrolla como una levadura (Newman *et al.*, 1994, Lacaz, 1994b, Queiroz-Telles, 1994, San Blas & San Blas, 1994).

Los elementos reproductores del hongo varían según su forma de crecimiento; es así como la levadura que es multinucleada, se reproduce por gemación y da lugar a blastoconidias ovales o redondeadas, algunas de las cuales son multigermantes (Lacaz, 1994b). Esta últi-

ma forma reproductiva es la característica distintiva más importante del *P. brasiliensis*. En la forma miceliar, se observan las estructuras tubulares de todos los mohos, las hifas y su conjunto, los micelios; en las hifas se forman las conidias, elementos reproductores uninucleados, que al menos en modelos experimentales, constituyen las formas infectantes (Bustamante *et al.*, 1985, McEwen *et al.*, 1987, Queiroz-Telles, 1994).

Una comparación entre las formas miceliar y levaduriforme (Tabla 1), revela cómo la primera es menos exigente que la levadura desde el punto de vista nutricional, así como más tolerante a variaciones de pH, de temperatura y, en algún grado, también de humedad.

**Tabla 1.** Comparación entre las formas Miceliar y Levadura del *P. brasiliensis*

Condiciones	Formas	
	Miceliar	Levadura
Requerimientos nutricionales	escasos	complejos
Tolerancia a:		
pH	amplia (3-11)	limitada (5-9)
temperatura (°C)	marcada (4-28)	escasa (32-37)
humedad baja	mediana	ninguna
Esporulación	pobre	abundante

Por el contrario, la levadura se reproduce en forma más abundante que el micelio, al menos en medios de cultivo ricos en carbohidratos (Bustamante *et al.*, 1985, Restrepo, 1994). El paso (transformación o conversión) entre una y otra forma implica cambios en muchos aspectos, la composición de la pared celular entre ellos. En la levadura, la pared tiene como componente básico alfa-1,3 glucán mientras que en el micelio, tal componente es beta-1,3 glucán. Hay quitina y hexosas en ambas formas. Por lo tanto, la transformación depende no sólo de la constitución de la pared sino también de la cantidad relativa de los glucanos y de su arreglo espacial (San Blas & San Blas, 1994). Vale la pena anotar que sólo la levadura se asocia con la enfermedad, por lo que las diferencias en la composición de la pared pueden catalogarse como factores de virulencia del hongo (San Blas, 1993; San Blas & San Blas, 1994).

### Algunos ejemplos de la capacidad de adaptación del *P. brasiliensis*

#### 1. Sustratos pobres y forma miceliar

Como fue mencionado, en la forma miceliar los elementos reproductores son escasos, por lo que la pro-

pagación de la especie en el medio ambiente podría verse perjudicada. En el laboratorio, bajo condiciones que simulan las naturales, no se producen conidias en medios con alto contenido de carbohidratos. Si el hongo se siembra en medios pobres y aún en agar y agua solamente, aproximadamente 20% de los aislamientos de origen clínico, dan origen a conidias de varios tipos (Bustamante *et al.*, 1985). Parecería como si ante la necesidad de enfrentar el agotamiento del sustrato, el hongo hiciera un último esfuerzo para sobrevivir y produjera los elementos capaces de conservar su especie, las conidias (Bustamante *et al.*, 1985). Tan bien dotada para la supervivencia está la forma miceliar del *P. brasiliensis* que logra aumentar su masa y conservar cierta vitalidad, después de incubación prolongada a 22° y a 4°C, en agua destilada estéril (de Bedout *et al.*, 1986) (Tabla 2). Después de 4 meses de tal tratamiento, estudios al microscopio electrónico de transmisión, revelaron el fenómeno *hifa-intra-hifa*, el cual consiste en la penetración de una hifa viable, joven, al interior de otra en vías de extinción, con el objeto de obtener de ésta los materiales orgánicos necesarios para su desarrollo (de Bedout *et al.*, 1986). ¿Será este un ejemplo de canibalismo micótico?

Lo anterior demuestra la gran capacidad de adaptación de la forma miceliar del *P. brasiliensis* a condiciones nutricionales extremas, las que en ningún momento permitirían la supervivencia de la forma de levadura, dadas sus mayores exigencias nutricionales (Restrepo, 1994). Lo anterior señala que la forma miceliar debe ser el estado natural del hongo en el medio ambiente, en el cual cumple su aún desconocido papel como microorganismo saprofito (Lacaz, 1994b).

**Tabla 2.** Micelio de *P. brasiliensis* y desarrollo en condiciones extremas

Sustrato: Agua destilada estéril Meses de observación	Peso seco (mg)	
	Según temperatura (°C) de incubación	
	22	4
0	1.0	0.8
2	0.8	0.8
3	1.6	0.8
4	1.3	1.4
5	1.5	1.8
6	1.5	1.4
7	4.9	3.9
8	5.5	4.0

#### 2. Dimorfismo térmico

El dimorfismo térmico revela la "doble personalidad" que es propia de *P. brasiliensis*. Puede seguirse la conversión morfológica incubando el micelio a temperaturas de 28° a 37°C. Bajo el estímulo del calor, las hifas comienzan a presentar alteraciones representadas por ensancha-

mientos intercalares que adoptan formas ovales o redondeadas, que aparecen recubiertas por paredes gruesas; finalmente aquellas dan lugar a levaduras con gemación múltiple (Salazar & Restrepo, 1984): Las conidias hacen la misma conversión pero en forma más directa. Inicialmente adquieren aspecto oval o esférico, y luego producen las gemas múltiples características de la forma levadura (Restrepo *et al.*, 1986). Por su parte, las levaduras al ser cultivadas a temperaturas inferiores a 28°C, emiten prolongaciones tubulares que con el paso del tiempo, terminan en hifas y micelios (Restrepo *et al.*, 1982).

Es admirable la capacidad del *P. brasiliensis* para enfrentar exitosamente el reto impuesto por este cambio de escenario. En efecto, en éste y en otros hongos dimórficos patógenos para el hombre, tal como *Histoplasma capsulatum*, cuyo hábitat externo es el suelo (Deepe, 1994), la afección humana es el resultado del encuentro accidental con un hospedero extraño, encuentro que obliga al hongo a cambiar su sistema de vida para sobrevivir (Deepe, 1994). En la PCM experimental, al ocurrir la infección primaria, las conidias y fragmentos miceliares que llegan al pulmón adoptan rápidamente la forma de levadura, impulsadas principalmente por el aumento de temperatura (McEwen *et al.*, 1987). De no hacerlo así, el hospedero eliminaría las formas infectantes derivadas del micelio (Deepe, 1994; McEwen *et al.*, 1987).

### 3. Batalla por el Hierro: elemento esencial

En general, el hierro cumple un papel importante en la interacción de los microorganismos patógenos y el hombre. Este último posee proteínas capaces de unirse con avidez al hierro, de quelarlo, como son la transferrina y la lactoferrina (Guerinot, 1994, Weinberg, 1984). Los microorganismos que dependen de tal elemento para su desarrollo, se ven restringidos y pueden fracasar en su intento de colonizar a su hospedero, a menos que también ellos logren producir otro tipo de quelantes, los sideróforos. Por ello, los quelantes del hierro que posee el hospedero representan una forma inespecífica de inmunidad (Guerinot, 1994, Weinberg, 1984).

Con el fin de determinar el grado de dependencia de hierro del *P. brasiliensis* se realizaron una serie de experimentos en los cuales se sembraron tubos con la levadura o el micelio en un medio de cultivo químicamente definido, con o sin hierro en concentraciones variables; tales cultivos se mantenían a la temperatura adecuada a la forma de crecimiento. A intervalos regulares, se medía el desarrollo del hongo por espectrofotometría. Además, en una segunda parte del experimento, se agregó al medio con hierro un quelante de reconocida afinidad a este elemento (fenantrolina). Así mismo, se analizó el sobredonante del medio donde había crecido el hongo, para buscar aquellos de sus productos metabólicos que fueran capaces de unirse al hierro (Arango & Restrepo, 1988).

Como se observa en las figuras 1 y 2, la dinámica del crecimiento de ambas formas del hongo fue similar en presencia y en ausencia de hierro. En los cultivos con exceso de hierro y con el quelante, las levaduras crecían adecuadamente, no así el micelio, el que sólo lograba un desarrollo parcial después de una incubación prolongada. En contraste con lo anterior, la adición de fenantrolina

al medio de cultivo normal sin hierro en exceso, retrasaba significativamente el desarrollo de la levadura, especialmente en los primeros días de cultivo. Por su parte, bajo las mismas circunstancias, el micelio se mostraba incapaz de soportar la ausencia de hierro ocasionada por la acción del quelante (Arango & Restrepo, 1988).

El análisis de los sobredonantes de los cultivos mostró que ambas formas del hongo liberaban una mayor concentración de metabolitos con afinidad al hierro cuando tal elemento se encontraba ausente del medio de cultivo (Fig. 3), indicando así que tanto el micelio como la levadura sintetizaban sideróforos, si bien ellos eran más potentes en esta última y le permitían quelar las pequeñísimas cantidades (trazas) del hierro presentes en el sustrato (Arango & Restrepo, 1988). Esta capacidad representa una ventaja para el hongo en su forma tisular cuando deba interactuar con su accidental hospedero, el hombre.

Tabla 3. Supervivencia del *P. brasiliensis* bajo condiciones de oxigenación reducida

Días estudio	% células viables en cultivos líquidos estacionarios en:	
	Microaerofilia	Anaerobiosis
1	81 (+)	85 (+)
7	65 (+)	11 (+)
14	45 (+)	0 (-)
21	24 (+)	0 (-)
28	22 (+)	0 (-)

(+): Producción de colonias al hacer siembras en medio sólido.

### 4. El hierro hace posible el desarrollo intracelular

En una serie de experimentos diseñados para determinar la capacidad fungicida (letal) de los macrófagos provenientes de ratones frente a las conidias de *P. brasiliensis* (Brummer *et al.*, 1989, Cano *et al.*, 1992). Se observó que al cultivarlas a 37°C en presencia de macrófagos residentes, eran rápidamente ingeridas por éstos. Contrariamente a la destrucción esperada, una proporción importante de tales conidias lograba transformarse intracelularmente en levadura. Los controles que medían tal capacidad de transformación y que carecían de macrófagos, mostraban un porcentaje inferior de conversión conidia-levadura. En otras palabras, las células macrófágicas permitían el desarrollo del microorganismo al que supuestamente debían combatir (Brummer *et al.*, 1989, Cano *et al.*, 1992).

Al tratar de explicar el hallazgo anterior, se encontró que si los macrófagos se activaban, es decir, si se les impulsaba a convertirse en agresores más potentes, las conidias ingeridas no lograban ya transformarse en levaduras. Es conocido que una de las estrategias empleadas por los macrófagos activados para detener el germen invasor es retener el hierro o presentarlo en una forma no utilizable por éste (Guerinot, 1994, Newman *et al.*, 1994, Weinberg, 1984). Con esta base se exploró el efecto que sobre el co-cultivo de conidias y macrófagos pudiera tener la adición de un quelante del hierro (desferoxamina). Se encontró que ocurría entonces una

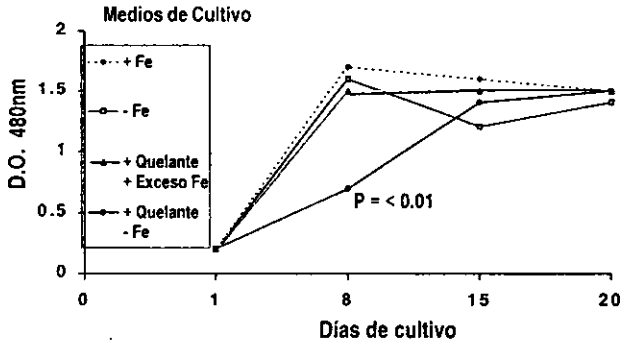


Figura 1. *P. brasiliensis*: Relación con el Hierro (I). Forma levadura.

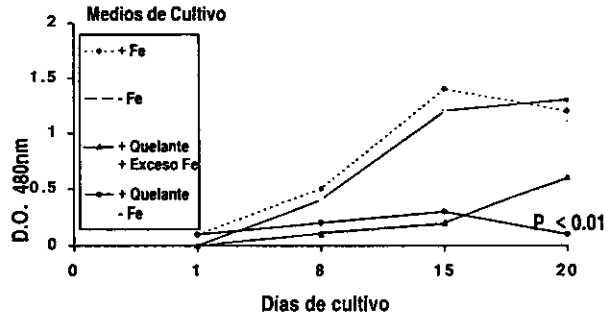


Figura 2. *P. brasiliensis*: Relación con el Hierro (II). Forma micelias.

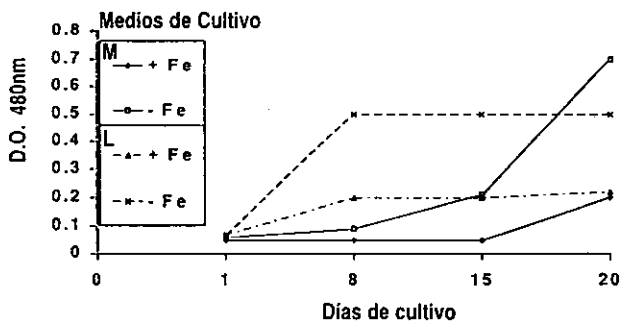


Figura 3. Sobrenadantes de cultivos de *P. brasiliensis*: Capacidad de unión al Hierro.

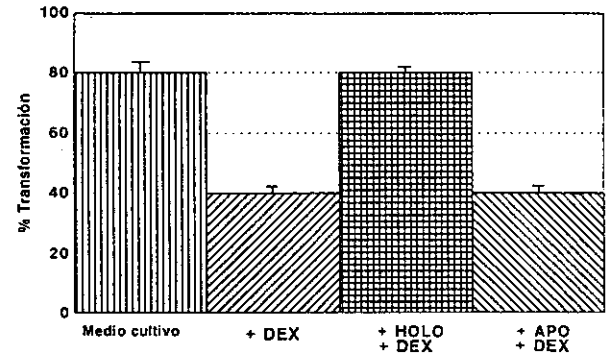


Figura 4. Efectos del hierro en la transformación conidia → levadura en macrófagos.

drástica reducción en la transformación de las conidias (Fig. 4). Si además del quelante se agregaba otro compuesto que fuera saturado (holotransferrina), el paso conidia-levadura se cumplía con la misma frecuencia que frente a los macrófagos residentes no activados, pues existía hierro suficiente para satisfacer al quelante y a las conidias. Si por el contrario, el compuesto que se adicionaba no era saturado en este elemento, eran pocas las conidias que lograban transformarse (Cano *et al.*, 1994). Los datos anteriores revelan cómo la disponibilidad de hierro en el interior de los macrófagos, al igual que la capacidad del hongo para aprovecharlo, constituyen una faceta importante de la relación hospedero-parásito en la paracoccidioidomicosis (Cano *et al.*, 1994).

**5. *P. brasiliensis* y su relación con el oxígeno**

La experiencia revela que tanto la levadura como el micelio al ser sembrados en medios de cultivo líquidos, requieren una oxigenación vigorosa para su desarrollo. No importa qué tan adecuado sea el sustrato líquido que se ofrezca, en ausencia de agitación o de otro medio que proporcione oxígeno, no ocurre crecimiento del hongo (Lacaz, 1994b). Esta condición de microorganismo aeróbico es difícil de reconciliar con los largos períodos de latencia que *P. brasiliensis* logra soportar en el tejido del hospedero infectado, cuando queda encerrado en las lesiones residuales que marcaron la afección y en las cuales el acceso al oxígeno es muy restringido (Restrepo *et al.*, 1981). Un ejemplo de tal circunstancia fue ofrecido por un paciente con historia de

paracoccidioidomicosis antigua, tratada adecuadamente pero en quien persistieron lesiones residuales en los ganglios mesentéricos. Estas lesiones ocasionaron obstrucción del drenaje linfático la que a su vez ocasionó ascitis. Los especímenes patológicos revelaron una gruesa cápsula fibrosa de tejido conectivo, con algunos depósitos de calcio, que rodeaba las lesiones. Se observó, además, la presencia de abundantes levaduras de *P. brasiliensis*, algunas en estado de degeneración. Todos los cultivos aeróbicos intentados fueron negativos; sin embargo, se logró recuperar el hongo cuando se utilizaron medios líquidos que ofrecían una atmósfera restringida en oxígeno (micro-aerofilia) (Restrepo *et al.*, 1981).

Este hallazgo llevó a un estudio sobre la tolerancia de la forma levadura del hongo a condiciones de oxigenación reducida (Restrepo *et al.*, 1981). Como se desprende de la Tabla 3, al cultivarla en condiciones de microaerofilia y de anaerobiosis, la proporción de levaduras vivas, que según la observación microscópica, contenía el inóculo inicial, disminuía paulatinamente con el tiempo de incubación. Sin embargo, en condiciones de microaerofilia, aproximadamente una cuarta parte de las levaduras retenía su vitalidad hasta la terminación del experimento (28 días). No sucedió así en los cultivos anaeróbicos, en los cuales una incubación de 14 días era suficiente para inactivar la totalidad del inóculo. Vale la pena anotar que la siembra de los medios líquidos así incubados, a medios sólidos aeróbicos, producía crecimiento de colonias con las características del *P.*

*brasiliensis*, confirmando la viabilidad de las levaduras. Ello indica que bajo esta forma, el hongo aprende gradualmente a tolerar restricciones en el acceso de oxígeno y logra así permanecer inactivo pero viable (Restrepo *et al.*, 1981). Este fenómeno podría explicar los prolongados períodos de latencia observados en las personas infectadas quienes, muchos años después de abandonar o de haber vivido en la zona endémica, padecen la micosis por reactivación de un foco primario insuficientemente controlado, posiblemente por fallas en su sistema de vigilancia inmune (San Blas, 1993). Es ésta otra demostración de la capacidad de adaptación de *P. brasiliensis* a condiciones deletéreas.

## Bibliografía

- Arango, R. & A. Restrepo. 1988. Growth and production of iron chelants by *P. brasiliensis* mycelial and yeast forms. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 26: 113-118.
- Brummer, E., Hanson, L., Restrepo, A. & D.A. Stevens. 1989. Intracellular multiplication of *P. brasiliensis* in macrophages: killing and restriction of multiplication by activated macrophages. *Infection and Immunity* 57: 2289-2294.
- \_\_\_\_\_, Castañeda, E. & A. Restrepo. 1993. Paracoccidioidomycosis: An update. *Clinical Microbiology Reviews* 6: 89-117.
- Bustamante, B., McEwen, J.G., Tabares, A.M., Arango, M. & A. Restrepo. 1985. Characteristics of the conidia produced by the mycelial form of *P. brasiliensis*. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 23: 407-414.
- Cano, L.E., Brummer, E., Stevens, D.A. & A. Restrepo. 1992. Fate of Conidia of *P. brasiliensis* after ingestion by resident macrophages or cytokine-treated macrophages. *Infection and Immunity* 60: 2096-2100.
- \_\_\_\_\_, Gomez, B., Brummer, E., Restrepo, A. & D.A. Stevens. 1994. Inhibitory effect of deferoxamine or macrophage activation on transformation of *P. brasiliensis* conidia ingested by macrophages: reversal by holotransferrin. *Infection and Immunity* 62: 1494-1496.
- de Bedout, C., Cano, L.E., Tabares, A.M., Van de Ven, M. & A. Restrepo. 1986. Water as a substrate for the development of *P. brasiliensis* mycelial form. *Mycopathologia* 96: 123-130.
- Deepe, G.S. 1994. The immune response to *H. capsulatum*: Unearthing its secrets. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 123: 201-205.
- Guerinot, M.L. 1994. Microbial iron transport. *Annual Review of Microbiology* 48: 743-772.
- Lacaz, C.S. 1994a. Historical evolution of the knowledge on Paracoccidioidomycosis and its etiologic agent, *P. brasiliensis*. En Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A., del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 1-12.
- \_\_\_\_\_. 1994b. *P. brasiliensis*: Morphology, evolutionary cycle, maintenance during saprophytic life, biology, virulence, taxonomy. En Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A. del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 13-26.
- McEwen, J.G., Bedoya, V., Patiño, M.M., Salazar, M.E. & A. Restrepo. 1987. Experimental murine paracoccidioidomycosis induced by the inhalation of conidia. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 25: 165-175.
- Newman, S.L., Gootee, L., Brunner, G. & G.S. Deepe. 1994. Chloroquine induces human macrophage killing of *H. capsulatum* by limiting the availability of intracellular iron and is therapeutic in a murine model of histoplasmosis. *Journal Clinical Investigation* 93: 1422-1429.
- Queiroz-Telles, F. 1994. *P. brasiliensis* ultra-structural findings. En: Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A. del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 27-48.
- Restrepo, A. 1993. Paracoccidioidomycosis. In Murphy, J.A., Friedman, H., Bendinelli, M. En *Infectious Agents and Pathogenesis*. Plenum Press, N.Y. pp. 251-276.
- \_\_\_\_\_, 1994. Ecology of *P. brasiliensis*. En Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A., del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 121-130.
- \_\_\_\_\_, Jimenez, B.E., & C. de Bedout. 1981. Survival of *P. brasiliensis* yeast cells under microaerophilic conditions. *Sabouraudia* 19: 301-305.
- \_\_\_\_\_, de Bedout, C., Cano, L.E., Arango, M.D., & V. Bedoya. 1981. Recovery of *P. brasiliensis* from a partially calcified lymph node lesion by microaerophilic incubation in liquid media. *Sabouraudia* 19: 295-300.
- \_\_\_\_\_, Cano, L.E., de Bedout, C., Brummer, E. & D.A. Stevens. 1982. Comparison of various techniques for determining viability of *P. brasiliensis* yeast-form cells. *Journal of Clinical Microbiology* 16: 209-211.
- Restrepo, B.I., McEwen, J.G., Salazar, M.E. & A. Restrepo. 1986. Morphological development of the conidia produced by *P. brasiliensis* mycelial form. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 24: 337-339.
- Ríos-Fabra, A., Restrepo, A. & R.E. Isturiz. 1994. Fungal infections in Latin American countries. *Infectious Diseases Clinics of North America* 8: 129-154.
- Salazar, M.E. & A. Restrepo. 1984. Morphogenesis of the mycelium to yeast transformation in *P. brasiliensis*. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 22: 7-11.
- \_\_\_\_\_, Restrepo, A. & D.A. Stevens. 1988. Inhibition by estrogens of conidium-to-yeast conversion in the fungus *P. brasiliensis*. *Infection and Immunity* 56: 711-713.
- San Blas, G. 1993. Paracoccidioidomycosis and its etiologic agent, *P. brasiliensis*. *Journal of Medical and Veterinary Mycology* 31: 99-113.
- \_\_\_\_\_ & F. San Blas. 1994. Biochemistry of *P. brasiliensis* dimorphism. En Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A., del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 49-66.
- Wanke, B. & A.T. Londero. 1994. Epidemiology and paracoccidioidomycosis infection. En Franco, M., Lacaz, C.S., Restrepo, A., del Negro, G. *Paracoccidioidomycosis*. CRC Press, Boca Ratón, Florida. pp. 109-120.
- Weinberg, E.D. 1984. Iron withholding: a defense against infection and neoplasia. *Physiology Reviews* 64: 65-102.

# CARACTERIZACION GENERAL DE LA ZONA DE SURGENCIA EN LA GUAJIRA COLOMBIANA

por

Ricardo Alvarez-León<sup>1</sup>, Jairo Aguilera-Quiñonez<sup>2</sup>, Carlos A. Andrade-Amaya<sup>3</sup>  
& Patrick Nowak<sup>4</sup>

## Resumen

Alvarez-León, R., Aguilera-Quiñonez, J., Andrade-Amaya, C.A. & P. Nowak.: Caracterización general de la zona de surgencia en la Guajira Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 19 (75): 679-694, 1995. ISSN 0370-3908.

Este trabajo constituye el primer esfuerzo por analizar toda la información geológica, oceanográfica, biológica y pesquera existente sobre la surgencia frente a la Guajira, a fin de conocer y entender mejor la complejidad y dinámica del sistema. Se analiza integralmente y por primera vez la información obtenida en los cruceros CICAR 2 y 3, OCEANO II y IV y GUAJIRA 85, en el área de estudio.

**Palabras clave:** Zona de surgencia. Geología. Oceanografía. Guajira. Colombia.

## Abstract

This work constitute the first effort to analyze the upwelling outside the Colombian Northeast Caribbean coast all the geological, oceanographical, biological and fisheries information existing, for better explaining and understanding the dynamic complexity of the system. The information obtained in the cruise CICAR 2 and 3, OCEANO II and IV, and GUAJIRA 85 in the area of study was analyzed for the first time.

**Key words:** Upwelling. Geology. Oceanography. Guajira. Colombia.

## Introducción

Las labores de investigación en el Caribe nororiental colombiano han sido de naturaleza y objetivos muy variados, remontándose a 1896 cuando el buque francés Chazalie realizó una serie de colectas y observaciones biológicas (Alvarez-León, 1985). No obstante, es desde 1958 cuando una serie de cruceros oceanográficos, desarrollados en el área comprendida entre Dibulla y Castilletes (Guajira), permitieron detec-

tar y luego confirmar la presencia de la surgencia costera y proporcionar información valiosa para evaluar las particularidades y los efectos que se derivan de los cambios espacio temporales del fenómeno (Tabla 1).

De manera similar deben destacarse los esfuerzos realizados por instituciones e investigadores que trabajando a bordo de la flota camaronera o realizando observaciones en la zona costera, han permitido detectar los efectos generales a lo largo de aproximadamente 20 años. Lamentablemente dichos esfuerzos por razones diversas no se han realizado con la intensidad y continuidad que sería deseable, aunque si permiten tener a la fecha, una serie de organismos que pueden considerarse como posibles indicadores de la surgencia.

Una exhaustiva revisión de la información generada sobre clima, aguas, organismos y sedimentos permite observar que se ha trabajado en: Geología Marina (Du-

<sup>1</sup>. Promotora de Fomento Cultural de la Costa Atlántica, PRODECOSTA, A.A. 1820, Cartagena (Bol.) Colombia.

<sup>2</sup>. Escuela Naval Almirante Padilla, ENAP. Fac. de Oceanografía, Cartagena (Bol.) Colombia.

<sup>3</sup>. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH, A.A. 982, Cartagena (Bol.) Colombia.

<sup>4</sup>. Institut de Geologie du Bassin d' Aquitania IGBA, Université de Bordeaux I, 33405 Talence, Francia.

Tabla 1. Cruceros explotatorios a la zona de estudio entre 1958 y 1985.

Año	Embarcaciones	Bandera	Actividad desarrollada*	Fuente **
1958	Crawford	EUA	OF	15
1964	Oregon	URSS	PX (92)	5
1964	SRT-R 9029	EUA	PX (J-J64, A-064)	21
1965	Oregon	EUA	PX (104)	6
1965	Thomas G.Thompson 001	EUA	OB	9,25
1966/67	John E. Pillsbury	EUA	OB (P-6602,6606,6701)	19
1967/68		Cuba	PX	26
1968	John E. Pillsbury	EUA	OB (P-6806)	20,22
1968	Oregon II	EUA	OB (P-6806)	20,22
1969	Chocó	Colombia	PX (6901-6905)	3
1970	Oregon II	EUA	PX (22)	16
1970	Chocó	Colombia	PX (7010)	18
1970	Chocó	Colombia	PX (7015)	1
1970/71	Chocó	Colombia	PX (7014,7016,7107,7108)	23
1972	San Andrés	Colombia	OF (Cicar II)	11
1972	San Andrés	Colombia	OF (Cicar III)	12
1973	San Andrés	Colombia	OF (Oceano II Areas 2 y 3)	13
1972	Discoverer	EUA	OB (NOAA-CARIB)	2
1974	Columbus Iselin	EUA	OB (CI-7404)	7
1975	James M. Gillis	EUA	OB (66-7504)	8,9
1975	San Andrés	Colombia	OF (Oceano IV, Areas 2 y 3)	14
1980	Caribbean Star 2	Colombia	PX (0280, 0380, 0580, 0680)	24
1980/81	Caribbean Star 2	Colombia	PX	17
1980	Caribbean Star 2	Colombia	PX (1180, 1681)	17
1985	Providencia	Colombia	GM (Guajira 1985)	10
1985	Malpelo	Colombia	PX(INV-01585)	4

\* GM= Geología Marina; OB= Oceanografía Biológica; OF= Oceanografía Física; PX= Pesca Exploratoria.

\*\* 1. Avila de Tabares (1981); 2. Avila de Tabares & Rentería de Monsalve (1981); 3. Ben-Tuvia (1969); 4. Blanco-Racedo (1986); 5. Bullis (1964); 6. Bullis (1965); 7. Corredor (1974); 8. Corredor (1977); 9. Corredor (1979); 10. Cuignon *et al.* (1985); 11. DIMAR (1973 a); 12. DIMAR (1973 b); 13. DIMAR (1976); 14. DIMAR (1979); 15. Gordon (1967); 16. Klima (1970); 17. Mora *et al.* (1980); 18. Min-Agricultura *et al.* (1980); 19. Owre & Foyo (1971); 20. Palacio (1974); 21. Sokolov (1967); 22. Staiger (1969); 23. Testaverde (1972); 24. Ueda *et al.* (1980); 25. UW/DO (1970); 26. Yurov (1969).

que-Caro, 1972; Javelaud, 1984; Cuignon *et al.*, 1985), Oceanografía Física y Química (Wust, 1963; Gordon, 1967; Santacruz, 1969; UW/DO, 1970; Pelroth, 1971; Febres-Ortega, 1972; DIMAR, 1973 a, 1973 b; Corredor, 1974, 1977, 1979; Fajardo, 1978; DIMAR, 1979), Climatología (Lahey, 1973; Lecarpentier *et al.*, 1975); Producción Primaria (Steeman-Nielsen & Jensen, 1957; Curl, 1960; Bogdanov *et al.*, 1968; Margalef, 1971; Corredor, 1979; Rey *et al.*, 1979), Biología Marina (Staiger, 1969; Maduro, 1971; Owre & Foyo, 1971; Alvarez-León, 1972; López-Salgado, 1972; De Nogales, 1974; Palacio, 1974; Saiz, 1974; Baruque, 1978; Avila de Tabares, 1981, Avila de Tabares & Rentería de Monsalve, 1981; Ramírez, 1982), Biología Pesquera (Bullis, 1964, 1965, 1968; Sokolov, 1967; Ben-Tuvia, 1969; Klima, 1970; Maduro 1971; Alvarez-León, 1972; Testaverde, 1972; Saiz, 1974; Ríos, 1975 a, 1975 b; MinAgricultura *et al.*, 1980; Ueda *et al.*, 1980; JICA, 1981; Mora *et al.*, 1981 a, 1981 b; Ríos, 1975, 1981; Riveros & Sarmiento 1985; Blanco-Racedo, 1986).

Los objetivos del presente incluyen el ofrecer conocimiento general del Caribe nororiental colombiano, con base en un análisis retrospectivo, de los trabajos eje-

cutados hasta la fecha en las áreas de meteorología, geología marina, biología y oceanografía en cruceros nacionales en dicha zona y proponer nuevas técnicas para el monitoreo sistemático de la surgencia.

## Resultados

### 1. Aspectos geológicos

#### Zona de estudio

Tectónicamente la región nororiental de Colombia se caracteriza por el contacto entre la Placa Continental Suramericana y la Placa Oceánica del Caribe. Así, la faja de formación debida a la subducción de la corteza oceánica, se viene desarrollando desde el Oligoceno (Duque-Caro, 1972) (Fig. 1) y el cambio reciente del rumbo de convergencia, puede ser asociado a la formación de las fallas Oca y Santa Marta.

En este contexto general, el CIOH ha efectuado desde 1979 varios cruceros oceanográficos sobre la plataforma continental, con el objeto de conocerla integralmente dado que su cubrimiento por el mar, es re-

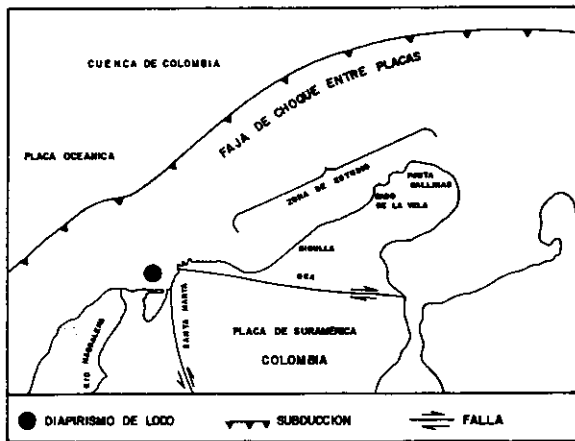


Figura 1. Aspectos geológicos de la zona de estudio: disposición de placas y fallas según Duque-Caro (1972).

ciente. Entre 1984 y 1985 se desarrollaron con asesoría de la Misión Técnica Francesa dos cruceros sedimentológicos sobre la plataforma Guajira, en los cuales se cubrieron dos áreas situadas entre los  $72^{\circ} 45' - 74^{\circ} 00' W$ ,  $11^{\circ} 10' - 12^{\circ} 10' N$  el primero y  $71^{\circ} 20' - 72^{\circ} 45' W$ ,  $12^{\circ} 05' - 12^{\circ} 45' N$  el segundo.

El área total muestreada corresponde a la zona donde varios autores registraron un fenómeno de surgencia costera (Febres-Ortega, 1972; Fajardo, 1978; Corredor, 1979).

### Batimetría y Morfología

Básicamente existe una relación entre la morfología del fondo y el tipo de sedimento encontrado, por esto

se realizaron varios perfiles batimétricos a fin de obtener un mapa lo más cercano posible del relieve submarino (Fig. 2).

La plataforma de la Guajira finaliza alrededor del beril de los 80 m, donde el declive se acrecenta constituyendo el Talud Continental. La plataforma se subdivide en tres zonas:

- Al este el Cabo de la Vela, se estrecha con un ancho máximo de 15 km y frente a Punta Gallinas con sólo 6 km, la pendiente general es fuerte, del orden del 1%.

- Entre Cabo de la Vela y Riohacha, es ancha con 40 km de promedio y pendiente suave de 0.2%. Desde la línea de costa hasta una profundidad de 60 m o zona interna, se evidencian varios cordones y bancos cuya morfología completa se caracteriza por una cresta a los 40 m de profundidad; de los 60 a 80 m o zona externa, tiene muy poca pendiente.

- De Riohacha a Cabo San Agustín, es nuevamente estrecha desapareciendo en los alrededores del Parque Tayrona.

### Sedimentología

El tamizaje de 300 muestras permitió separar las fracciones arenosas y lodosas de acuerdo a los valores considerados en la tabla 2, tomando el tamaño de grano para las arenas, aquel mayor de 0.063 mm. Los resultados de este análisis granulométrico permitió dividir la plataforma continental en dos zonas (Fig. 3).

- Al este del Cabo de la Vela, donde los sedimentos son lodosos, con dos sectores de arena lodosa y lodo.

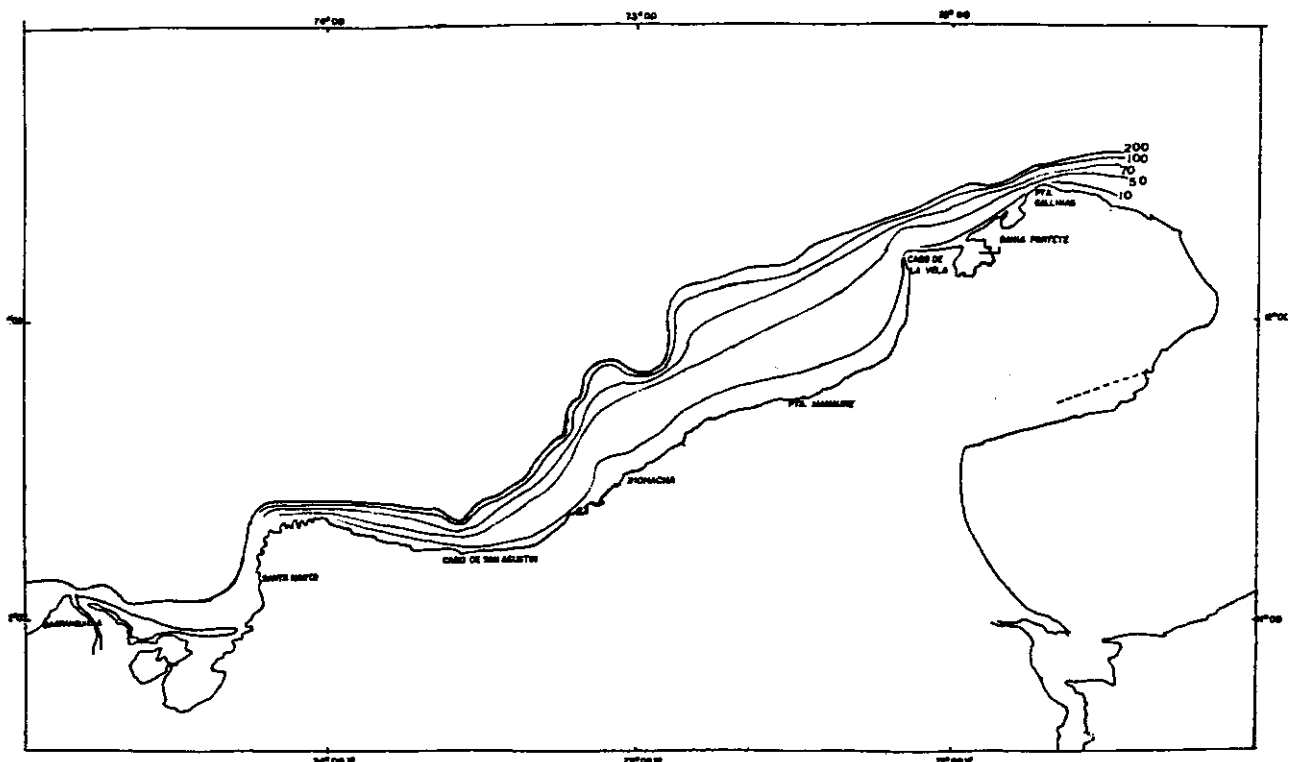


Figura 2. Batimetría de la plataforma continental del noroeste del Caribe colombiano (modificado a partir de Javelaud, 1984 y Cuignon, 1985).



- Entre los Cabo de la Vela y San Agustín donde predominan las arenas blancas y gruesas formadas por algas calcáreas; la fracción mineral está casi siempre ausente y entre los restos bioquímicos sobresalen las algas rojas melobesias.

Teniendo en cuenta la clasificación de los sedimentos por el contenido de carbonatos de la tabla

3, la plataforma de la Guajira se divide en tres zonas (Fig. 4).

- Del Cabo de la Vela hacia el este, predominan los sedimentos bioclásticos.

- Del Cabo de la Vela hasta Riohacha, predominan los sedimentos bioclásticos.

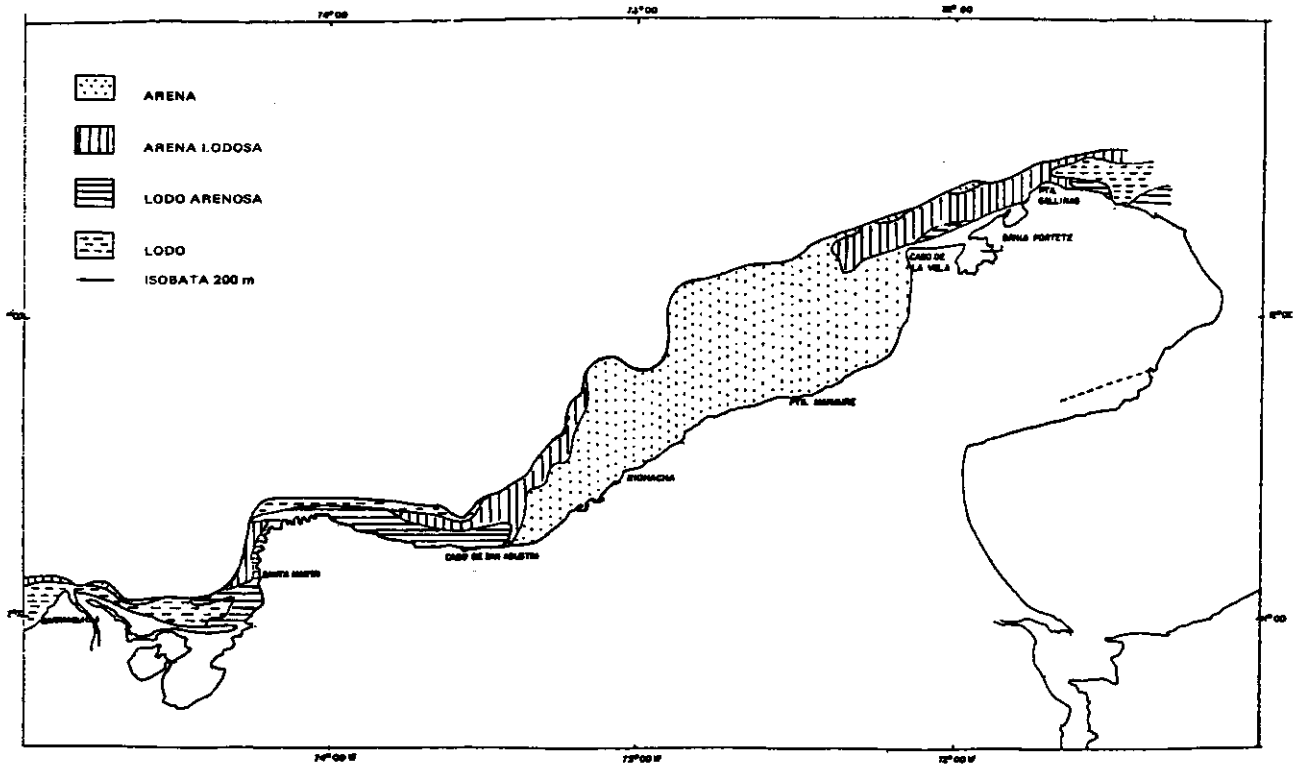


Figura 3. Distribución de los tipos de sedimentos presentes en la plataforma continental al noroeste del Caribe colombiano (modificado a partir de Javelaud, 1984 y Cuignon, 1985).

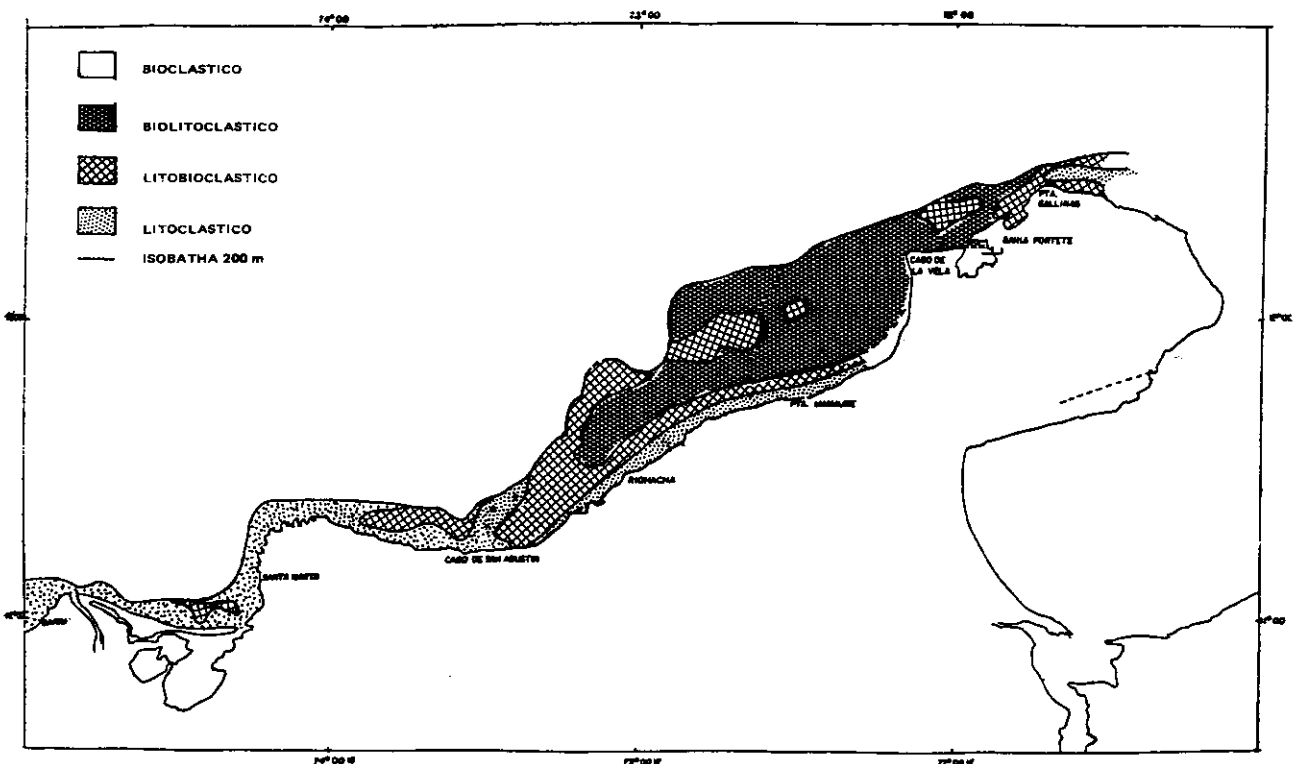


Figura 4. Distribución de los tipos de sedimentos de acuerdo a su porcentaje de carbonato de calcio en la plataforma continental noroeste del Caribe colombiano (modificado a partir de Javelaud, 1984 y Cuignon, 1985).

**Tabla 2.** Clasificación granulométrica de los sedimentos de la zona de estudio.

% de Arena	% de Limo y Arcilla	Tipo de Sedimento
90	0-10	Arena
50-90	0-50	Areno-Lodoso
10-50	50-90	Lodo-Arenoso
0-10	90 <	Lodo

**Tabla 3.** Clasificación calcimétrica de los sedimentos de la zona de estudio.

% CaCO <sub>3</sub>	Tipo
0-15	Litoclástico
15-50	Litobioclástico
50-85	Biolitoclástico
85 <	Bioclástico

- De Riohacha hacia el oeste, el carácter carbonatado disminuye gradualmente.

Tomando como referencia la figura 4, se calculó la cantidad de carbonato de calcio (66 x 109 ton) disponible en la plataforma, con base en el área y el espesor de la capa sedimentaria.

Con base en los estudios de los facies sedimentarias y la batimetría la zona de estudio se puede dividir en tres zonas (Javelaud, 1983; Cuignon *et al.*, 1985):

- Al este del Cabo de la Vela, donde la plataforma es estrecha con sedimentos detríticos finos.

- De Riohacha hacia el oeste, la plataforma es estrecha con sedimentación reciente de tipo litoclástico y fino.

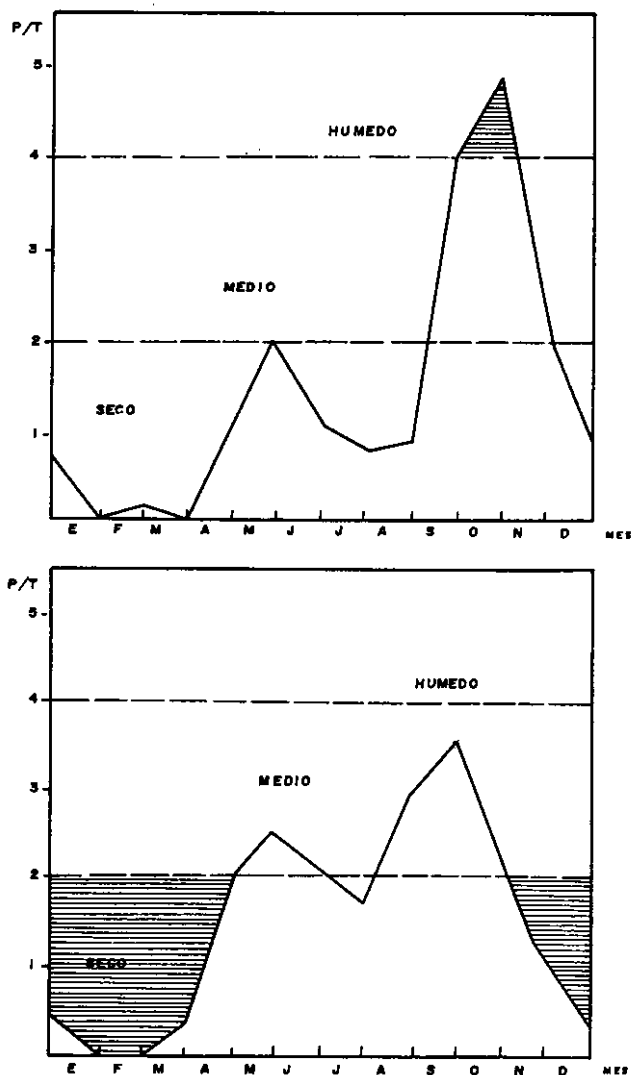
## 2. Aspectos Meteorológicos

Desde el punto de vista climático el área de la península de la Guajira es árido y desértico, lo cual está bien documentado en los trabajos de Lahey (1973) y Lecarpentier *et al.* (1975).

Los datos climáticos en consideración, se refieren a las observaciones obtenidas en la estación del aeropuerto de Riohacha y recopilados por el Instituto Colombiano de Meteorología, Hidrografía y Adecuación de Tierras HIMAT, y los obtenidos durante los cruceros oceanográficos OCEANO IV (abril, mayo, noviembre de 1975).

Utilizando el método de Gaussen para la caracterización de clima con base en el índice de aridez (Precipitación media / Temperatura media), en la península de la Guajira: un período seco (P/T menor de 2) se presenta casi todo el año, empezando en diciembre y hasta mediados de septiembre del siguiente año, ya que el período húmedo cubre solamente dos meses: octubre y noviembre (Fig. 5).

La temperatura ambiental es alta, con una media anual de 28.1 °C y una precipitación media que escasa-



**Figura 5.** Caracterización del clima según el índice de aridez (pendiente media P/temperatura ambiente media T) de Gaussen; con base en los datos de los aeropuertos (a) Almirante Padilla de Riohacha (Gua.) y (b) Simón Bolívar de Santa Marta (Mag.), para 1981-1983 (HIMAT, *com. pers.*).

mente alcanza los 55 mm anuales (HIMAT, *com. pers.*). En la figura 6 aparecen los vientos medios durante las distintas campañas realizadas en el Crucero OCEANO IV (DIMAR, 1979) y en la figura 7, el régimen de vientos registrados en los aeropuertos de Riohacha y Santa Marta (HIMAT, *com. pers.*). Como puede observarse el régimen de vientos no es muy fuerte durante la mayor parte del año, tiene dirección al este, de la posición de la zona de convergencia intertropical y posee una velocidad promedio anual de 7 nudos.

La observación de los totales de precipitación entre 1972 y 1983 así como el análisis de las imágenes obtenidas por el satélite GOES, indican una correspondencia más o menos directa entre el Fenómeno del Niño, el índice de variabilidad interanual de la Oscilación Sur y la ausencia de precipitación en la Guajira. La relación es bastante clara, en épocas conocidas como de "gran sequía", así como las observadas en los bienios 1972-1973, 1976-1977, 1982-1983 (Fig. 8); la señal es igualmente notoria en la estación meteorológica de Santa Marta (Fig. 5,7).

Recientemente y a nivel mundial se acordó la integración del análisis del Niño (EN) con el del índice de la Oscilación del Sur (SO) así, la relación de estos dos

eventos locales, ha permitido una visión más amplia del fenómeno que ahora se denomina ENSO y el análisis del mismo, como un acontecimiento de la interacción oceano-atmósfera (Zea, 1986).

### 3. Aspectos Oceanográficos

Se denomina surgencia al movimiento ascendente de aguas subsuperficiales que llegan a la superficie por causa del viento o de la divergencia geostrofica. Este fenómeno se detecta en aguas tropicales por la presencia de bajas temperaturas y altas salinidades en la superficie.

En el caso de las aguas adyacentes a la península de la Guajira, el fenómeno de surgencia se produce por acción del viento como ha sido registrado por Wust (1984), Pelroth (1971), Fajardo (1978), Corredor (1979).

La acción del viento sobre la superficie del mar, fue estudiada matemáticamente por Ekman (1905), quien explicó que el transporte de las aguas superficiales era producido por la fricción del viento hacia la derecha de su dirección, cuando éste es paralelo a la línea de costa.

De tal forma, el agua infrayacente rica en nutrientes y oxígeno disuelto asciende con condiciones más propicias para el desarrollo de los organismos vivos.

Para el presente estudio se han utilizado los datos obtenidos por la Armada Nacional (DIMAR, 1973a, 1973b, 1976, 1979) en los cruceros CICAR II (octubre 1972), CICAR III (marzo 1973), OCEANO II (septiembre, noviembre 1972), OCEANO IV (abril, mayo, noviembre 1975) y GUAJIRA 85. En todas las estaciones oceanográficas se hicieron mediciones en la columna de agua en profundidades estándar, utilizando el método clásico de observaciones y cálculos para la profundidad, temperatura, salinidad y densidad.

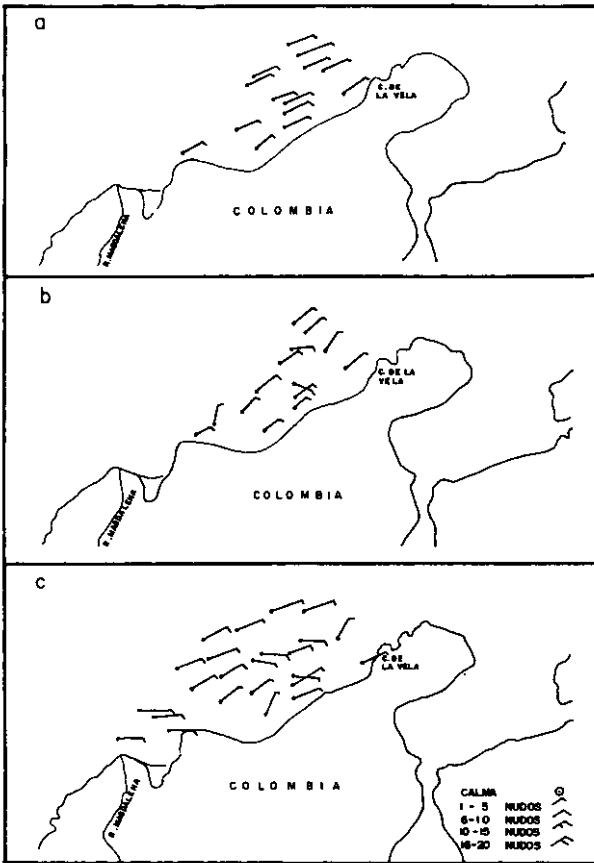


Figura 6. Distribución de los vientos en el área de estudio durante las campañas a (abril), b (mayo), c (noviembre) del crucero OCEANO IV realizado en 1975.

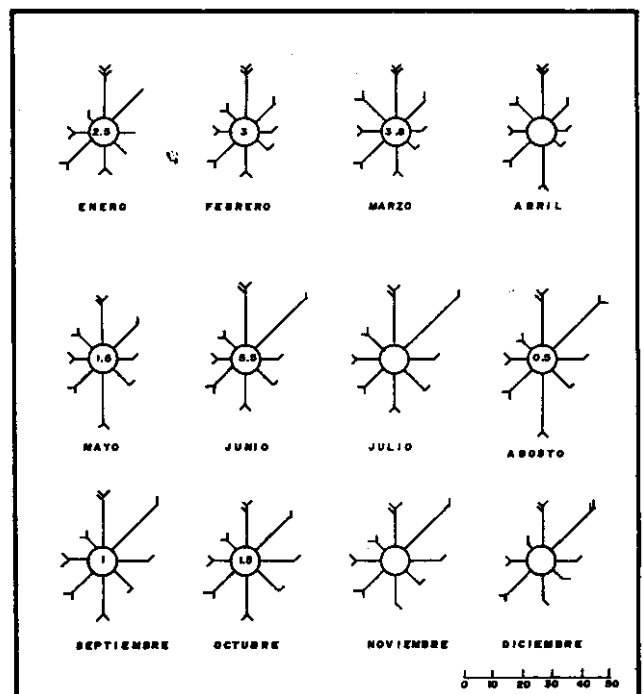
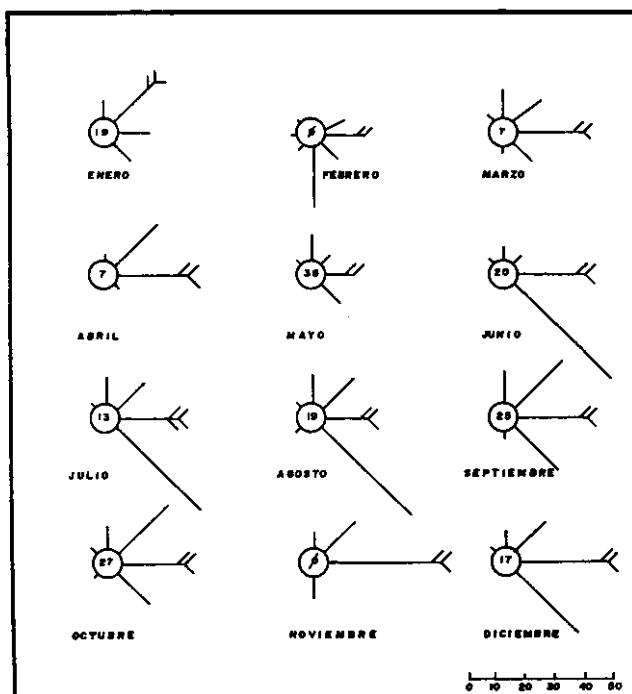


Figura 7. Regimen de vientos en el área de estudio, utilizando la escala de Beaufort, con base en los datos de los aeropuertos (a) Almirante Padilla de Riohacha (Gua.), y (b) Simón Bolívar de Santa Marta (Mag.), para 1981-1983 (HIMAT, com. pers).

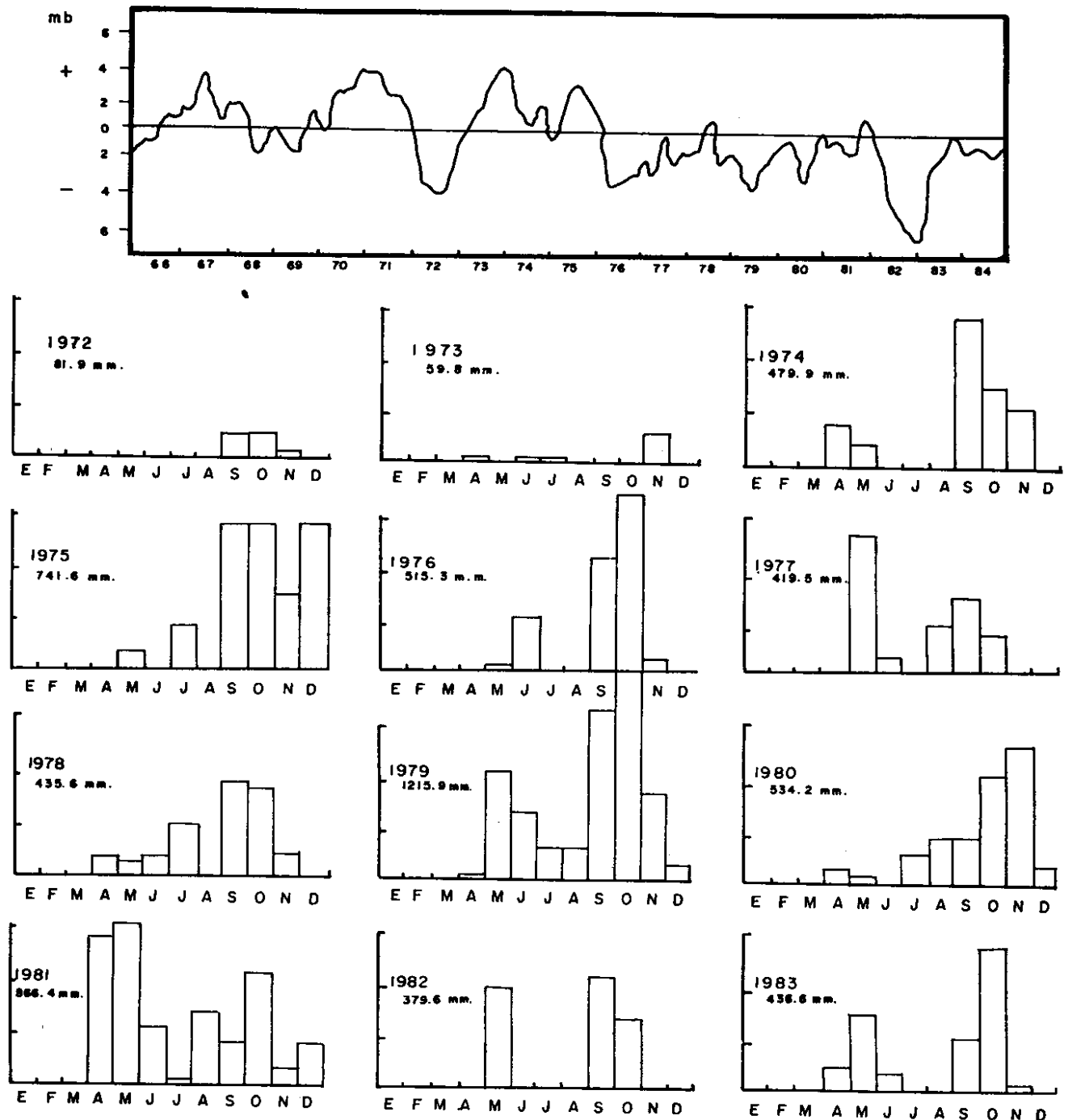


Figura 8. Índice de la Oscilación del Sur (Tahití vs. Darwin) en la parte superior. Precipitación mensual total (mm) con base en los datos del aeropuerto Almirante Padilla de Riohacha (Gua.) para 1972-1983 (HIMAT, *com. pers.*).

El procesamiento y corrección de la información se efectuó en los sistemas de cómputo del CIOH y el Centro Colombiano de Datos Oceanográficos CECOLDO, utilizando las fórmulas sugeridas por UNESCO y reconocidas para la época.

En la figura 9 y tabla 4, aparecen los transectos analizados para este estudio. En las figuras 10a y 10d se ofrecen los perfiles de temperatura con sus direcciones perpendiculares a la costa cerca del Cabo de la Vela, en diferentes épocas de muestreo. Tal como puede apreciarse en las campañas a y d hubo una fuerte surgencia, mientras que en las campañas b y c, la señal más débil está inhibida.

El comportamiento de la salinidad en los mismos transectos puede observarse en la figura 11a-d; las isohalinas permiten apreciar cuando la surgencia fue intensa (Fig. 11a y 11c) y cuando no (Fig. 11b); así mismo, el ascenso de los nitratos por la acción de la surgencia (Fig. 12).

La distribución superficial de la densidad ( $T_t$ ) durante septiembre de 1972 (Fig. 13), evidencia la presencia de aguas más densas hacia la costa en la península de la Guajira, asociada a la señal de surgencia detectada anteriormente. En las figuras 14 a-d, se puede observar además, que en las ocasiones en las cuales hubo surgencia, la inclinación de las isopicnas fue mucho mayor

**Tabla 4.** Situación geográfica de las estaciones utilizadas en el presente estudio y realizadas en el ARC - San Andrés.

Estación	Latitud	Longitud	Crucero	Fecha
C-1	11° 40' N	73° 00' W	Oceano II	01-02-Nov-72
C-2	11° 51'	73° 00'		
C-3	12° 00'	73° 00'		
C-4	12° 19'	73° 00'		
C-5	12° 41' N	73° 00' W	Oceano IV	01-03-Abr-75 26-28-May-75
68	12° 06'	72° 25'		21-24-Nov-75
69	12° 20'	72° 38'		
70	12° 33'	72° 33'		
76	13° 43' N	72° 50' W	Oceano IV	04-30-Abr-72
77	13° 29'	72° 39'		21-24-Nov-75
78	13° 10'	72° 26'		
79	12° 52'	72° 16'		
80	12° 36'	72° 05'		
81	12° 28'	71° 55'		

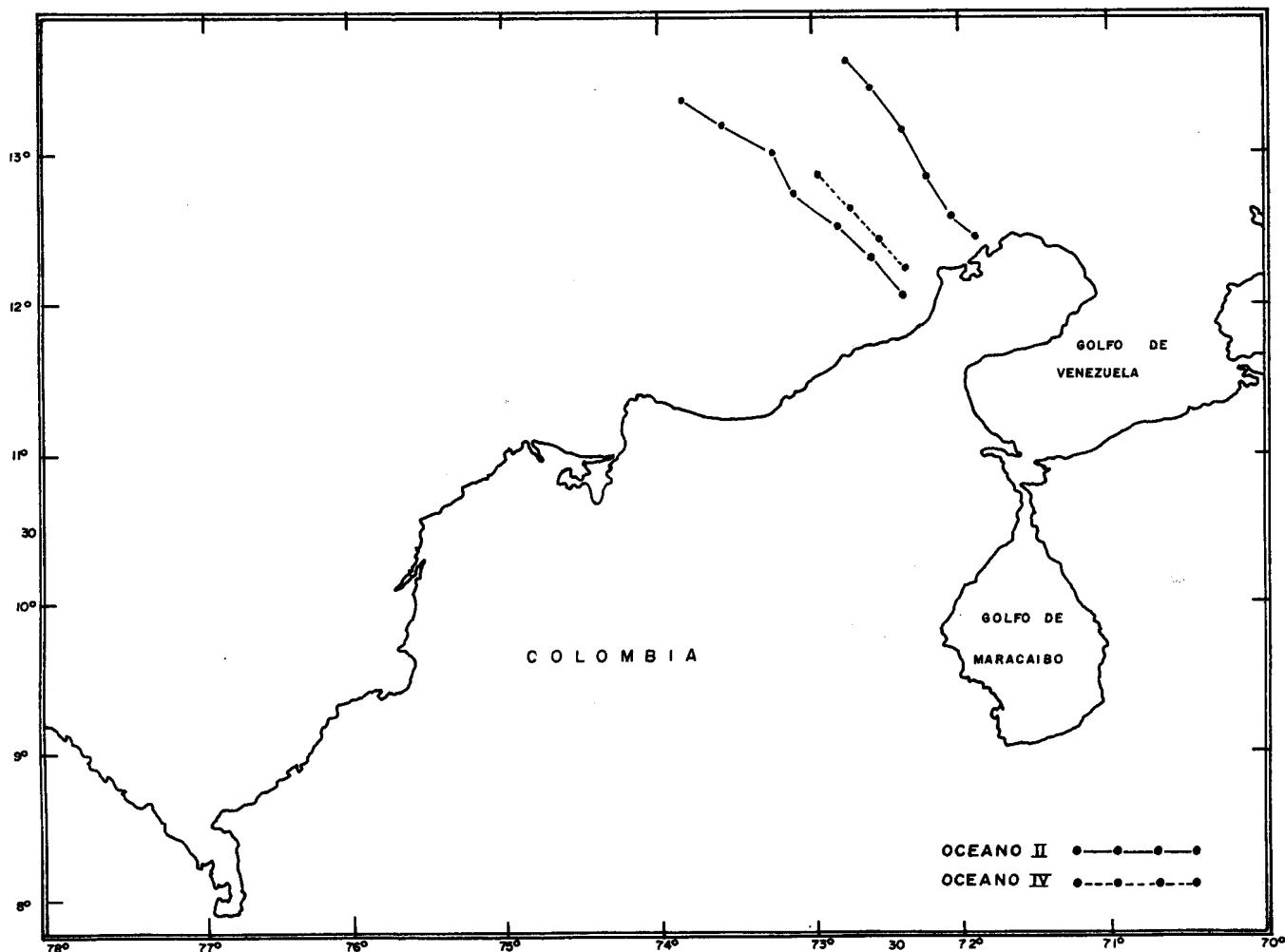
que en los otros casos y por consiguiente, esta condición baroclínica también es señal del fenómeno.

Las anteriores observaciones tienen su confirmación en el cálculo de las diferencias de nivel del mar por estratificación de masa (nivel estérico). Efectivamente, se pudo evidenciar como en los muestreos en los cuales se observó surgencia, septiembre 1972 y abril 1975, la inclinación del nivel del mar tuvo mayor pendiente, en comparación con las observaciones en las cuales no se presentó el fenómeno (Fig. 15).

#### 4. Aspectos Biológicos

Aunque sólo en contadas ocasiones ha sido posible realizar cruceros y actividades de investigación interdisciplinaria, se ofrece una síntesis de los esfuerzos realizados por instituciones e investigadores.

Ciertamente sus resultados han permitido a través del tiempo, obtener valiosa información de la incidencia que sobre los recursos marinos tiene la surgencia de la Guajira colombiana. No hay duda que la información disponible es insuficiente en diversos campos del conocimiento integral de un fenómeno caracterizado por diferentes componentes, complejas conexiones e interdependencias no bien conocidas, pero se aspira con el presente esfuerzo, ofrecer un marco teórico con una base amplia y completa, para programas futuros de investigación.



**Figura 9.** Localización de las estaciones oceanográficas utilizadas para el presente estudio y realizadas por los cruceros OCEANO II Areas 2 y 3 en 1972 y OCEANO IV Areas 2 y 3 en 1975.

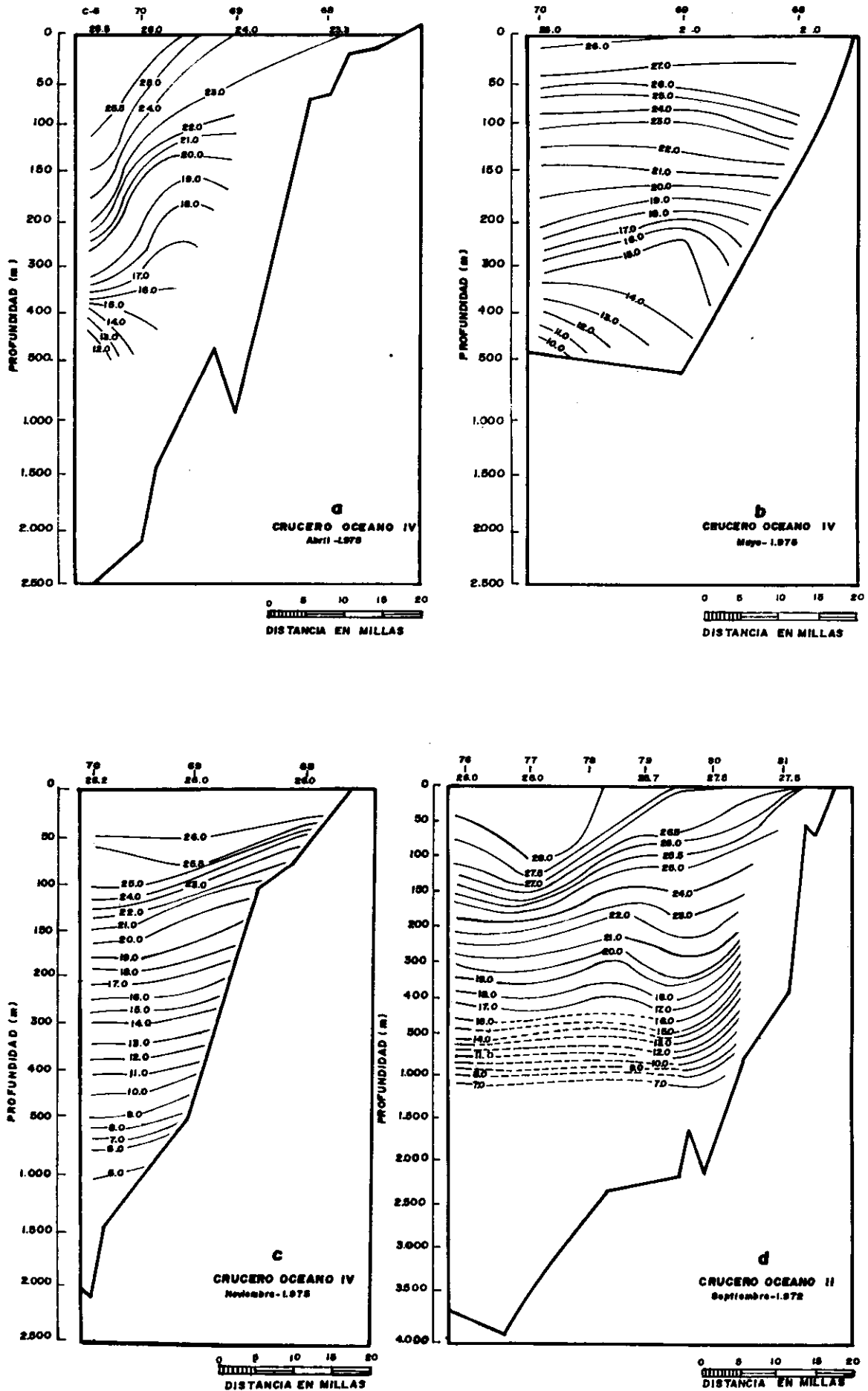


Figura 10. Distribución vertical de la temperatura (°C) en los transectos 68-C5 y 76-81 de las campañas de abril, mayo, noviembre (OCEANO II de 1972), a bordo del B/O San Andrés.

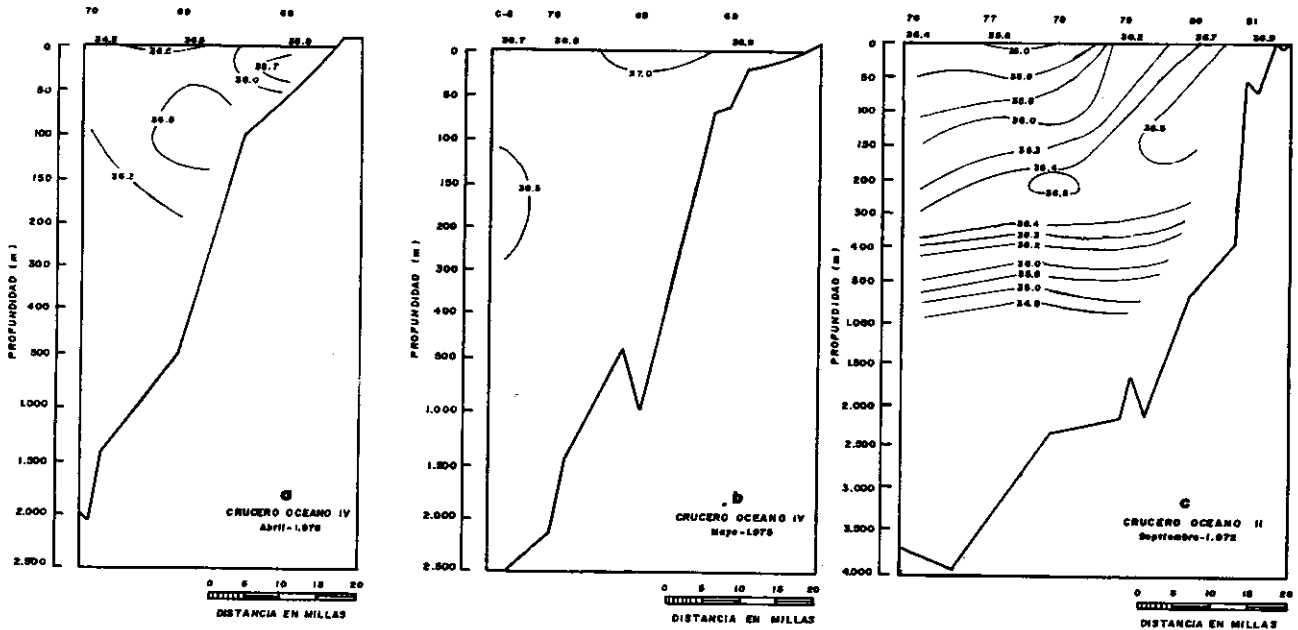


Figura 11. Distribución vertical de la salinidad (‰) en los transectos 68-C5 y 76-81 de las campañas de abril, mayo, septiembre. (los cruceros OCEANO II y IV de 1972 y 1975), a bordo del B/O San Andrés.

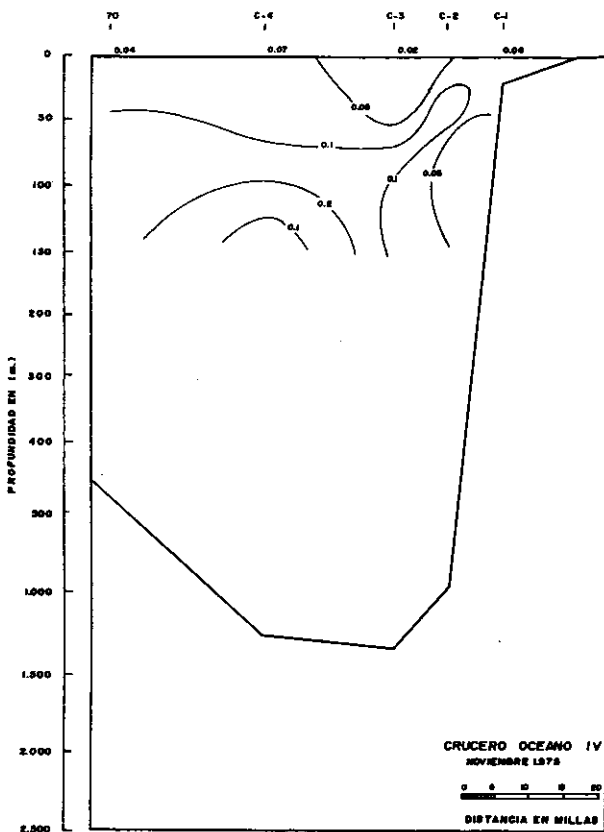


Figura 12. Distribución vertical de los nitritos ( $\text{NO}_2$ ) en los transectos 70-C1 durante noviembre de 1975 (OCEANO IV), a bordo del B/O San Andrés.

El análisis incluye el área por la surgencia (Dibulla-Punta Gallinas) y desde algas cianófitas hasta vertebrados como los peces.

#### Producción Primaria

Entre las pocas evaluaciones realizadas se observan diferencias considerables, sin embargo ellas permi-

ten situar el núcleo de la Guajira como relativamente estudiado.

Steemann-Nielsen y Jensen (1957), Curl (1960) y Margalef (1971), hacen una serie de consideraciones sobre la producción en el Caribe y en ellas resaltan las surgencias del norte de Suramérica, especialmente la del noroeste del Caribe; Bogdanov *et al.* (1968), detectan una biomasa planctónica de 100-300  $\text{mg}/\text{m}^3$  frente a la Guajira; Ray *et al.* (1972), para la misma zona citan concentraciones de clorofila a ( $100\text{-}300 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) y carbono orgánico ( $250\text{-}500 \text{ mg C}/\text{m}^2/\text{día}$ ); Corredor (1979), en aguas superficiales de máxima densidad  $12^\circ \text{N}\text{-}75^\circ \text{W}$  aprox.) halló  $1.32 \text{ mg cl.}/\text{m}^3$  y  $107.8 \text{ C}/\text{m}^2/\text{h}$ , respectivamente.

#### Fitoplancton

Corredor (1979) discutió la relación entre el foco de enriquecimiento de nitrógeno frente al Cabo de la Vela, así como la presencia y distribución de *Oscillatoria* (*Trichodesmium*) sp. en aguas de marcada estratificación, tal como ocurre en otras latitudes donde se presenta surgencia.

#### Zooplancton

Los estudios realizados en el Caribe por Owre y Foyo (1971), ofrecen una lista de copépodos calanoideos, ciclopoideos y harpacticoideos de la región; Avila de Tabares (1981), da a conocer como los copépodos y quetognatos eran los organismos más abundantes durante octubre de 1970, frente a Punta Percy; similares resultados registran a Avila de Tabares y Rentería de Monsalve (1981), para el Cabo de la Vela y Punta Taroa, donde copépodos, quetognatos y apendicularios fueron los más representativos durante diciembre de 1972. Más recientemente, López y Meza (1983), asocian la distribución de celenterados, pterópodos y copépodos a los valores de temperatura y salinidad, registrándose varias especies características de aguas pelágicas profundas.

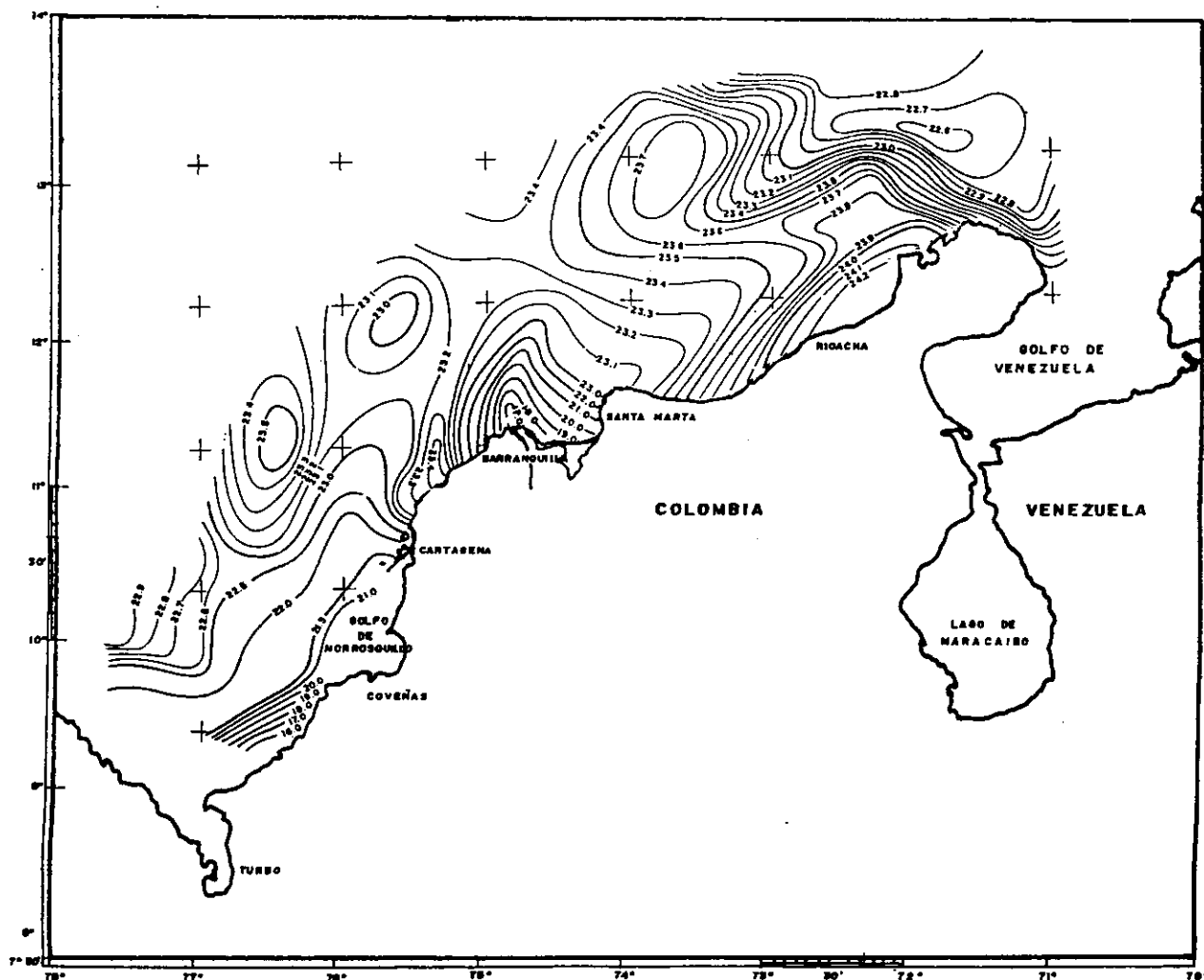


Figura 13. Distribución superficial de sigma-T ( $T_t$ ) durante septiembre de 1972, en el crucero (OCEANO II), a bordo del B/O San Andrés.

### Recursos Demersales

Las evaluaciones efectuadas con redes de media agua a partir de 1964 a bordo del R/V Oregon se han comprobado y precisado a través de los diferentes proyectos internacionales, registrándose una abundancia considerable de pargos y pacoras, especialmente *Lutjanus synagris* y *Micropogonias furnieri*, con capturas máximas frente al Cabo de la Vela, de 1.300/1b/h y 150/1b/h, respectivamente.

López-Salgado (1972) evaluó el potencial de calamares como fauna incidental del camarón de aguas someras y encontró que *Doryteuthis plei* se concentra y alcanza sus mayores tallas en el sector de Carrizal - Punta Castilletes; De Nogales (1974) atribuye las tallas y pesos mayores observados en el pargo chino *L. synagris* al efecto benéfico de la surgencia. Mora et al. (1981a, 1981b), utilizando palangres verticales, obtuvieron capturas de 0.4 - 27 kg/100 anz. de *L. vivanus* 1.9 kg/100 anz. de *Epinephelus* spp. y 10 kg/100 anz. de varias especies de tiburones.

### Recursos Bentónicos

Analizando la plataforma, frente a Riohacha, Ramírez (1982) registró dos tipos de asociación entre

foraminíferos: dominio marino encontrando que en este último existen ocho especies típicas del circalitoral, las cuales son indicadores de la surgencia y de la estrecha relación existente con el cañón submarino adyacente a la plataforma, formado por el antiguo lecho y cauce del río Ranchería.

Tradicionalmente, la pesca en estas áreas se desarrolla a través de las comunidades de pescadores artesanales, los cuales capturan peces, langostas, ostras y tortugas, y de la flota camaronera industrial que captura principalmente *Penaeus brasiliensis*, *P. notialis* y *P. subtilis* así como fauna incidental bastante apreciada. Precisamente con base en esta fauna se han podido evaluar diversos recursos pesqueros de importancia comercial: pargo chino (*L. synagris*), pacora (*M. furnieri*), ojo gordo (*Selar crumenophthalmus*), sierra (*Scomberomorus brasiliensis*), perla (*Lepophidium brevibarbe*), así como detectar su composición y variación estacional.

Las faenas de pesca exploratoria (1964-1981), así como las realizadas a nivel comercial en el corto histórico de la pesca industrial (1975-1987) muestran en la zona un promedio de capturas por unidad de esfuerzo, que supera en peso, tamaño y estado de bienestar, a las obtenidas en suroeste del Caribe Colombiano (Tabla 5).



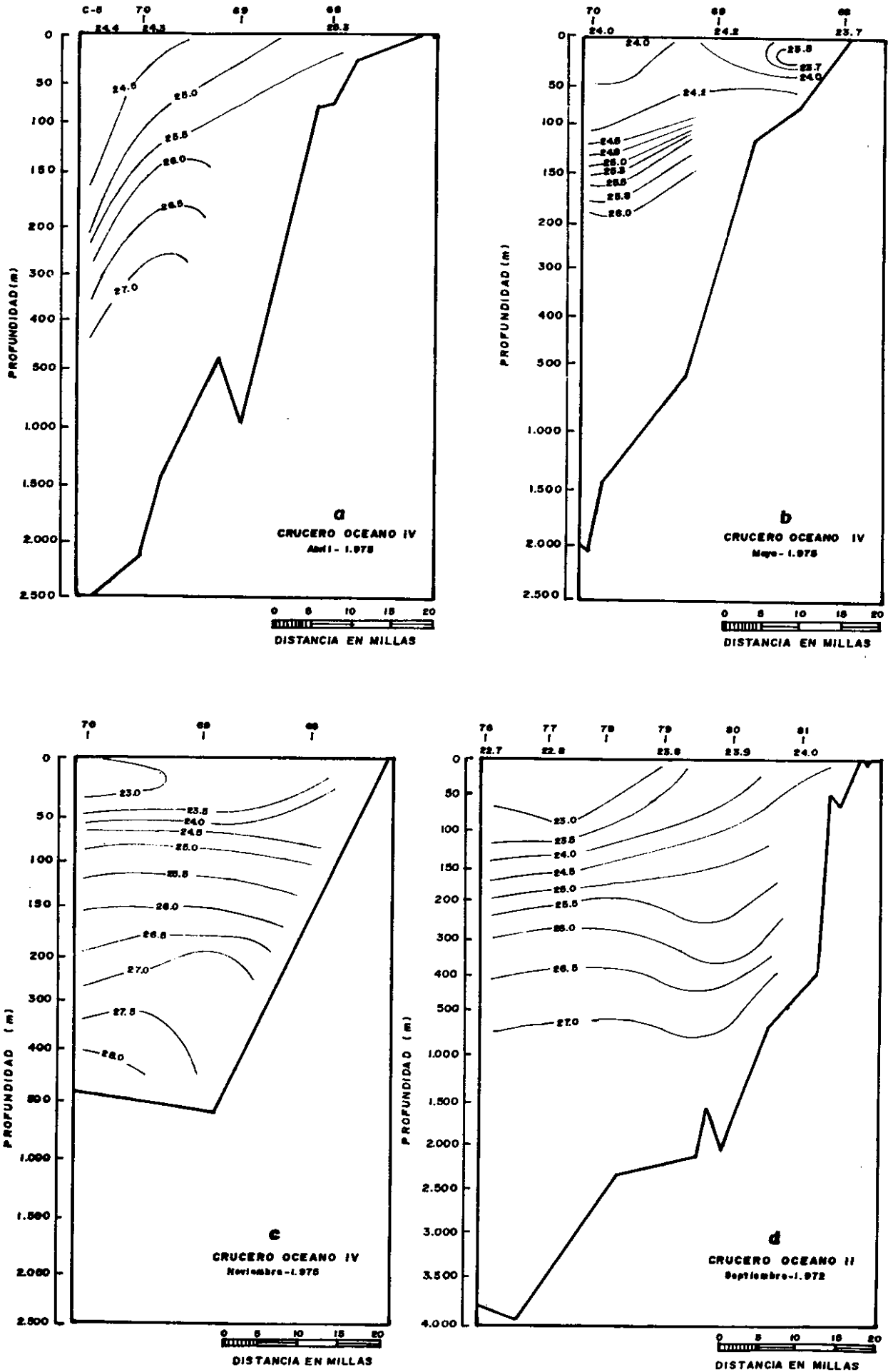


Figura 14. Distribución vertical del sigma-T (Tt) en los transectos 68-C5 y 76-81 de las campañas de abril, mayo, noviembre, (OCEANO IX de 1975) y de septiembre (OCEANO II de 1972), a bordo del B/O San Andrés.

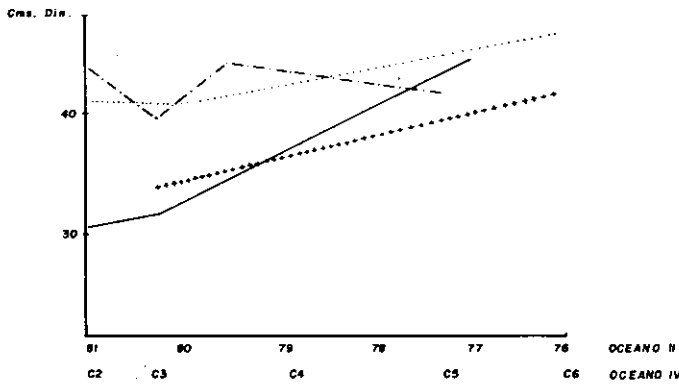


Figura 15. Altura del nivel del mar con referencia a 150 db para cuatro épocas diferentes: septiembre-octubre de 1972 (....), marzo (++++) , abril (---) y noviembre (.-.-.-) de 1975 (C2-C6, OCEANO II) (transectos 76-81, OCEANO IV), a bordo del B/O San Andrés.

**Recursos Pelágicos**

Directamente asociados a los afloramientos se encuentran dos grupos de peces: los pelágicos que penetran en las zonas costeras, buscando alimento y en concentraciones altas, principalmente en las horas de la noche (*Thunnus albacares*, *T. atlanticus*, *Scomber colias*, *S. japonicus*, *Euthynnus alleteratus*, *Decapterus macarellus*, *D. punctatus*, *Echeneis naucrates*) y los pelágico-costaneros que permanecen en movimiento en estos dos dominios en respuesta a necesidades reproductivas y alimenticias (*Anchoa spinifer*, *Caranx hippos*, *Opisthonema oglinum*, *Sardinella aurita*, *S. brasiliensis*, *Selar crumenophthalmus*, *Scomberomorus brasiliensis*, *Trachurus luthami*). Varios cruceros de pros-

pección acústica pesquera han encontrado que entre Dibulla-Cabo de la Vela se presenta una alta concentración de especies (101 peces / milla navegada), una menor dispersión de especies y por tanto una pesca potencialmente buena (1.211 kg/h) (MinAgricultura *et al.*, 1980). Así mismo, asociando los sondeos con la temperatura y salinidad, se pudo observar cómo la presencia de la plataforma incide favorablemente en las concentraciones de peces; Blanco-Racedo (1986) registra la penetración de especies pelágicas y pelágico-constaneras precisamente, en la zona mencionada.

**Conclusiones**

La distribución de los sedimentos en el área de estudio, se caracterizó por la presencia de material bioclástico, asociado al fenómeno de la surgencia; dicho material en su mayoría está constituido por restos de algas calcáreas, estimándose la cantidad de carbonato de calcio disponible en el área en  $6.6 \times 10^9$  toneladas.

La ocurrencia del Fenómeno del Niño - Oscilación del Sur (ENSO) al parecer coincide con la marcada disminución de la precipitación en la zona de surgencia, por lo menos con base en la información disponible (Fig. 8).

Entre noviembre 1992 y febrero 1983 la mayor parte de las zonas Andina y Caribe presentaron una notable tendencia hacia el déficit de lluvias, teniendo su máxima manifestación en la región de Urabá, donde los valores mensuales solo alcanzan el 5% menos, con relación a las normales (Zea, 1986).

Tabla 5. Desembarques de camarón entero (especies mezcladas) provenientes de las zonas noroeste y suroeste del Caribe colombiano de 1972-1987 (INDERENA, *com.pers.*). Los desembarcos corresponden a la flota camaronera que opera con base en Cartagena y Tolú. Los datos de Pestolu se incluyen desde 1986.

Año	Norte			Año	Sur		
	Captura Tons.	Esfuerzo Km <sup>2</sup>	C.P.U.E. Kg./Km <sup>2</sup>		Captura Tons.	Esfuerzo Km <sup>2</sup>	C.P.U.E.
1972	623.00	5610.06	111.05	1972	1109.60	12344.40	89.89
1973	492.80	4766.04	103.40	1973	1042.80	9021.78	115.59
1974	665.60	6277.50	106.03	1974	1003.00	12535.56	80.01
1975	655.50	7003.26	93.60	1975	992.50	12495.06	79.43
1976	1038.40	6883.36	150.86	1976	853.80	10679.04	79.95
1977	815.60	8289.54	98.39	1977	930.20	12862.80	72.32
1978	518.10	10345.17	50.08	1978	973.90	23506.23	41.43
1979	645.80	8958.73	72.09	1979	949.80	18471.53	51.42
1980	778.50	9907.48	78.56	1980	764.10	9745.56	78.00
1981	1026.60	15407.70	66.63	1981	705.00	13654.41	51.63
1982	1130.40	15316.62	73.80	1982	634.50	11622.82	54.59
1983	815.70	14529.79	56.14	1983	636.20	19149.57	33.22
1984	1004.80	14587.98	68.88	1984	541.40	8774.04	61.70
1985	1302.86	22618.20	57.60	1985	811.52	22838.04	32.50
1986	1275.10	27412.55	46.52	1986	704.17	21834.04	32.25
1987	1118.62	21593.80	51.80	1987	758.56	21057.78	36.02

Tabla 6. Posibles especies indicadoras de la surgencia en la Guajira colombiana.

Taxa	Fuente
<b>Cyanoficeas</b>	
<i>Oscillatoria (Trichodesmium) sp.</i>	6
<b>Celenterados</b>	
<i>Aglaura hemistoma</i> Peron & Lesueur	7
<i>Dymophyes artica</i> (Chum)	7
<i>Muggidea atlantica</i> Cunninham	7
<b>Pteropodos</b>	
<i>Limacina trochiformis</i> (D' Orbigny)	7
<b>Ostracodos</b>	
<i>Cytherella grossmani</i> Benson & Coleman	11
<i>C. pandora</i> Kornicker	11
<i>Cytherelloidea proecipua</i> Bold	11
<i>C. cf. sarci</i> Puri	11
<i>Cytheropteron alatum</i> Sara	11
<i>Eucythere complexa</i> Brady	11
<i>Paracypris contracta</i> (Jones)	11
<i>Phyctocythere pellucida</i> (Muller)	11
<b>Calamares</b>	
<i>Doryteuthis plei</i> Blainville	8
<b>Peces</b>	
<i>Anchoa spinifer</i> (Valenciennes)	2,10
<i>Caranx hippos</i> Linnaeus	12
<i>Decapterus macarellus</i> (Cuvier)	4
<i>D. punctatus</i> (Agassiz)	4
<i>Echeneis naucrates</i> Linnaeus	2
<i>Euthynnus alleteratus</i> (Rafinesque)	2,14
<i>Opisthonema oglinum</i> (Le Seur)	9,10,13
<i>Sardinella aurita</i> Valenciennes	2,3,16
<i>S. brasiliensis</i> (Steindachner)	3,4
<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch)	1,4
<i>Scomber colias</i> Gmelin	2
<i>S. japonicus</i> Houttuyn	4
<i>Scomberomorus brasiliensis</i> Collete,	
Russo & Zavala-Camin	14
<i>Thunnus albacares</i> (Bonnaterpe)	15
<i>T. atlanticus</i> (Lesson)	5
<i>Trachurus luthami</i> Nichols	2

Fuente:

1. Alvarez-León (1972); 2. Baruque (1978);
3. Ben-Tuvia (1964); 4. Blanco-Racedo (1986);
5. Bullis (1965);
6. Corredor (1977);
7. López & Mesa (1983);
8. López Salgado (1972);
9. Maduro (1971);
10. Palacio (1974);
11. Ramírez (1983);
12. Ríos (1975 a);
13. Ríos (1975 b);
14. Ríos (1961);
15. Sokolov (1967);
16. Testaverde (1972).

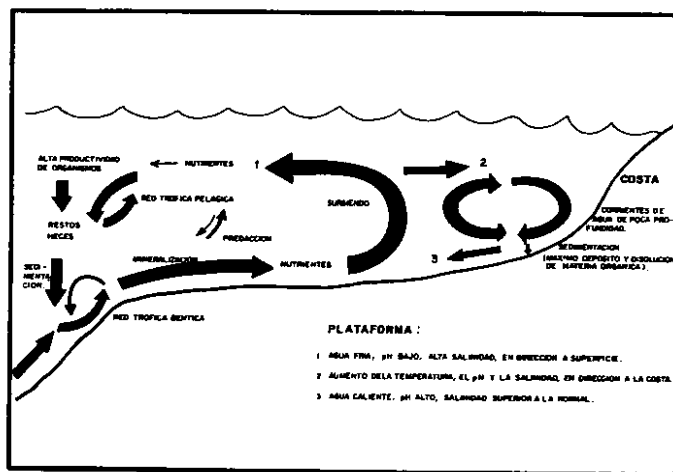


Figura 16. Esquema del área de surgencia, donde se indican las relaciones trofo-dinámicas en los diferentes ecosistemas.

De la revisión bibliográfica y del análisis retrospectivo de la información biológica, se hallaron 30 especies como posibles indicadores del fenómeno de surgencias (Tabla 6) de acuerdo a su distribución, comportamiento y frecuencia en la zona de estudio. Así mismo, se esquematizaron las relaciones trofo-dinámicas que tienen lugar en el área de surgencias (Fig. 16).

El análisis de la fauna de pesca exploratoria (1964-1981) y pesca industrial (1975-1987) demuestra como las condiciones de especial riqueza, generadas por la surgencia, dan lugar a capturas de mayor peso individual total, mayor talla y estado de bienestar promedio, si se les compara con las capturas realizadas en las mismas épocas, al suroeste del Caribe colombiano (Tabla 5).

### Recomendaciones

Incentivar los estudios paleontológicos sobre muestras geológicas obtenidas en perforaciones petroleras y/o provenientes de columnas sedimentarias, a fin de poder cuantificar los organismos indicadores.

Aprovechar localmente la abundancia de  $\text{CaCO}_3$  en la plataforma puesto que con base en estudios detallados se podría evaluar la factibilidad de constituirse en un recurso potencial de materia prima con fines semindustriales. La baja demanda nacional de este compuesto representaría un limitante natural a cualquier sobreexplotación sobre este recurso.

La probable relación entre la ocurrencia del ENSO y la sequía en la Guajira es un hecho que permitiría la prevención con cuatro meses de anticipación y el poder tomar las medidas preventivas conducentes.

El utilizar altímetros en satélites, en una órbita escogida, permitirá hacer un seguimiento continuo de la surgencia. Misiones espaciales como GEOS, TOPEX y ERS-I (entre otros), sin ningún tipo de interferencia meteorológica, permitirán tener esta información en forma inmediata.

Incentivar los estudios costeros en el área de la Guajira para poder ir contemplando el conocimiento que se tiene del fenómeno de surgencia en esa área.

Organizar cruceros interdisciplinarios al núcleo de surgencia de la Guajira permitiría realizar un monitoreo

secuencial en las diferentes épocas para evaluar las fluctuaciones a través del año y predecir sus efectos en los recursos vivos.

No hay duda que la información disponible en muchas disciplinas es todavía insuficiente, pero el desarrollo de nuevos y adecuados programas de investigación, necesariamente deberán tener en cuenta la valiosa información existente. De la correlación de los diferentes aspectos y parámetros deberán surgir las acciones complementarias, con el objetivo de realizar un óptimo aprovechamiento de los recursos vivos.

### Agradecimientos

A los organizadores de VI Seminario Nacional de las Ciencias y Tecnologías del Mar celebrado en Buenaventura entre noviembre 25-29 de 1986, por permitir la exposición y discusión de la presente contribución, primer intento de integración interdisciplinaria de las investigaciones nacionales y extranjeras, en una de las áreas más interesantes de nuestro Mar Caribe. Especial reconocimiento al doctor Fernando Robles Secretario Principal Adjunto de IOCARIBE, por la lectura crítica del manuscrito, las sugerencias y el estímulo para mejorar varios aspectos del manuscrito original.

### Bibliografía

- Alvarez-León, R. 1972. Contribución al conocimiento biológico del *Selar crumenophthalmus* (Bloch, 1793) (Pisces: Carangidae) en el Caribe Colombiano. Tesis Profesional. Facultad Ciencias del Mar, Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 58p.
- \_\_\_\_\_. 1985. Evaluación de los recursos demersales del Caribe colombiano. Cap. 11, pp. 511-570 In: Yañez Arancibia, A (ed.). Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón. PUAL/ICML/INP/UNAM, México D.F., 748 p.
- Avila de Tabares, G. 1981. Zooplancton de la media y alta Guajira (B/I Chocó, Crucero A-7015). INDERENA-Rev. Divulgación Pesquera, 15 (1): 1-6.
- \_\_\_\_\_. & B.C. Rentería de Monsalve. 1981. Zooplancton de la media y alta Guajira (B/O Discoverer, Crucero NOAA CARIB 1972). INDERENA-Rev. Divulgación Pesca, 15 (5): 1-17.
- Baruque, E. 1976. Peces colectados en la Península de la Guajira. Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 81 p.
- Ben-Tuvia, A. 1969. Report on the fishery resources investigations in Colombia. Proj. INDERENA-FAO Mar. Fish Develop. Col. 66/522. Bogotá D.E. Tech. Rep., 1: 1-54.
- Blanco-Racedo, J. 1986. Resultados del crucero de prospección acústico-pesquera, pp. 127-150 In: Hernández-Rodríguez, A. (ed.). Informe final proyecto piloto de evaluación para el desarrollo de las pesquerías artesanales en la región de Santa Marta. COLCIENCIAS/CIID/FES. Bogotá D.E., 261 p.
- Bogdanov, D.V., V.A. Sokolov & N.S. Khromov. 1968. Regions of high biological and commercial productivity in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Oceanology, 8 (3): 371-381.
- Bullis, H.R. Jr. 1964. R/V Oregon Cruce Report N°. 92, USDI / FWS / BCF Region II, Pascagoula. Miss., Draft 1: 1-8.
- \_\_\_\_\_. 1965. R / V Oregon Cruce 04 (September 14 - October 30). USDI / FWS / BCF Region II, Pascagoula. Miss., Draft 1: 1-3.
- \_\_\_\_\_. 1968. R / V Oregon II Cruce 4 (November 12 - December 14). USDI / FWS / BCF Region II, Pascagoula. Miss., Draft 1: 1-3.
- Corredor, J. 1974. Cruce Report R / V Columbus Iselin (C-7404) (April 17-23). RSMAS- Univ. of Miami. Draft, 1: 1-8.
- \_\_\_\_\_. 1977. Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean Sea. FAO. Fish. Rep. 200: 101-114.
- \_\_\_\_\_. 1979. Phytoplankton response to low / level / nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean Basin. Deep Sea Res. 26A: 731-741.
- Cuignon, R. 1985. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano (Manaure-Punta Gallinas). Proy. COLCIENCIAS-CIOH, Cartagena (Bol.) Inf. Técnico: 1-23.
- Cuignon, R., O. Javelaud, G. Vernet & S. Leble. 1985. Estudio sedimentológico de la plataforma continental del Mar Caribe Colombiano. 1°. Congreso Lat. -Amer. sobre Ciencias del Mar. Santa Marta (Mag.). Colombia, Nov. 25-29, 13p.
- Curl, H. Jr. 1960. Primary production measurements in the north coastal waters of South America. Deep. Sea Res., 7: 183-189.
- De Nogales, C. 1974. Contribución al estudio biológico pesquero del pargo chino *Lutjanus synagis* (Linnaeus) en el Caribe colombiano. Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 69p.
- Dimar. 1973a. Informe de datos oceanográficos, CICAR II. Armada Nacional de Colombia. Bogotá D.E. DIVOC-CECOLDO, DO-7: 1-22.
- \_\_\_\_\_. 1973b. Informe de datos oceanográficos, CICAR III. Armada Nacional de Colombia. Bogotá D.E. DIVOC-CECOLDO, DO-17: 1-24.
- \_\_\_\_\_. 1976. Informe de datos oceanográficos, OCEANO II. Armada Nacional de Colombia. Bogotá D.E. DIVOC-CECOLDO, DO-13: 1-38.
- \_\_\_\_\_. 1979. Informe de datos oceanográficos, OCEANO II. Armada Nacional de Colombia. Bogotá D.E. DIVOC-CECOLDO, DO-01: 1-222.
- Duque-Caro, H. 1972. Ciclos tectónicos y sedimentarios en el norte de Colombia y su relación con la paleoecología. Bol. Geol. Invest. Min. 19 (3): 1-23.
- Ekman, J.W. 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. Arkiv. F. Matem., Astr. O. Fysik Stockholm, 2: 1-11.
- Fajardo, G. 1978. Surgencia costera en las proximidades de la península de la Guajira. Bol. Cientif. CIOH, 2: 7-19.
- Febres-Ortega G. 1972. Isonosteric analysis of the eastern Caribbean waters during winter. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 11: 19-34.
- Fukuoka, J. 1971. Coastal upwelling and sinking in the Caribbean Sea, specially about the existence of the under current, pp. 123-142 In: Costlow, J.D. Jr. (ed.) Fertility of the sea. Gordon & Breach Sci. Publ. Inc. New York; 1, 308 p.
- Gordon, A.L. 1967. Circulation of the Caribbean Sea. J. Geophys. Res., 72: 6207-6223.
- Heald, E.J. & R.C. Griffiths. 1967. Determinación por medio de la lectura de escasas, de la edad de la sardina *Sardinella anchovia* del Golfo de Cariaco, Venezuela oriental. Proy. MAC / PNUD / FAO, Inv. Des. Pesq. Ser. Rec. y Expl. Pesq., 1 (10): 375-446.
- Javelaud, O. 1984. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano (Santa Marta-Cabo de la Vela). Proy. COLCIENCIAS-CIOH. Cartagena (Bol.). Inf. Técnico: 1-32.
- Jica. 1981. Informe de la investigación sobre recursos pesqueros marítimos de la República de Colombia. Proy. INDERENA-JICA para el Desarrollo de la Investigación en Recursos Pesqueros Marítimos. Tokio (Japón) Bogotá D.E. (Colombia). FDI / JR / 81-82: 15-32.
- Klima, E.F. 1970. R / V Oregon II Cruce 22 (October 20-December 4). USDC/NOAA/NMFS. Pascagoula, Miss., Draft 1: 1-7.
- Lahey, J.F. 1973. On the origin of the dry climates in the Northern South American and the Southern Caribbean. Chapter 10 pp. 75-90 In: Amiron, D. & A. Wilson (eds.) Coastal deserts, their human and natural environment. Univ. of Arizona Press, Tucson (Ariz).
- Lecarpentier, C., G. Umaña & G. Vega. 1975. Estudio hidroclimático de la región del Caribe. Inst. Geograf. "Agustín Codazzi" Bogotá D.E., 77 p.

- López-Salgado, N. 1972. Loliginidos del Caribe colombiano. Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 79p.
- Maduro, V.E. 1971. Contribución al conocimiento de la biología y merística del machuelo *Opisthonema oglinum* (Lesueur) (Pisces: Clupeidae) del Caribe colombiano. Tesis profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 30p.
- Margalef, R. 1971. The pelagic ecosystem of the Caribbean Sea. pp. 483-498 In: Symp. CICAR I, Willemstad, Curacao N.A., Nov. 18-26, 1968: Publ. Esp. UNESCO.
- Mora, J.H., S. Ueda, O. Mora & M. Mochizuki. 1981a. Informe preliminar de la evaluación pesquera con palangue vertical en el Caribe colombiano, a bordo de la M/N Caribbean Star 2 (noviembre 1980-febrero 1981). Proy. INDERENA-JICA para el Desarrollo de los Recursos Pesqueros Marítimos. Bogotá D.E. Inf. Técnico (1): 1-18.
- \_\_\_\_\_. O. Mora, R. Alvarez-León, M. Mochizuki & S. Ueda. 1981b. Informe preliminar de la pesca con arrastre y palangre vertical en el Caribe colombiano, a bordo de la M/N Caribbean Star 2 (octubre 28-diciembre 26 1980). Proy. INDERENA-JICA para el Desarrollo de los Recursos Pesqueros Marítimos. Bogotá D.E. Inf. Técnico (2): 1-28.
- Minagricultura/Opsa/Inderenena. 1980. Recurso acuícola Costa Caribe. Cap. 1 pp. 33-46 In: Hernández-Rodríguez, A., R. Alvarez-León & B. Herazo-Piñeres (eds.). Bases Plan de Desarrollo del Subsector Pesquero Colombiano. Bogotá D.E., 274 p.
- Owre, H.B & M. Foyo. 1971. Studies on the zooplankton of the Caribbean Sea. pp. 503-508 In: Symp. CICAR I Willemstad, Curacao - N.A. Nov. 18-26, 1968: Publ. Esp. UNESCO.
- Palacio, F.J. 1974. Peces colectados en el Caribe colombiano por la Universidad de Miami. UBJTL - Bol. Mus. Mar, 6: 1-137.
- Pelroth, I. 1971. Distribution of mass in the near surface waters of the Caribbean. pp. 147-152 In: Symp. CICAR I, Willemstad, Curacao, Nov. 18-26, 1968: Pub. Esp. UNESCO.
- Ramírez, M.R. 1982. Contribución al conocimiento de los ostrácodos (Arthropoda-Crustacea) actuales de la plataforma continental frente a Riohacha y su relación con factores medio ambientales. Tesis Profesional. Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 135p.
- Ray, G.C., M.G. McCormick-Ray, R.V. Salm, D.G. Campell, J.A. Dobbin, N.E. Dobbin, V.E. Smith, K.R. Miller & A.D. Putney. 1979. Data Atlas (Preliminary): Planning a marine conservation strategy for the Caribbean Region. Critical Marine Habitats of the Wider Caribbean Area. UICN/WWF/UNEP/ECLA Reg. Seas. Prog. Suiza.
- Ríos C.E. 1975a. Contribución al estudio biológico del jurel, *Caranx hippos*. INDERENA-Rev. Divulgación Pesquera 5 (1): 1-11.
- \_\_\_\_\_. 1975 b. Observaciones biológico-pesqueras del machuelo *Opisthonema oglinum* de la Guajira. INDERENA-Rev. Divulgación Pesquera 5 (2): 1-22.
- \_\_\_\_\_. 1981. Contribución al estudio biológico-pesquero de la sierra *Scomberomorus maculatus* (Mitchill, 1815) en el Caribe colombiano. INDERENA-Rev. Divulgación Pesquera 16 (10): 1-22.
- Riveros, C.A. & P.E. Sarmiento. 1985. Contribución al conocimiento biológico de la perla *Lepophidium profundorum* (Gill, 1893) en el Litoral del Caribe colombiano. Tesis profesional. Fac. Biología Marina. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 65 p.
- Saiz, E. 1974. Estudio biológico pesquero de la pacora *Micropogonias furnieri* (Desmarest 1822) (Pisces: Sciaenidae) en el Caribe colombiano. Tesis Profesional Fac. Ciencias del Mar. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 46 p.
- Santacruz, H. 1969. Afloramiento producido en la Guajira. Nemo. Presem. Nal. Ciencias del Mar. Cartagena (Bol.) nov.: 101-113.
- Simpson, J.R. & R.C. Griffiths. 1971. Upwelling and biological production in the Gulf of Cariaco, Venezuela. Proy. MAC/PNUD/FAO Inv. Des. Pesquera., Ser. Rec. y Expl. Pesq. 2 (1): 1-27.
- Sokolov, V.A. 1987. Investigaciones sobre el atún en el Golfo de México y el Mar Caribe. pp. 63-79 In: Ramis-Ramos, H., V.A. Sokolov (eds.) Investigaciones Atuneras Cubano-Soviéticas. INPC-Contrib. Centro Invest. Pesqueras 23-26, 79p.
- Staiger, J.C. 1969. Narrative of R/V J. Elliot Pillsbury Cruise P-068 to the southern Caribbean Sea, July 6-August 3, 1968. RSMAS- Univ. of Miami. Preliminary. Rep. 1: 1-72.
- Stemmman-Nielsen, E. & E.A. Jensen. 1957. Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rep. 1: 49-136.
- Testaverde, S.A. 1972. Final report on the fishery resources of both coast (Caribbean and Pacific Ocean) of Colombia. March 1970-July 1972. UNDP (SF) FAO Marine Fisheries Development Project Col/66/522. Bogotá D.E. Final Draft: 1-42.
- Ueda, S., C. Garces, J.H. Mora, M. Mochizuki & O. Mora. 1980. Informe preliminar de la pesca exploratoria de arrastre en el Caribe colombiano, efectuada con la N/N/ Caribbean Star 2 (mayo-octubre 1980). Proy. INDERENA-JICA para el Desarrollo de los Recursos Pesqueros Marítimos, Inf. Técnico (2): 1-35.
- UW/DO. 1970. Physical chemical and productivity from a survey of the Caribbean and Sea and the northeastern tropical Pacific Ocean. Univ. Washington/Dept. Oceanography Tech. Resp. (249): 1-224.
- Wust, G. 1983. On the stratification and the circulation in the cold watersphere of the Antillean-Caribbean basins/ Deep-Sea Res., 10(3): 165-187.
- \_\_\_\_\_. 1964. Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean Basins. Part I. Spreading and mixing of the water types with an oceanographic atlas. Columbia Univ. Press, New York, 201 p.
- Zea, J.A. 1986. El fenómeno de "EL NIÑO" y sus efectos en Colombia. ARC - Rev. la Cuenca del Pacífico y su Fuerza Naval 3: 21-25.

# LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE EN COLOMBIA\*

por

Michel Hermelin \*\*

## Resumen

Hermelin, M.: Las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 695-703, 1995. ISSN 0370-3908.

A partir de sus viejas tradiciones uniformitarianistas las Ciencias de la Tierra deben plantear hoy la necesidad de prever el futuro a partir del conocimiento del pasado del planeta y del estudio de su presente. Sólo resolviendo esa pregunta se podrá lograr la base para una convivencia duradera entre el hombre con el planeta. Los habitantes originales del territorio colombiano demostraron conocimientos de gestión ambiental bastante avanzados. La irrupción europea culminó en agresiones contra el medio ambiente que dejarán consecuencias perdurables. La actual legislación ambiental colombiana contempla las amenazas naturales dentro del manejo ambiental, lo que para un país con las características físicas como Colombia es un aporte muy positivo. Por otra parte las Ciencias de la Tierra han evolucionado hacia una atención cada vez mayor a los problemas ambientales. Participan en investigaciones como el cambio climático, la gestión del entorno natural y la identificación de amenazas naturales. Pese a los esfuerzos realizados, el entorno colombiano aún presenta para su cabal entendimiento muchas carencias que deben ser corregidas por medio de la investigación geomorfológica. Si bien los altiplanos de las cordilleras conservan aún importantes remanentes que han escapado al efecto de la erosión, sus vertientes están expuestas a fenómenos catastróficos cuya frecuencia y magnitud deben ser investigadas por medio del estudio de sus ocurrencias y los depósitos que originaron; lo anterior sin intentar hacer encajar los resultados en las hipótesis propuestas para otras latitudes. La necesidad de investigación de los paisajes colombianos sigue tan apremiante como la aplicación inmediata de sus resultados para lograr el bienestar de sus habitantes. El desafío queda planteado para la geomorfología y las disciplinas científicas afines.

**Palabras clave:** Geología. Geomorfología. Edafología. Meteorología. Climatología. Fitogeografía. Hidrografía. Oceanografía.

## Abstract

Earth sciences should consider today the necessity to foresee the future starting from the available knowledge about Earth's past and present. This consideration will provide a foundation for a lasting interaction between man and our planet. Primitive inhabitants of Colombia demonstrated an advanced knowledge of environment management. The European colonization modified the environment with long lasting consequences. The present Colombian legislation on environmental matters considers the natural disasters as part of environmental management, which is a very positive aspect. On the other hand Earth sciences have evolved towards an increasing consciousness of environmental problems. They participate in research fields such as global climate, management of the environment and detection of natural causes of potential natural disasters. However many deficiencies due to incomplete understanding of the various phenomena should be filled through geomorphological research. Although high

\* Estudio científico pronunciado en el recinto de la Academia el 26 de abril de 1995 con ocasión de su posesión como Académico Correspondiente.  
\*\* Universidad EAFIT, Medellín.

plains still conserve important remnants which have survived erosion, the cordilleran slopes are exposed to phenomena whose frequency and magnitude should be investigated. This research should be carried out without fitting the results to models originated in studies done in other latitudes. Research devoted to these problems as well as its application are a pressing necessity to attain a general welfare. This challenge has to be met by geomorphology and related disciplines.

**Key words:** Geology. Geomorphology. Edaphology. Meteorology. Climatology. Phytogeography. Hydrology. Oceanography.

## Introducción

Este corto ensayo intenta establecer una relación a primera vista paradójica, pues las Ciencias de la Tierra consideran al medio ambiente como a uno de sus temas de estudio. Sin embargo, una perspectiva histórica basada en la evolución del concepto de ambiente tanto en este país como en el resto del mundo, permite deducir que dicha relación, aunque promete un futuro fructífero, aún no se ha producido de una manera totalmente satisfactoria.

Los grandes interrogantes que plantea una gestión adecuada del medio ambiente hacen indispensable una estrecha participación de las Ciencias de la Tierra en la comprensión de la evolución de nuestro entorno físico. El viejo adagio uniformitarista inspirado por las ideas de Hutton:

“El presente es la clave del pasado”

debe urgentemente ser ampliado, tal como lo sugiere William Fyfe, actual presidente de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas:

“El pasado y el presente son las clave del futuro”.

Mucho se ha hecho para entender el pasado. Pese a lo que pueden creer muchos científicos, el trópico húmedo de las montañas andinas aún no ha revelado muchos de sus procesos, en particular los catastróficos. Aún falta, por lo menos para esta parte del mundo, que las Ciencias de la Tierra no sólo asuman su papel como disciplina histórica, sino que la desempeñen, en el mejor de los sentidos, como cronistas inteligentes de eventos cuyo estudio se hace difícil por su baja frecuencia (afortunadamente para los habitantes de este rincón del planeta) y por los escasos registros que dejan en el desecado libro que conforma la columna geológica, con muchas páginas faltantes.

El principio fundamental que motiva este trabajo se puede resumir en un par de frases:

La convivencia duradera del hombre con el planeta tierra implica una planificación y una gestión adecuada de los recursos, las amenazas y los riesgos naturales. Sin esa condición no se concibe la posibilidad de un desarrollo sostenible y tal vez ni siquiera de la supervivencia de las especies actuales, incluyendo la humana.

## El medio ambiente en Colombia

Para los fines que persigue este trabajo, la evolución que ha sufrido el concepto de medio ambiente merece ser señalada en primer lugar (Hermelin, 1992b).

Las poblaciones precolombinas convivieron, y muchas de las que aún existen en el territorio colombiano han convivido en perfecto equilibrio con el medio ambiente. Muchas lo integraron a sus creencias religiosas. Varias desarrollaron tecnologías de gran avance técnico tanto en ingeniería como en manejo de suelos y cultivos, que apenas arqueólogos y antropólogos están empezando a descifrar. Merecen ser mencionados algunos ejemplos:

- los caminos y las terrazas tanto para viviendas como para cultivos de los Tayronas (Oyuela, 1990).
- los camellones de las orillas del Bajo Cauca y del Río Sinú de los antiguos Sinues (Parsons, 1970; Falchetti, 1990).
- las adecuaciones agrícolas y los aterrazamientos de los Calimas en el Valle del Cauca (Herrera *et al.*, 1990).
- las tecnologías de manejo de suelos de la región del Araracuara (Cavelier de Ferrero *et al.*, 1990).
- el sistema de rotación de cultivos de las “chacras”, tanto en la Amazonía como en el resto del país, que permitía una completa recuperación de la vegetación original.

Los Españoles encontraron una naturaleza que sus cronistas describieron algunas veces con más imaginación que realismo. Pero de la lectura de esos documentos se desprende el gran respeto, podría a menudo decirse el temor, que inspiraron las erupciones volcánicas, los sismos y los enormes aludes de lodo y rocas que presenciaron los peninsulares.

El bajo desarrollo técnico y económico y el poco interés para el estudio de las ciencias naturales no contribuyeron a mejorar esa situación durante prácticamente toda la Colonia.

La Independencia y el lento progreso del país colocaron el entorno natural dentro de la categoría de enemigo, que había que reducir y dominar por medio de tecnologías nacientes pero cada vez más poderosas. Testigo de esa etapa es el poema de Castro Saavedra en elogio a la ingeniería.

A principios de la década de los setenta, el campanazo de los ecólogos del mundo industrializado, preocupados por el porvenir ambiental del planeta, no tardó en hacerse oír en Colombia.

Efectivamente el país se dotó en 1974 de una ley ambiciosa, (R. de Colombia 1974), cuyo cumplimiento ha dejado sin embargo mucho que desear. De una indiferencia displicente y culpable ante el medio ambiente, se había pasado a una posición de protección legal exigente.

A los pocos años se inició en Colombia lo que algunos han llamado la década de las catástrofes: basta recordar algunas de las principales (Cuadro No. 1).

**Cuadro No. 1.** Desastres de origen natural en Colombia

1983	SISMO POPAYAN (CENTENARES DE V.)
1985	LAHARES ARMERO - CHINCHINA ( 23.000 V.)
1987	DESGLIZAMIENTO VILLA TINA, MEDELLIN ( 500 V.)
1990	HURACAN JOAN CRECIENTE TORRENCIAL S. CARLOS ( 100 V.)
1992	SISMOS MURINDO
1993	CRECIENTE TORRENCIAL RIO TAPARTO ( ~100 V.)
1994	SISMO CUENCA RIO PAEZ (~500 V.)
1995	SISMO PEREIRA

Comparando este aspecto con el anterior, queda la sensación de que el entorno natural colombiano tiene, como el dios del panteón romano Jano, dos caras: la sonriente, que debemos proteger y la iracunda, que merece ser temida y respetada (Hermelin, 1992a).

Afortunadamente la Ley del Medio Ambiente (R. de Colombia, 1993) realizó esa síntesis al considerar amenazas y riesgos naturales como parte del medio ambiente. Este regreso al "monoteísmo del entorno natural", aunque sea sólo legal y no institucional, es un gran logro para el país.

Sin intentar una caracterización de la naturaleza colombiana, el cuadro 2 presenta en forma muy sintética algunas características sobresalientes del territorio.

La otra característica de Colombia que no puede olvidarse al tratar el tema del entorno natural es la de su población (Cuadro No. 3).

### Las ciencias de la tierra

Un análisis, aunque resumido, de la evolución de las Ciencias de la Tierra rebasa los alcances de este trabajo. Sólo se intentará señalar algunos aspectos relevantes de esas disciplinas con respecto a la comprensión y manejo del entorno natural.

En el mundo antiguo y durante el Medioevo sólo se pueden mencionar descripciones y apuntes aislados más que un interés sistemático para con el estudio de la Tierra. El libro de Agrícola, la primera manifestación de la aplicación de la geología a la prospección y explotación de minerales es de mediados del siglo XVI (Agrícola, 1556) Esa función la seguirá cumpliendo hasta el presente.

La primera comprobación del ciclo hidrológico moderno por Pierre Perrault, hermano del famoso cuentista, data de 1674 (Gohau, 1987).

**Cuadro No. 2.** Características más importantes del entorno físico colombiano

Montañas Jóvenes (altas y empinadas)
Gran Variedad Geológica
Volcanismo
Sismicidad
Gran Variedad Climática
Alta Precipitación Predominante
Ríos Torrenciales
Erosión por Movimientos de Masa
Gran Variedad de Suelos
Diversidad Biológica

**Cuadro No. 3.** Colombia. Evolución de la Población.

AÑO	MILLONES	% URBANO
1962	15	25
1994	37	75
2026	57	75

Conclusión: 15 millones más de habitantes urbanos dentro de 30 años.

A fines del siglo XVIII nace la geología moderna con la publicación de la obra de Hutton "Teoría de la Tierra", complementada y comentada por su discípulo Playfair.

Durante dos siglos el uniformitarianismo, fortalecido por los aportes de Darwin sobre la evolución de las especies y vencedor del catastrofismo primitivo de Cuvier resistirá victoriosamente los ataques de los fundamentalistas bíblicos, particularmente de los "diluvianistas". Hasta que en la década de 1980 la hipótesis de Walter Alvarez volverá a plantear el problema de las extinciones masivas por influencia de impactos de meteoritos.

Es de señalar, que la hipótesis del americano Brett acerca del origen de los canales de los Scablands, en el altiplano de Oregon en el noroeste de Estados Unidos, que atribuía a una gigante creciente torrencial causada por la liberación repentina de las aguas de un lago de origen glacial, fué recibida durante varias décadas con un escepticismo total y sólo recibió aceptación a medidados de la década de 1980. Una buena confirmación de la oposición sistemática del establecimiento científico a las ideas que tuvieran algún sabor a catastrofismo.

La aplicación de la geología a la ingeniería data de la segunda mitad del siglo pasado y con el tiempo se volverá una importante actividad interdisciplinaria: la geotecnia.

Las principales aplicaciones de la geología en la vida moderna aparecen en el cuadro No. 4.

Una nueva rama de las ciencias geológicas ha nacido: la geología ambiental. Se puede definir en forma amplia como la búsqueda de una convivencia duradera del hombre con el planeta tierra, por medio de la participación de las Ciencias de la Tierra en la gestión de re-



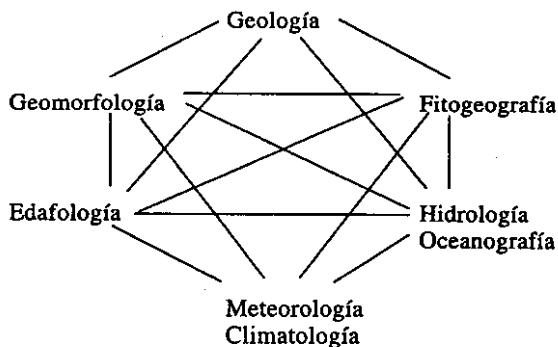
**Cuadro No. 4. Aplicaciones de la geología**

1. Conocimientos del planeta tierra. Origen, evolución, composición, procesos
2. Búsqueda de minerales, combustibles y fuentes energéticas
3. Identificación y estudio de áreas aptas para obras de ingeniería. (Geotecnia)
4. Identificación y estudio procesos naturales que pueden significar amenazas o riesgos.
5. Participación en planificación y gestión ambientales.

curso, amenazas y riesgos naturales con el fin de lograr un desarrollo sostenible.

Aunque el término de "geología ambiental" esté ya acuñado en los diferentes idiomas, muchos autores insisten, que siendo la geología una ciencia natural tiene por lo tanto la connotación de ambiental. Por otra parte en las ramas de la sedimentología y de estratigrafía se estudian ambientes y paleoambientes como el marino o el lacustre. Ante esas objeciones, la comisión recientemente creada por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas para trabajar sobre ese tema ha preferido el nombre de "Comisión de Ciencias Geológicas para la Planificación Ambiental" (Wolff, 1992).

Finalmente, las Ciencias de la Tierra están representadas en forma simplificada en el cuadro No 5.

**Cuadro No. 5. Las ciencias de la tierra**

### Algunos problemas globales

Un primer problema que afronta la humanidad, y cuya importancia ha merecido una atención tal que reunió en Roma a 120 gobernantes hace 3 años, es el del cambio climático global. El cambio climático producido por el efecto invernadero y la disminución de la capa de ozono han planteado preguntas aún sin resolver que le han dado un gran empuje a estudios como el de la información de los casquetes de hielo de los polos, la circulación de los océanos (Cuadro No. 5), el origen del ENSO, más conocido entre nosotros como el fenómeno de El Niño, y la desertificación (Huggett, 1991).

Aplicando lo que se mencionaba anteriormente en el sentido de que el presente y el pasado son elementos

fundamentales para entender el futuro, ha tomado gran importancia la disciplina de la paleoclimatología, que tuvo como iniciador en Colombia a Thomas van der Hammen y sus discípulos. Hoy en día la perforación de los hielos de la Antártida y de Groenlandia permite obtener un registro sistemático de las fluctuaciones de temperatura durante los últimos cien mil años.

Otro tema global que está afrontando la comunidad científica internacional a través del SCOPE (Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente) es el efecto de las actividades humanas sobre los procesos terrestres superficiales y sobre la sustentabilidad de los usos de la tierra. La importancia de los cambios producidos por el hombre ya iguala el volumen del proceso natural más importante: la producción de corteza basada en las dorsales mediooceánicas! (Hooke, 1994) (Cuadro No. 6).

El tema de los recursos naturales y de su sustentabilidad es crucial en un planeta cuya población sigue aumentando. Dejando por ahora a un lado la espinosa discusión acerca de los recursos naturales renovables y no renovable, se debe mencionar uno que suele olvidarse como tal: el de la superficie de la tierra, finito y por lo tanto no renovable; indispensable para cualquier actividad humana:

- cultivar alimentos, fibras y combustibles
- extraer materia primas
- construir ciudades y otras obras
- enterrar desechos

Una planeación cuidadosa de sus usos, particularmente para el crecimiento de las ciudades, requiere de un análisis como el que se plantea en los cuadros 7 y 8 (Hermelin, 1991).

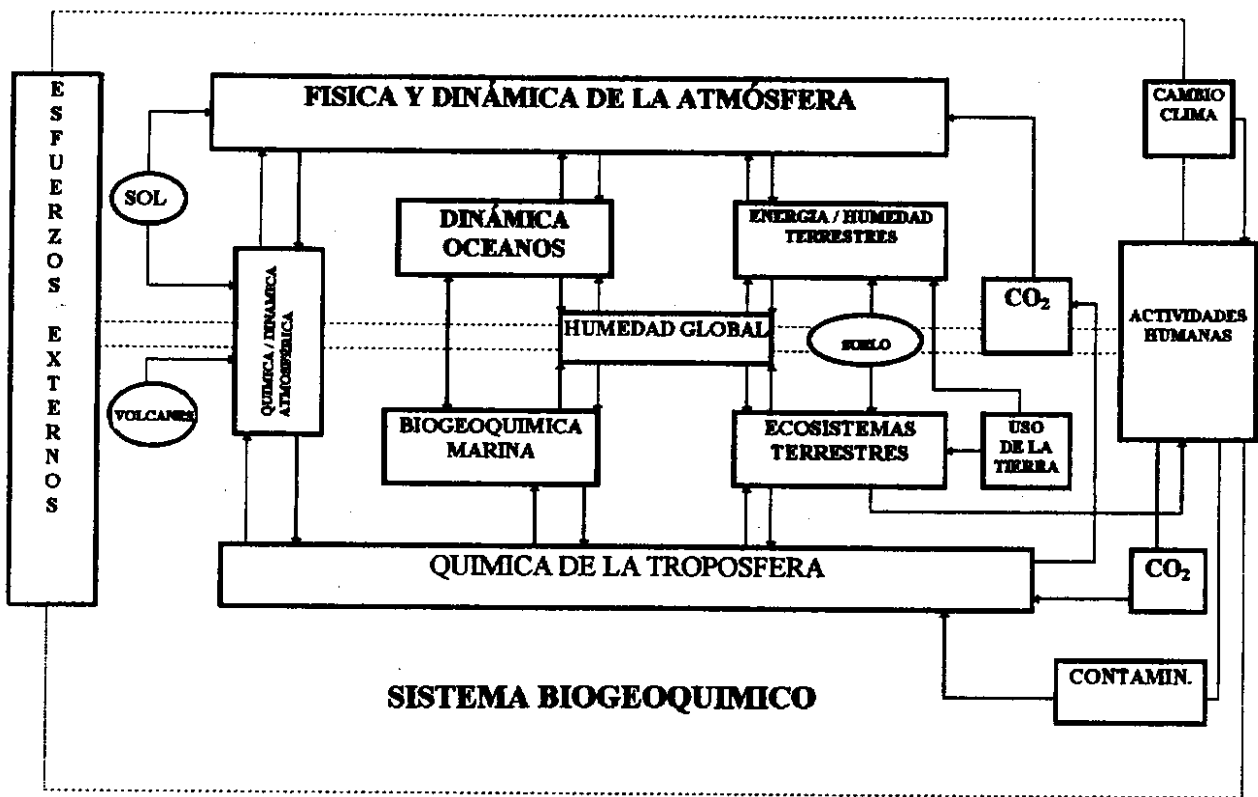
Finalmente, el conocimiento de las amenazas de origen natural es un tema inescapable a nivel tanto global como local.

El cuadro 9 indica algunas de ellas, con magnitudes y recurrencias aproximadas (Hermelin, 1991). Teniendo o no en cuenta la perspectiva de la Década Internacional de Prevención de Desastres Naturales, de la cual ya han corrido 5 años, el tema de los riesgos tiene consecuencias tan desastrosas para Colombia que requiere que nuestra comunidad científica le dedique más esfuerzos. Así como la predicción climática requiere del aporte de la paleoclimatología, hay que seguir desarrollando el análisis de los paisajes, de las evidencias dejadas por fenómenos naturales actuales y pasados que permitan prever con la mayor precisión posible la futura ocurrencia de amenazas.

### El paisaje de los andes colombianos

El uso de la palabra paisaje suscita sentimientos estéticos. Aquí se usará simplemente para designar el entorno natural con énfasis en las geoformas que lo soportan. El estudio de dichas formas, de los depósitos que pueden contener y de los procesos que caracterizan la superficie de la tierra es la geomorfología. Ya se ha visto su íntima relación con las demás disciplinas de las Ciencias de la Tierra.

Cuadro No. 6. Sistema físico del clima



### EL SISTEMA GLOBAL

El desarrollo de la geomorfología ha pasado por etapas como la de Davis, síntesis demasiado prematura que en cierta forma esterilizó su progreso (Tinker, 1985); la geomorfología climática fue un intento en el mejor sentido geográfico de asociar las geoformas y sus procesos a las zonas del planeta. Desde fines de la década de 1950, la tendencia ha sido hacia una cuantificación de las observaciones, con una fuerte orientación hacia el entendimiento de los procesos por observación directa y por modelación en laboratorio y con la ayuda de computadores.

El precursor de la geomorfología en Colombia fue Joaquín Acosta, quien a mediados del siglo pasado publicó trabajos que con muy pocos cambios podrían figurar en las mejores revistas científicas contemporáneas (Hermelin, 1993).

Por otra parte el país ha recibido el influjo de varias escuelas entre las cuales se pueden mencionar:

- el Centro de Geografía Aplicada de Estrasburgo, por intermedio de su director Jean Tricart y de sus discípulos.
- el ITC de Holanda, a través del CIAF, ahora IGAC.
- los trabajos realizados por firmas consultoras norteamericanas, particularmente la Woodward Clyde, para los estudios de riesgo sísmico para la construcción de represas hidroeléctricas.

El paisaje andino del occidente colombiano para fines prácticos, puede dividirse en forma simplificada en dos categorías: los altiplanos y las vertientes.

A. Los altiplanos conforman desde 2700 hasta 1800 m una serie de superficies casi planas, formadas seguramente al nivel del mar y levantadas, según algunos autores, hace más de 15 millones de años (Page & James, 1981). Si bien contienen algunos remanentes como los peñoles, que permiten deducir que allí existió alguna vez un fenómeno de denudación tipo etchplanation (Thomas o Doppelte Einebnung de Büdel (1982), ese fenómeno tuvo que haber sido muy antiguo ya que el espesor de roca descompuesta que conforma los altiplanos es a veces de varias decenas de metros. Sin embargo están ahí, desafiando la erosión destructora.

El último modesto episodio erosivo que sufrieron emplazó una línea de piedras, (Hermelin, 1990a) testigo de paleoclimas seguramente pre-holocenos. Por datación paleomagnética de sedimentos y saprolitos de las terrazas del Río Negro y por datación por radiocarbono de las cenizas volcánicas que los recubren, se deduce que la erosión que sufren está entre las más bajas del mundo.

En la actualidad se estudia la tasa de meteorización química por medio de tabletas de roca enterradas y por análisis de aguas superficiales. También se está determinando la temperatura de formación de la gibbsita contenida en los sedimentos por medio de isótopos de oxígeno. La correlación de las cenizas volcánicas cuaternarias se está complementando con datación por huellas de fisión de zircones contenidos en restos de tefras más antiguas. Se está diseñando un proyecto para usar el método del Cs<sup>137</sup> para determinar con precisión tasas de erosión superficial contemporánea.

Se espera con impaciencia la "mise au point" de métodos aún experimentales de datación como el conte-

Cuadro No. 7. Tasas de actividades geomórficas

Agente	Masa movida (Gt / a)
<b>Humanos</b>	
- Calibración por PNB	30
- Calibración por uso de energía	35
- Calibración por uso de energía incluyendo efecto en la carga sedimentaria de los ríos	45
<b>Ríos</b>	
Transferencia de Sedimentos a grandes distancias	
Presente	24
En ausencia de efecto antrópico	14
<b>Meandros de los ríos</b>	
Empezando con ríos de 4° orden	39
Empezando con ríos de 5° orden	23
<b>Glaciares</b>	
Presente	4.3
Pleistoceno	10
<b>Planos de Vertientes</b>	0.6
<b>Acción de Olas</b>	
Flujo de sedimentos	1
Erosión	0.24
<b>Viento</b>	1
<b>Elevación de Montañas</b>	
Continental	14
Oceánico	30
<b>Tasa de Sedimentación en Océanos Profundos</b>	7
Hooke, 1994	

Cuadro No. 8. Oferta efectiva de cursos naturales (Pereira)

Oferta ambiental efectiva	=	Oferta ambiental (disponibilidad primaria)	- Restricciones ambientales
$O_E$	=	$O$	- R
Oferta (Recursos)			Restricciones
Aire			Amenazas Naturales
Aguas (superf. y subt.)			Contaminación
Sedimentos			Preservación Med. amb.
Superficie de la tierra			- Reservas
Sub-suelo (rec. no renovables)			Biológicos
Energía			Históricos
Biota etc.			Arqueológicos
			Estéticas etc.
			- Conservar Recursos (Agua, etc.)

Cuadro No. 9. Fórmulas básicas para balance ambiental

Para cada recurso:

$$O_{Ei} - O_i - R_i$$

Para el conjunto de recursos del área determinada:

$$\sum_{i=1}^n (O_{Ei}) = \sum_{i=1}^n (O_i - R_i)$$

(tener en cuenta que en ciertos casos:  $R_i = f(D_j)$ )

Para cada recurso  $i$  se deben establecer las demandas:

$$D_1, D_2, \dots, D_n$$

Establecer balance para cada oferta ambiental efectiva:

$$O_{Ei} - \sum_{j=1}^n D_{ij} > 0$$

El balance general será:

$$\sum_{i=1}^n \left( O_{Ei} - \sum_{j=1}^n D_{ij} \right) > 0$$

↑  
Condición para desarrollo sostenible

nido de Berilio y de Tritio producidos por rayos cósmicos en rocas expuestas a la atmósfera. (W.S. Broecker, Lamont Doherty Geological Observatory, Columbia University, Comunicación Personal)

B. Las vertientes más o menos empinadas originadas por causas tectónicas, estructurales o erosivas son el asiento de procesos mucho más dinámicos, a veces catastróficos o mejor convulsivos, a veces acelerados por la influencia humana.

Cuadro No. 10. Clasificación tentativa de algunas amenazas naturales

Tipo	Origen	Orden de frecuencia (años)	Amplitud del efecto
Impacto de Meteoritos	Natural	$3 \times 10^7$	Planetario
Cambios Climáticos	Natural Artificial	$10^5 - 10^2$	Planetario
Erupción Volcánica	Natural	$10 - 10^3$	Local a Planetario
Sismo	Natural Artificial(?)	$10 - 10^3$	Local a Regional
Movimiento de Masa	Natural Artificial	$10 - 10^3$	Local a Regional
Inundaciones	Natural Artificial	$10 - 10^4$	Local a Regional

La dificultad de la observación de los procesos radica en ese caso en su baja frecuencia y en la escasez de evidencias que dejan (Cuadro No. 11).

**Cuadro No. 11.** Movimientos de masa naturales en las vertientes del trópico húmedo

TIPO	AREA AFECTADA (m <sup>2</sup> )	FRECUENCIA (a)
Calidad de Árboles	10 <sup>1</sup>	30
Aguaceros Fuertes	10 <sup>5</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> (?)
Sismos	10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup> (?)

De ahí la necesidad de obtener la máxima cantidad posible de información cuando se presenta este tipo de eventos, lo que afortunadamente se ha logrado en algunos casos como San Carlos (Antioquia) (Hermelin *et al.*, 1990; figs. 1 y 2) y Marsella (Risaralda Cuvelo *et al.*, 1992), utilizando métodos de datación ya tradicionales como el radiocarbono y otros menos desarrollados como son la tefracronología y la paleoedafología. Es de lamentar la carencia de aplicación que han tenido hasta ahora en el país la liquenometría y la racemización de aminoácidos, para datación de eventos relativamente recientes (rango de 100 a 1000 años).

En síntesis, nuestros paisajes del trópico húmedo no se comportan de una manera muy ortodoxa desde el punto de vista de las actuales hipótesis geomorfológicas sobre formación y dinámica de la superficie de la tierra.

- Los altiplanos permanecen estables mucho más tiempo de lo previsto, pese a su debilidad intrínseca.
- Las vertientes evolucionan por medio de eventos catastróficos relativamente poco frecuentes, pero muy efectivos para su modelamiento (Figuras 1 y 2).
- Los paisajes presentan sincrónicamente las características que se han atribuido tradicionalmente a eventos sucesivos: la biostasia, predominio de la actividad biológica, edafogénica, meteorizante y la rhexistasia, condición de erosión intensa; esta hipótesis fué inicialmente planteada por Ehrardt (1956) como resultado de un cambio climático pero que en nuestras montañas sólo se presenta como consecuencia del traspaso de umbrales, sin que se den cambios a nivel planetario o siquiera regional.

Hace unos 10 años Stanley Schumm (Schumm *et al.*, 1984) destruyó el mito de la formación de las terrazas fluviales atribuida a cambios climáticos o tectónicos de envergadura. Tal vez ha llegado el tiempo de ampliar esa hipótesis a los paisajes del trópico de montaña en conjunto.

### Aplicaciones

En un país como Colombia, que se ha propuesto una gestión racional de su entorno natural para lo que ahora se llama el desarrollo sostenible, parece necesario recalcar una vez más la necesidad de un mejor conoci-

miento de los paisajes y de su dinámica. Para acertar en este propósito y en el de mitigar los efectos de las amenazas naturales, se han realizado intentos para definir en función de su aptitud para el uso urbano los terrenos cubiertos por las ciudades y sus alrededores (Hermelin, 1990b). La geomorfología no debe en esos casos intentar suplantarse la geotecnia sino orientar su acción con el fin de hacerla más efectiva. Ese tipo de actividad casi siempre se hace sobre la marcha, cumpliendo cronogramas estrechos, con recursos escasos y por lo tanto con obvios limitantes en cuanto a la cantidad y a la calidad de la información. El científico puede escoger marginarse, por tratarse de una actividad de tipo tecnológico, o puede asumir esa responsabilidad basándose en la necesidad desesperante que tiene el país de asegurar la vida de sus habitantes ante las amenazas naturales. Y asumir a la vez la tarea de dedicar buena parte de su tiempo a convencer a los planificadores y a los gobernantes de la necesidad de llevar a la práctica sus recomendaciones, una tarea por cierto bastante dispendiosa y a menudo frustrante (Hermelin, 1994b).

A raíz de la Ley del Medio Ambiente de 1993 el país se lanzó a clasificar y se comprometió a utilizar la totalidad de su territorio en función de su desarrollo sustentable. Sería deseable que las Ciencias de la Tierra participaran en este propósito nacional, ofreciendo respuestas que incluyeran una mayor utilización de disciplinas como la geomorfología, la edafología, la tefraestratigrafía, la meteorología y la hidrología. Sólo una integración de esas ciencias con la geología, con el fin de entender la dinámica actual de la superficie de la tierra y por lo tanto su comportamiento futuro permitirá lograr ese propósito.

### Nota personal

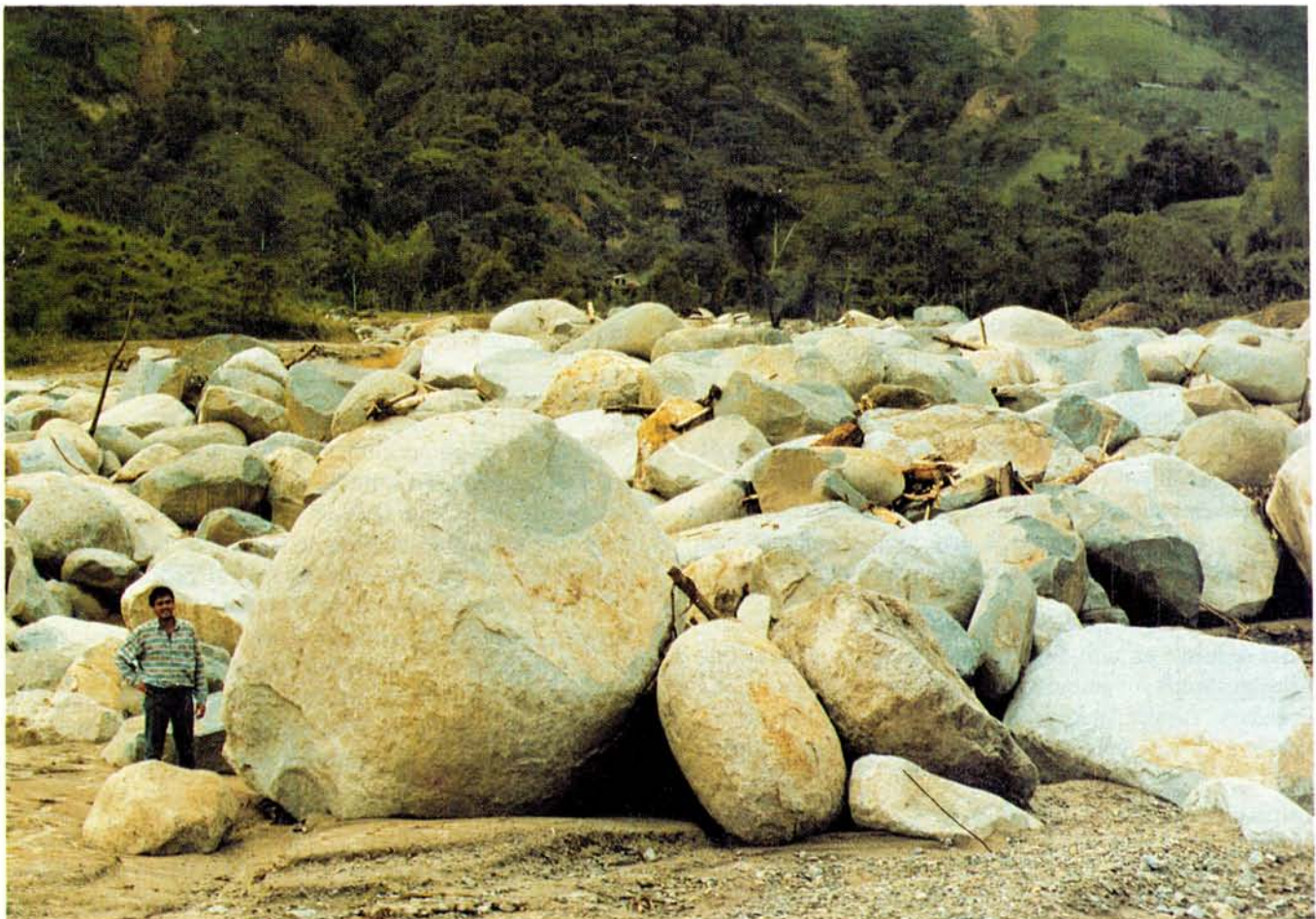
Me ha traído hasta aquí una fascinación por el conocimiento, un afán de participar en forma aún muy modesta en ese proceso de ampliar el saber. Resulté dedicando más tiempo a su fomento, su gestión y su divulgación que a su creación. Ha resultado de todas maneras ser una experiencia interesante.

### Agradecimientos

Debo dar agradecimientos: A esta Academia por hacerme el honor de recibirme, al profesor Daliphart del Lycée Voltaire de París, que puso en mis manos mi primer texto de geología, al profesor Gerardo Botero, de la entonces llamada Facultad Nacional de Minas, al profesor Stanley Schumm de la U. Estatal de Colorado, a los profesores Sheldon Judson y Heinrich Holland, de la Universidad de Princeton. Entre mis colegas nacionales y extranjeros quiero recordar particularmente a Carlos Schubert, de Venezuela, recientemente fallecido. Finalmente agradezco la paciencia y comprensión de mi familia.

### Bibliografía

- Agricola, G. 1556. Von Berg and Hütten Wesen. Dünndruck. Ausgabe atv bibliotek, München, 610 p.
- Büdel, J. 1987. Climatic Geomorphology. Princeton University, Princeton, New Jersey, 443p.



Figuras 1 y 2. Ejemplo de eventos catastróficos sobre las vertientes de las cordilleras.

- Cavelier de Ferrero., F. Mora, S. & L. Herrera de Turbay. 1990. Estabilidad y dinámica agrícola: las transformaciones de una sociedad amazónica In Ingenierías Prehispánicas, Fondo FEN Colombia ICA-COLCULTURA, Bogotá.: 73-96.
- Curvelo, C., Hermelin, M. & V.L. Osorio. 1993. Estudio sobre los fenómenos ocurridos en la cuenca del Río San Francisco, Risaralda, a raíz del aguacero del 20 de Marzo de 1991. Memorias II Conferencia Latinoamericana Sobre Riesgo Geológico Urbano y II Conferencia Colombiana Sobre Geología Ambiental. 2: 147-176.
- Ehrardt, H. 1956. La genese des sols en tant que phénomène géologique. Masson, París, 90p.
- Gohau, G. 1987. Une histoire de la géologie. Editions La Découverte, Paris, 277p.
- Garwood, N.C., Janos, D.P. & N. Brokaw. 1974. Earthquake - caused landslides: a major disturbance to tropical forests. Science 205: 997-999.
- Hermelin, M. 1987. Bases de Geología Ambiental. Facultad de Minas, Universidad Nacional, Medellín, 300p.
- \_\_\_\_\_. 1990a. Stone lines in Antioquia, Colombia. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula. 8: 137-156.
- \_\_\_\_\_. 1990b. Bases físicas para los planes de desarrollo de los municipios de Risaralda. AGID Report No 13, Universidad EAFIT: 269-274.
- \_\_\_\_\_. 1991. Anotaciones sobre el actual concepto de impacto ambiental en Colombia. AGID Report No 16, Universidad EAFIT, Medellín: 35-47.
- \_\_\_\_\_. 1992a. Geología y Ciudades. Boletín de Vías (U. Nacional., Manizales) 19 (74): 77-98.
- \_\_\_\_\_. 1992b. El medio ambiente redefinido. Memorias, II Simposio Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano y II Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Pereira 2: 225-236.
- \_\_\_\_\_. 1993. Geomorphology in Colombia. In The evolution of Geomorphology, Edited by H.J. Walker & W.E. Grabau, J. Wiley & Sons Ltd, p. 107-111
- \_\_\_\_\_. 1994a. Ciencias de la Tierra y desarrollo urbano Memorias Seminario Internacional Habitat, Pereira ( en prensa).
- \_\_\_\_\_. 1994b. Planes de desarrollo municipal: ordenamiento territorial y medio ambiente. Conferencia Interamericana sobre Reducción de los Desastres Naturales, Cartagena, Memorias, tomo III, P. I-01 (1-10)
- \_\_\_\_\_, Mejía, O. & E. Velásquez. 1991. Algunas reflexiones acerca de la catástrofe del 21 de Septiembre de 1990 en San Carlos, Antioquia. AGID Report 16, Universidad EAFIT, Medellín: 115-128.
- Herrera, L., Cardale de Schrimpf, M. & W. Bray. 1990. La arqueología y el paisaje en la región calima In Ingenierías Prehispánicas, Fondo FEN Colombia ICA-COLCULTURA, Bogotá: 111-150.
- Hooke, R. Le B. 1994. On the efficacy of humans as geomorphic agents. GSA today, 4 (9): 220,224,225
- Huggett. 1991. Climate, Earth Processes and Earth History. Springer - Verlag, Berlin, 281 p.
- Oyuela, A. 1990. Las redes de caminos prehispánicos en la Sierra Nevada de Santa Martha in Ingenierías Prehispánicas, Fondo FEN Colombia ICA - COLCULTURA, Bogotá: 47-71.
- Parsons, J. 1970. Los campos de cultivo prehispánicos en el Bajo San Jorge. Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 12 (48): 449-458.
- Page, W.D. & M.E. James. 1981. The antiquity of the erosion surfaces and late cenozoic deposits near Medellín, Colombia: Implications to tectonics and erosion rates. Revista CIAF 6 (103): 421-454.
- Plazas, C. 1990. Manejo Hidráulico Zenú in Ingenierías Prehispánicas, Fondo FEN Colombia ICA-COLCULTURA, Bogotá: 151-171.
- República de Colombia. 1993. Ley 99 de 1993, Ley del Medio Ambiente.
- República de Colombia. 1974. Código de Recursos Naturales y del Medio Ambiente, Decreto 2811 de 1974.
- Schumm, S.A., Harvey, M.D. & C.C. Watson. 1984. Incised channels: morphology, dynamics and control water resources publications, Littleton, Colorado, USA.
- Thomas, M.F. & M.B. Thorp. 1985. Environmental change and episodic etchplanation in the humid tropics of Sierra Leone: the Koidu etchplain. In Y. Douglas & T. Spencer, Editors, Environmental change and tropical Geomorphology, George Allen & Unwin, London: 239-267.
- Tinker, K.J. 1985. A short history of geomorphology. Croom Helm, London, 317p.
- Wolff, F.Ch. COGEOENVIRONMENT. 1992. Memorias, II Simposio Latinoamericano de Riesgo Geológico Urbano & II Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Pereira.1: 461-467.

# INVESTIGACIONES ACERCA DE LOS CONECTIVOS INTUICIONISTAS

por

Xavier Caicedo F.\*

## Resumen

Caicedo, X.: Investigaciones acerca de los conectivos intuicionistas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 705-716, 1995. ISSN 0370-3908.

Se estudia en este trabajo una noción general de conectivo proposicional intuicionista desde la perspectiva semántica de los modelos de Kripke, noción que incluye los conectivos corrientes del Cálculo de Heyting al igual que los conectivos definidos por Gabbay. Las extensiones de la lógica proposicional intuicionista que resultan al añadir estos conectivos preservan los paradigmas esenciales del intuicionismo, como es la propiedad de la disyunción. Se estudian en detalle varios conectivos particulares, y se proporciona para algunos de ellos axiomatizaciones completas que extienden conservadoramente el Cálculo de Heyting. Dichas axiomatizaciones se utilizan para obtener nuevas demostraciones de la caracterización de algunas lógicas intermedias, como la lógica de Dummett para modelos de Kripke sobre órdenes lineales.

**Palabras clave:** Lógica matemática, Intuicionismo, Conectivos proposicionales, Lógicas intermedias.

## Abstract

We propose and study a general notion of intuitionistic sentential connective in the semantical context of Kripke models. This includes the ordinary connectives of Heyting Calculus as well as the connectives introduced by Gabbay. The resulting extensions of intuitionistic propositional calculus preserve the paradigms of intuitionism, for example the disjunction property. We study in detail several specific connectives, providing for them complete axiomatizations which extend conservatively Heyting Calculus. Those axiomatizations may be utilized to give new proofs of known facts about intermediate logics, as Dummett's logic for Kripke models over linear orders.

**Key words:** Mathematical logic, Intuitionism, Sentential connectives, Intermediate logics.

## Introducción

En contraste con el caso de la lógica clásica, cuyos conectivos proposicionales fundamentales:  $\neg$ ,  $\wedge$ ,  $\vee$ ,  $\supset$ ,  $\Leftrightarrow$ , forman un sistema funcionalmente completo, en la lógica intuicionista pueden darse nuevos conectivos no reducibles a los tradicionales. Esto ha sido observado por varios autores: Bowen (1971), McCullough (1971), Rauszer (1974), Gabbay (1977,1981), Troelstra (1981) y López-

Escobar (1985), entre otros. Por supuesto, tal afirmación puede resultar trivial si no se aclara antes qué significa "conectivo intuicionista". Las extensiones del cálculo proposicional clásico por medio de operadores modales inducen extensiones del cálculo proposicional de Heyting, pero no por ello ha de considerarse "intuicionistas" a tales operadores. Debe requerirse por lo menos que las extensiones por nuevos conectivos mantengan los paradigmas que han guiado al intuicionismo, como es la propiedad de la disyunción, tan apreciada por los buenos intuicionistas.

Hemos encontrado dos propuestas principales en la literatura sobre la definición general de conectivo intuicio-

\* Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia  
Departamento de Matemáticas, Universidad de los Andes.  
A.A. 4976, Bogotá, Colombia

nista: la de Gabbay (1981) y la de López-Escobar (1985). Ambas son de carácter sintáctico, dentro de la tradición constructiva del intuicionismo. En este trabajo investigamos una definición semántica, en el contexto de modelos de Kripke, que incluye a los conectivos de Gabbay interpretables en dichos modelos. Para un conjunto parcialmente ordenado fijo  $P$  los conectivos propuestos corresponden a ciertos morfismos del clasificador de subobjetos del topos de prebases  $Set^P$  (ver Freyd 1972, Goldblatt 1984). Sin embargo, nuestros conectivos están definidos *globalmente*, es decir, independientemente del orden parcial de base. Un conectivo será una clase de modelos de Kripke sobre bases arbitrarias con ciertas propiedades de clausura, concepto afín al de cuantificador generalizado para la teoría clásica de modelos (Lindström 1969).

La sección 1 es introductoria. En la sección 2 se presenta y justifica la definición de conectivo y se observan sus principales propiedades. En las secciones 3 a 6 axiomatizamos un conectivo de "compatibilidad", obteniendo como corolario una conocida axiomatización de la lógica intermedia asociada a los órdenes parciales dirigidos. En las secciones 7 y 8 estudiamos otros conectivos naturales en modelos de Kripke. Finalmente, en la sección 9 discutimos los conectivos intuicionistas de Gabbay.

1. Preliminares

Aunque suponemos que el lector está familiarizado con la semántica de Kripke para la lógica intuicionista (ver por ejemplo van Dalen, 1983), la explicamos brevemente para su beneficio. Dado un conjunto  $L$  cuyos elementos llamaremos *letras proposicionales*,  $\mathcal{F}(L)$  es el conjunto más pequeño que contiene a  $L$  y es cerrado bajo las operaciones sintácticas:  $\alpha, \beta \mapsto (\alpha \wedge \beta), (\alpha \vee \beta), (\alpha \supset \beta)$  y  $\alpha \mapsto \neg \alpha$ . En general, no escribiremos los paréntesis más externos de una fórmula, vgr.  $\neg \phi \supset (\psi \vee \phi)$  en lugar de  $(\neg \phi \supset (\psi \vee \phi))$ . Cuando  $L$  sea claro del contexto, o arbitrario, escribiremos  $\mathcal{F}$  en lugar de  $\mathcal{F}(L)$ .

Un *L-modelo (proposicional) de Kripke* es una terna  $K = (\Sigma, \leq, P)$  donde  $(\Sigma, \leq)$  es un conjunto parcialmente ordenado y  $P$  es una función  $P: L \rightarrow P(\Sigma)$ , tal que para todo  $\pi \in L$  se tiene

$$x \in P(\pi), x \leq y \Rightarrow y \in P(\pi).$$

Diremos que  $K$  es un modelo *sobre el marco*  $(\Sigma, \leq)$ .

**DEFINICION.** Dado un  $L$ -modelo de Kripke  $K$ , se define para toda  $p \in \Sigma$  y  $\phi \in \mathcal{F}(L)$ , por inducción en fórmulas, una relación de *forzamiento*:

$$K \Vdash_p \phi$$

que se lee *K fuerza  $\phi$  en  $p$* :

$$\text{Si } \phi \in L, K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow p \in P(\phi)$$

$$K \Vdash_p \neg \phi \Leftrightarrow \forall q \geq p: K \not\vdash_q \phi$$

$$K \Vdash_p \phi \wedge \psi \Leftrightarrow K \Vdash_p \phi \text{ y } K \Vdash_p \psi$$

$$K \Vdash_p \phi \vee \psi \Leftrightarrow K \Vdash_p \phi \text{ o } K \Vdash_p \psi$$

$$K \Vdash_p \phi \supset \psi \Leftrightarrow \forall q \geq p: (K \Vdash_q \phi \Rightarrow K \Vdash_q \psi).$$

Además se define:

$$K \Vdash \phi \text{ (K fuerza } \phi) \Leftrightarrow \forall p \in \Sigma: K \Vdash_p \phi$$

$$\Gamma \Vdash \phi \Leftrightarrow \forall K (K \Vdash \Gamma \Rightarrow K \Vdash \phi)$$

$$\Vdash \phi \text{ (}\phi \text{ es intuicionistamente válida)} \Leftrightarrow K \Vdash \phi \text{ para todo modelo de Kripke } K.$$

Dos  $L$ -modelos de Kripke  $K = (\Sigma, \leq, P)$  y  $K' = (\Sigma', \leq', P')$  son *isomorfos*,  $K \approx K'$ , si existe un isomorfismo de orden  $f: (\Sigma, \leq) \rightarrow (\Sigma', \leq')$  tal que:  $p \in P(\pi) \Leftrightarrow f(p) \in P'(\pi)$ , para toda  $\pi \in L$ . Dado  $p \in \Sigma$ , definimos:

$$[p] = \{q \in \Sigma : q \geq p\}$$

$$K \uparrow [p] = ([p], \leq, P'), \text{ donde } P'(\pi) = P(\pi) \cap [p];$$

y si  $L' \subseteq L$ :

$$K \uparrow L' = (\Sigma, \leq, P \uparrow L').$$

Las siguientes propiedades fundamentales del forzamiento se demuestran fácilmente por inducción en fórmulas.

**LEMA 1.1.** Para toda  $\phi \in \mathcal{F}(L)$  y  $p \in \Sigma$  se tiene:

a)  $K \Vdash_p \phi \Rightarrow \forall q \geq p: K \Vdash_q \phi.$

b)  $K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow K \uparrow [p] \Vdash_p \phi.$

c) Si  $K \approx K'$  entonces:  $K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow K' \Vdash_p \phi.$

d) Si  $L' \subseteq L, \phi \in \mathcal{F}(L')$  y  $K$  es  $L$ -modelo entonces:

$$K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow K \uparrow L' \Vdash_p \phi.$$

Las propiedades (a), (b) y (c) del Lema 1.1. tienen por consecuencia la famosa *propiedad de la disyunción* (en el Teorema 2.4 se demostrará un hecho más general):

**LEMA 1.2.** Si  $\Vdash \phi \vee \psi$  entonces  $\Vdash \phi$  o  $\Vdash \psi$ , para toda  $\phi, \psi \in \mathcal{F}$ .

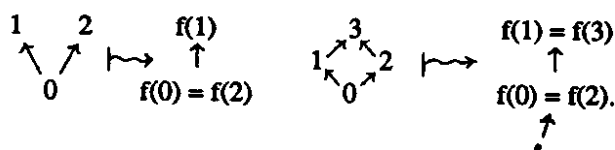
El forzamiento intuicionista es preservado no solamente por isomorfismos sino también por ciertos homomorfismos entre modelos de Kripke. Dados modelos de Kripke  $K = (\Sigma, \leq, P)$  y  $K' = (\Sigma', \leq', P')$ , un *homomorfismo* de  $K$  en  $K'$  es un homomorfismo de orden  $f: (\Sigma, \leq) \rightarrow (\Sigma', \leq')$  con la propiedad adicional:

$$p \in P(\pi) \Leftrightarrow f(p) \in P'(\pi), \text{ para toda } \pi \in L.$$

$f$  es un *homomorfismo fuerte* si además  $f \uparrow [p]: [p] \rightarrow [f(p)]$  es sobreyectiva para toda  $p \in \Sigma$ . Es decir,

$$\forall p \in \Sigma \forall q \in \Sigma': q \geq f(p) \Rightarrow \exists r \geq p (f(r) = q).$$

Obsérvese que la sola sobreyectividad de  $f$  no es suficiente ni necesaria para que un homomorfismo sea fuerte en cuanto al orden, como lo ilustran los dos ejemplos siguientes:



El primero es homomorfismo sobreyectivo de orden, pero no es fuerte, el segundo no es sobreyectivo pero es fuerte.

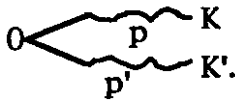
**TEOREMA 1.3** (Maksimova 1972, Kirk 1980). Si  $f: K \rightarrow K'$  es un homomorfismo fuerte entonces para toda  $p \in \Sigma$  y  $\phi \in \mathcal{F}(L)$  se tiene  $K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow K' \Vdash_{f(p)} \phi$ .

**Demostración.** Inducción en fórmulas. Si  $\phi \in L$ , entonces  $K \Vdash_p \phi \Leftrightarrow p \in P(\phi) \Leftrightarrow f(p) \in P'(\pi) \Leftrightarrow K' \Vdash_{f(p)} \phi$ .



$\Phi$ . La inducción para  $\wedge, \vee$  es trivial. Ahora, suponga  $K \Vdash_p \Phi \supset \Psi$  y sea  $q' \geq f(p)$  tal que  $K' \Vdash_{q'} \Phi$ . Entonces existe  $q \geq p$  tal que  $f(q) = q'$  y por hipótesis de inducción  $K \Vdash_q \Phi$ ; luego  $K \Vdash_q \Psi$ . Otra vez por hipótesis de inducción:  $K' \Vdash_{q'} \Psi$ . Es decir,  $K' \Vdash_{f(p)} \Phi \supset \Psi$ . Suponga ahora  $K \not\Vdash_p \Phi \supset \Psi$ , entonces existe  $q \geq p$  tal que  $K \Vdash_q \Phi$  y  $K \not\Vdash_q \Psi$ , y por hipótesis de inducción una vez más:  $K' \Vdash_{f(q)} \Phi$  y  $K' \not\Vdash_{f(q)} \Psi$ . Como  $f(q) \geq f(p)$  tenemos  $K' \Vdash_{f(p)} \Phi \supset \Psi$ . El paso inductivo para  $\neg$  es análogo.  $\square$

**EJEMPLO 1.4.** La siguiente aplicación del Teorema 1.3 será muy útil. Sea  $K = (\Sigma, \leq, P)$  un modelo de Kripke tal que  $\Sigma$  tiene primer elemento 0, y sea  $K' = (\Sigma', \leq', P')$  un modelo isomorfo a  $K$ , donde  $\Sigma \cap \Sigma' = \{0\} = \{0'\}$ . Forme la unión  $K \overset{\dagger}{\cup} K = (\Sigma \cup \Sigma', \leq \cup \leq', P \cup P')$ ,



Si  $p'$  denota la copia de  $p$  en  $\Sigma'$ , entonces la función  $f: \Sigma \cup \Sigma' \rightarrow \Sigma$ , tal que  $f(0) = 0, f(p) = f(p') = p$ , es un homomorfismo fuerte de  $K \overset{\dagger}{\cup} K$  en  $K$ . Por lo tanto, tenemos que para toda  $\Phi \in \mathcal{F}(L)$ :

$$K \overset{\dagger}{\cup} K \Vdash \Phi \Leftrightarrow K \Vdash \Phi.$$

Por supuesto, podemos amalgamar de esta manera cualquier número de copias de  $K$ , obteniendo un modelo lógicamente equivalente a  $K$  en el nodo 0.

Es bien sabido que el llamado *Cálculo Proposicional de Heyting* es completo para la validez intuicionista en modelos de Kripke. Como hay muchas versiones de dicho cálculo (ver van Dalen 1983, Gabbay 1981, Troelstra 1981) fijamos la siguiente que denotaremos por  $H$ :

**Axiomas.** Toda fórmula de  $\mathcal{F}(L)$  de la forma:

- A1  $\alpha \supset (\beta \supset \alpha)$
- A2  $(\alpha \supset (\beta \supset \gamma)) \supset ((\alpha \supset \beta) \supset (\alpha \supset \gamma))$
- A3  $(\alpha \supset \beta) \supset (\neg \beta \supset \neg \alpha)$
- A4  $\alpha \supset \neg \neg \alpha$
- A5  $\alpha \supset (\neg \alpha \supset \beta)$
- A6  $(\alpha \wedge \beta) \supset \alpha$
- A7  $(\alpha \wedge \beta) \supset \beta$
- A8  $\alpha \supset (\beta \supset (\alpha \wedge \beta))$
- A9  $\alpha \supset (\alpha \vee \beta)$
- A10  $\beta \supset (\alpha \vee \beta)$
- A11  $(\alpha \supset \gamma) \supset ((\beta \supset \gamma) \supset ((\alpha \vee \beta) \supset \gamma))$ .

**Reglas.** Modus Ponens: de  $\alpha$  y  $\alpha \supset \beta$  se sigue  $\beta$ .

Escribimos  $\Gamma \Vdash_H \Phi$  para indicar que de  $\Gamma$  se deduce  $\Phi$  en el sistema  $H$ . El siguiente teorema se debe esencialmente a Kripke (1965). Véase van Dalen (1983, 1986).

**TEOREMA 1.5. (Compleitud)**  $\Gamma \Vdash_H \Phi \Leftrightarrow \Gamma \Vdash \Phi$ .

La lógica proposicional intuicionista tiene la llamada *propiedad de modelos finitos* (PMF) con respecto a los modelos de Kripke. Esto significa que si para una fórmula  $\Phi$  de dicho cálculo se tiene  $\not\Vdash \Phi$  entonces hay un modelo finito  $K$  tal que  $K \not\Vdash \Phi$  (ver el texto de van Dalen, 1983). Esta propiedad implica una forma fuerte del Teorema de Compleitud:

$$K \Vdash \Phi \text{ para todo } K \text{ finito} \Rightarrow \Vdash_H \Phi.$$

## 2. Conectivos en modelos de Kripke

Hemos visto en el Lema 1.1 que la semántica intuicionista en modelos de Kripke goza de las tres propiedades siguientes, las cuales adquieren un significado muy interesante si consideramos los marcos de los modelos de Kripke como estructuras temporales:

### I. Persistencia hacia el futuro

$$K \Vdash_p \Phi \Rightarrow \forall q \geq p \ K \Vdash_q \Phi.$$

### II. Dependencia exclusiva del futuro

$$K \Vdash_p \Phi \Leftrightarrow K \uparrow [p] \Vdash_{p'} \Phi.$$

Es decir, la validez de una sentencia en un nodo  $p$ , una vez establecida, se mantiene, y es además inmune a alteraciones en los nodos no posteriores a  $p$ .

### III. Invarianza bajo isomorfismo

$$K \sim K' \Rightarrow (K \Vdash \Phi \Leftrightarrow K' \Vdash \Phi).$$

Las propiedades II y III podrían reunirse en una sola:

$$K \uparrow [p] \sim K' \uparrow [p'] \Rightarrow (K \Vdash_p \Phi \Leftrightarrow K' \Vdash_{p'} \Phi).$$

La propiedad I puede también expresarse afirmando que, para cada  $\Phi$ , el conjunto de nodos donde  $\Phi$  es forzada:

$$V_K(\Phi) = \{p \in \Sigma : K \Vdash_p \Phi\}$$

es abierto en  $\Sigma$  con respecto a la topología  $\Sigma^+$  inducida en  $\Sigma$  por la base de conjuntos  $\{[p] : p \in \Sigma\}$ . Es natural considerar este conjunto como el *valor de verdad* de  $\Phi$  en  $K$ . En este contexto, un modelo  $K = (\Sigma, \leq, P)$  para  $L$  puede verse como una valuación  $V_K: L \rightarrow \Sigma^+$  donde  $V_K(\pi) = P(\pi)$ , y la semántica de Kripke en  $K$  como una extensión de  $V_K$  a todo  $\mathcal{F}(L)$ . La propiedad II dice que

$$V_{K \uparrow [p]}(\Phi) = V_K(\Phi) \cap [p]$$

llamaremos  $V_{K,p}(\Phi)$  a este conjunto.

Tomaremos a I, II y III como propiedades características de la semántica intuicionista. Consideremos ahora un posible conectivo "funcional"  $C(\Phi, \Psi)$ . A la luz de las observaciones anteriores  $V_K(C(\Phi, \Psi))$  debe ser un abierto (propiedad I) que depende funcionalmente de  $V_K(\Phi)$  y  $V_K(\Psi)$ . Por la propiedad II, la pertenencia de  $p$  a  $V_K(C(\Phi, \Psi))$  debe depender solamente de  $V_{K,p}(\Phi)$  y  $V_{K,p}(\Psi)$  en cuanto subconjuntos de  $([p], \leq)$  y en efecto solamente del tipo de isomorfía de  $([p], \leq, V_{K,p}(\Phi), V_{K,p}(\Psi))$ , por la propiedad III. Esto implica que el significado de  $C$  es independiente de  $K$  y está determinado por una propiedad o clase  $\mathcal{E}$  de estructuras parcialmente ordenadas  $(X, \leq, S_1, S_2)$ , con subconjuntos  $S_1$  y  $S_2$  abiertos en  $X$ , cerrada bajo isomorfismos y bajo restricciones de la forma  $([q], \leq, S_1 \cap [q], S_2 \cap [q])$ ,  $q \in X$ , de manera que:

$$K \Vdash_p C(\Phi, \Psi) \Leftrightarrow ([p], \leq, V_{K,p}(\Phi), V_{K,p}(\Psi)) \in \mathcal{E}.$$

Puede suponerse que  $X$  siempre tiene primer elemento. Consideraciones semejantes pueden hacerse para conectivos monádicos, ternarios, etc.

Los elementos de la clase  $\mathcal{E}$  pueden verse como  $L$ -modelos de Kripke para  $L = \{\pi_1, \pi_2\}$  con  $P(\pi_i) = S_i, i = 1, 2$ . Esto nos permite definir rigurosamente:

**DEFINICION 2.1.** Un *conectivo intuicionista n-ario* es una familia  $\mathcal{C}$  de modelos de Kripke para  $L = \{\pi_1, \dots, \pi_n\}$ , con las propiedades siguientes:

- i)  $K \in \mathcal{C} \Rightarrow \forall p \in \Sigma: K \Vdash p \in \mathcal{C}$ .
- ii)  $K' \approx K \in \mathcal{C} \Rightarrow K' \in \mathcal{C}$ .

Dado un conectivo intuicionista  $\mathcal{C}$ , podemos extender  $\mathcal{F}$  a un lenguaje  $\mathcal{F}_{\mathcal{C}}$ , donde  $\mathcal{C}$  es un nuevo símbolo asociado a  $\mathcal{C}$ , añadiendo a  $\mathcal{F}$  la siguiente regla de construcción sintáctica:

$$\varphi_1, \dots, \varphi_n \in \mathcal{F}_{\mathcal{C}} \Rightarrow \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n) \in \mathcal{F}_{\mathcal{C}},$$

y extendiendo la semántica inductivamente:

$$K \Vdash_{\mathcal{P}} \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n) \Leftrightarrow ((p) \leq, \bigvee_{K,p}(\varphi_1), \dots, \bigvee_{K,p}(\varphi_n)) \in \mathcal{C}.$$

Igualmente, si tenemos conectivos intuicionistas  $\mathcal{C}_i, i \in I$ , podemos formar la nueva lógica  $\mathcal{F}_{\{\mathcal{C}_i | i \in I\}}$  que llamaremos una *extensión de  $\mathcal{F}$  por conectivos*.

**EJEMPLO 2.2.** En la práctica daremos los conectivos en términos de una propiedad definitoria de la clase  $\mathcal{C}$ . Para los conectivos usuales la condición que los define es en cada caso:

- $\supset$ :  $S_1 \subseteq S_2$
- $\wedge$ :  $S_1 = S_2 = X$
- $\vee$ :  $S_1 = X$  o  $S_2 = X$
- $\neg$ :  $S = \emptyset$
- $\dashv$ :  $S$  es topológicamente denso en  $X$ .

Los siguientes conectivos no son reducibles a ninguna combinación de  $\neg, \wedge, \vee, \supset$ . Dejamos al lector verificar que las condiciones que los definen son preservadas por isomorfismos y restricciones. Mostrar que nos son reducibles a los conectivos ordinarios es más delicado:

- $K \Vdash_{\mathcal{P}} F\varphi \Leftrightarrow \bigvee_{K,p}(\varphi)$  es finito.
- $K \Vdash_{\mathcal{P}} E\varphi \Leftrightarrow [p] - \bigvee_{K,p}(\varphi)$  es a lo sumo enumerable.
- $K \Vdash_{\mathcal{P}} L\varphi \Leftrightarrow \bigvee_{K,p}(\varphi)$  es lineal con respecto a  $\leq$ .
- $K \Vdash_{\mathcal{P}} N(\varphi, \psi) \Leftrightarrow |\bigvee_{K,p}(\varphi) - \bigvee_{K,p}(\psi)| \leq 1$ .
- $K \Vdash_{\mathcal{P}} M(\varphi, \psi) \Leftrightarrow \forall q, r \geq p (K \Vdash_q \varphi \wedge K \Vdash_r \psi \Rightarrow q \leq r)$ .

**LEMA 2.3.** Sea  $\mathcal{F}'$  una extensión de  $\mathcal{F}$  por conectivos. Entonces para toda  $\varphi \in \mathcal{F}'$  valen las propiedades I, II, III.

**Demostración.** I. Inducción en fórmulas. El paso inductivo para un conectivo  $\mathcal{C}$  sería el siguiente: si  $K \Vdash_{\mathcal{P}} \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n)$  entonces  $M = ([p], \leq, \bigvee_{K,p}(\varphi_1), \dots, \bigvee_{K,p}(\varphi_n)) \in \mathcal{C}$ ; si  $q \geq p$ , tenemos también  $M \Vdash [q] = ([q], \leq, \bigvee_{K,q}(\varphi_1), \dots, \bigvee_{K,q}(\varphi_n)) \in \mathcal{C}$ , y así  $K \Vdash_q \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n)$ .

II. Paso relevante: sea  $K' = K \Vdash [p]$  entonces  $K \Vdash [q] = K' \Vdash [q]$  para todo  $q \geq p$ , y así, por hipótesis de inducción:  $K \Vdash_q \varphi_i \Leftrightarrow K' \Vdash_q \varphi_i, \forall q \geq p, i = 1, \dots, n$ ; es decir,  $\bigvee_{K,p}(\varphi_i) = \bigvee_{K',p}(\varphi_i)$ . Por lo tanto,  $K \Vdash_{\mathcal{P}} \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n) \Leftrightarrow ([p], \leq, \bigvee_{K,p}(\varphi_1), \dots, \bigvee_{K,p}(\varphi_n)) \in \mathcal{C} \Leftrightarrow K' \Vdash_{\mathcal{P}} \mathcal{C}(\varphi_1, \dots, \varphi_n)$ .

III. Como (II) usando que  $\mathcal{C}$  es cerrada para isomorfismos. ■

**EJEMPLO 2.4.** Un conectivo como el introducido por López-Escobar (1985):

$$K \Vdash_{\mathcal{P}} \neg \varphi \Leftrightarrow \exists p' \leq p (K \not\vdash_{\mathcal{P}'} \varphi),$$

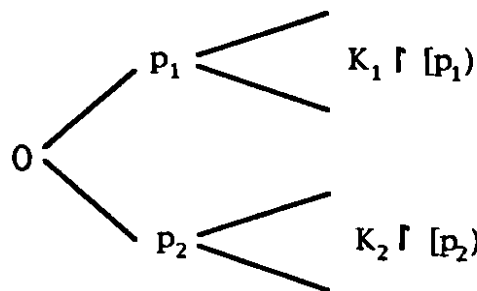
no es un conectivo intuicionista en nuestro sentido, pues aunque  $\mathcal{F}'_{\neg}$  cumple I y III no cumple II, ya que su definición en  $p$  depende del comportamiento de  $\varphi$  en nodos anteriores a  $p$ .

**TEOREMA 2.5.** Sea  $\mathcal{F}'$  una extensión de  $\mathcal{F}$  por conectivos, entonces  $\mathcal{F}'$  tiene la propiedad de la disyunción: si  $\Vdash \varphi \vee \psi$  entonces  $\Vdash \varphi$  o  $\Vdash \psi$ .

**Demostración.** Suponga  $\not\vdash \varphi$  y  $\not\vdash \psi$  y sean  $K_1, K_2$  modelos de Kripke tales que  $K_1 \not\vdash \varphi$  y  $K_2 \not\vdash \psi$ . Por (II), existen  $p_1$  y  $p_2$  tales que  $K_1 \Vdash_{[p_1]} \varphi$  y  $K_2 \Vdash_{[p_2]} \psi$ . Por III, puede suponerse que  $\Sigma_1$  y  $\Sigma_2$  son disyuntos. Forme un nuevo modelo de Kripke:

$$K = (\{0\} \cup [p_1] \cup [p_2], \leq, P')$$

donde  $0 < p_1, 0 < p_2, [p_1], [p_2]$  mantienen su orden y  $P'(\pi) = P_1(\pi) \cup P_2(\pi)$ . Por (II) otra vez:  $K \not\vdash_{[p_1]} \varphi$  y  $K \not\vdash_{[p_2]} \psi$ , y por (I):  $K \not\vdash_0 \varphi, K \not\vdash_0 \psi$ . Por definición,  $K \not\vdash_0 \varphi \vee \psi$ . ■



Un  $L$ -modelo de Kripke  $K = (\Sigma, \leq, P)$  puede verse como una estructura relacional de primer orden de tipo  $\tau = \langle 2, 1, 1, \dots \rangle$  con un predicado binario  $\leq$  y un predicado monádico  $P(\pi)$  para cada  $\pi \in L$ . De esta manera  $K$  viene equipado con una noción de satisfacción clásica  $\models$  para las fórmulas del cálculo de predicados  $L_{\omega\omega}(L^*)$  sobre el lenguaje  $L^* = \{R^2, P_{\pi}^1\}_{\pi \in L}$ .

Diremos que un conectivo  $\mathcal{C}$  es *definible en primer orden* si como clase de estructuras es elemental. Este es el caso de los conectivos usuales y de algunos de los del Ejemplo 2.2 como  $L, M$  y  $N$ . En cambio,  $F$  y  $E$  en tal ejemplo no son definibles en primer orden. Solamente anotamos el siguiente hecho al respecto.

**TEOREMA 2.6.** Si  $\mathcal{F}'$  es una extensión de  $\mathcal{F}$  por conectivos definibles en primer orden, entonces  $\{\varphi \in \mathcal{F}': \Vdash \varphi\}$  es recursivamente enumerable.

**Demostración.** Podemos definir inductivamente una interpretación:

$$*: \mathcal{F}'(L) \rightarrow L_{\omega\omega}(L^*)$$

que asocia a toda  $\varphi \in \mathcal{F}'(L)$  una fórmula  $\varphi^*(x)$  de  $L_{\omega\omega}(L^*)$  con una variable libre  $x$ :

- $\pi^* := P_{\pi}(x)$
- $(\varphi \wedge \psi)^* := \varphi^*(x) \wedge \psi^*(x)$
- $(\varphi \vee \psi)^* := \varphi^*(x) \vee \psi^*(x)$
- $(\varphi \supset \psi)^* := \varphi^*(x) \supset \psi^*(x)$
- $(\neg \varphi)^* := \forall y (R(x,y) \supset \varphi^*(x))$

y para un conectivo definido por una fórmula  $\theta(\leq, S_1, \dots, S_n)$  de primer orden:

$$[C(\varphi_1, \dots, \varphi_n)]^*(x) := \theta(\leq, \varphi_1^*(x), \dots, \varphi_n^*(x))\{y \mid y \geq x\},$$

donde la notación  $\theta\{y \mid y \geq x\}$  denota la relativización de todos los cuantificadores de  $\theta$  a  $\{x\}$ . Es decir:

$$\begin{aligned} \forall y \dots & \text{ se cambia a } \forall y (y \geq x \supset \dots) \\ \exists y \dots & \text{ se cambia a } \exists y (y \geq x \wedge \dots). \end{aligned} \quad (*)$$

Es fácil ver que para todo L-modelo de Kripke  $K$  y  $p \in \Sigma$  se tiene entonces:

$$K \Vdash_p \varphi \Leftrightarrow K \models \varphi^*[p];$$

de esta manera el forzamiento se reduce a la satisfacción clásica y podemos obtener directamente del teorema de completitud de Gödel la recursividad enumerable de las fórmulas intuicionístamente válidas de  $\mathcal{F}$ , pues:

$$\Vdash \varphi \Leftrightarrow \theta_{L(\varphi)} \models \forall x \varphi^*(x)$$

donde  $\theta_{L(\varphi)}$  es la sentencia de primer orden:

["R es un orden parcial"  $\wedge$

$$\bigwedge \pi \in L(\varphi) \forall x \forall y (P_\pi(x) \wedge R(x,y) \supset P_\pi(y))]$$

y  $L(\varphi)$  denota el conjunto de letras proposicionales que ocurren en  $\varphi$ .  $\square$

Por supuesto, el resultado anterior vale para conectivos definibles en cualquier lógica con relativizaciones cuyas fórmulas válidas sean recursivamente axiomatizables. Por ejemplo el conectivo E del Ejemplo 2.2 que es definible en  $L_{\omega\omega}(Q_1)$ .

Mc Cullough (1971) ha demostrado que  $\mathcal{E}$  es una combinación de los conectivos usuales  $\neg, \wedge, \vee, \supset$ , si y solamente si tiene una definición de primer orden  $\theta(\leq, S_1, \dots, S_n)$  en la cual " $x = y$ " no aparece como atómica y la atómica " $x \leq y$ " sólo aparece como cota inferior de un cuantificador, es decir, en la forma (\*) descrita arriba; en otras palabras,  $\theta$  se construye de  $S_1(x), \dots, S_n(x)$  con los conectivos  $\neg, \wedge, \vee, \supset$ , y los cuantificadores  $\forall y, \exists y, \forall y \geq x, \exists y \geq x$ .

### 3. Axiomatización de un conectivo de compatibilidad

Diremos que dos elementos  $p, q$  de un conjunto parcialmente ordenado  $(\Sigma, \leq)$  son *compatibles* en  $(\Sigma, \leq)$  si existe  $r \in \Sigma$  tal que  $p, q \leq r$ . Si éste no es el caso se dice que  $p$  y  $q$  son *incompatibles* en  $(\Sigma, \leq)$  y escribimos  $p \perp q$ . Un subconjunto  $S \subseteq \Sigma$  se dice *dirigido* si cualquier par de elementos de  $S$  son compatibles en  $(S, \leq)$ .

Consideremos el conectivo intuicionista D cuya definición en modelos de Kripke está dada por

$$K \Vdash_p D\varphi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \Vdash_q \varphi\} \text{ es dirigido.}$$

Es fácil ver que éste es un conectivo en el sentido de la Sección 2, pues si  $S$  es dirigido y  $p \in \Sigma$ , entonces  $S \uparrow [p]$  también lo es. Sea  $\mathcal{F}_D$  el conjunto de fórmulas bien formadas que resultan de enriquecer el cálculo proposicional de Heyting con el símbolo de conectivo monádico D, con la

semántica arriba indicada.

Nuestra primera observación es que  $\mathcal{F}_D$  no tiene la propiedad de modelos finitos y por lo tanto D no puede ser reducible a combinación de los conectivos corrientes. En realidad, la siguiente propiedad más débil que llamaremos de *satisfactibilidad finita* (PSF) falla en  $\mathcal{F}_D$ :  $\exists K \Vdash \varphi \Rightarrow \exists K$  finito tal que  $K \Vdash \varphi$  (más aún, este modelo puede reducirse a una valuación clásica).

**LEMA 3.1.** Para cualquier extensión por conectivos intuicionistas:  $PMF \Rightarrow PSF$ .

**Demostración.** Suponga PMF. Si  $\exists K \Vdash \varphi$ , obviamente  $\not\vdash \neg\varphi$ , y por PMF debe existir  $K$  finito con  $K \not\vdash \neg\varphi$ ; por lo tanto, existe  $p$  tal que  $K \uparrow [p] \Vdash \varphi$ , lo cual nos proporciona un modelo finito de  $\varphi$ . Tomando un nodo maximal obtenemos una valuación clásica.  $\square$

**Problema:** ¿ $PSF \Rightarrow PMF$ ?

**LEMA 3.2.**  $\mathcal{F}_D$  no tiene PSF y, por lo tanto, no tiene PFM.

**Demostración.** La sentencia  $\neg D(\pi \supset \pi)$  es tal que

$$K \Vdash_p \neg D(\pi \supset \pi) \Leftrightarrow \forall q \geq p \exists r, s \geq q (r \perp s),$$

luego sus modelos deben contener un árbol binario infinito.  $\blacksquare$

**COROLARIO 3.3.** D no es definible de los conectivos  $\neg, \wedge, \vee, \supset$ .

Demostramos en seguida que  $\mathcal{F}_D$  es axiomatizable por medio de un sistema de esquemas estilo Hilbert. La siguiente es la axiomatización propuesta que llamaremos  $H_D$ :

**Axiomas:**

- D0. Axiomas del Cálculo de Heyting (ver Sección 1)
- D1.  $D\alpha \supset [(\alpha \supset \neg\beta) \vee (\alpha \supset \neg\neg\beta)]$
- D2.  $(\alpha \supset \beta) \supset (D\beta \supset D\alpha)$
- D3.  $\neg\alpha \supset D\alpha$
- D4.  $D\alpha \supset D\neg\alpha$

**Reglas:** Modus Ponens (MP).

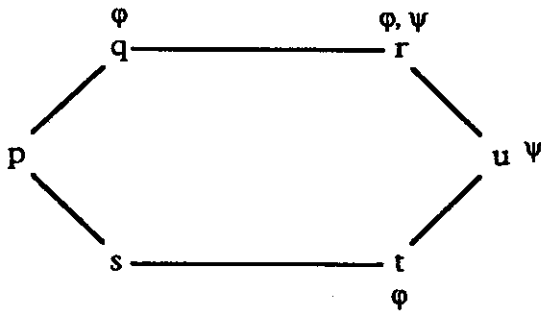
$\Gamma \vdash \varphi$  significará que de las premisas en el conjunto  $\Gamma$  se deduce  $\varphi$  con los axiomas y regla indicados.

El *teorema de la deducción*: "si  $\Gamma, \alpha \vdash \beta$  entonces  $\Gamma \vdash \alpha \supset \beta$ ", vale automáticamente en  $H_D$  por ser MP la única regla de inferencia, véase por ejemplo Caicedo (1990).

**TEOREMA 3.4.** Para toda  $\varphi \in \mathcal{F}_D$  si  $\Gamma \vdash \varphi$  entonces  $\Gamma \Vdash \varphi$ .

**Demostración.** Es suficiente verificar la validez de los nuevos axiomas en los modelos de Kripke; el resto es rutina.

(D1) Suponga que  $K \Vdash_p D\varphi$  y  $K \not\vdash_q \varphi \supset \neg\psi$ , entonces existen  $r \geq q \geq p$  con  $K \Vdash_r \varphi$  y  $K \not\vdash_r \psi$ . Ahora, si  $s \geq p$  es tal que  $K \Vdash_s \varphi$ , entonces para todo  $t \geq s$  también  $K \Vdash_t \varphi$ ; y por hipótesis existe  $u \geq t, r$ .



Como evidentemente  $K \Vdash_{\underline{u}} \psi$ , tenemos

$$\forall s \geq p [K \Vdash_s \phi \Rightarrow \forall t \geq s \exists u \geq t (K \Vdash_{\underline{u}} \psi)];$$

o sea,  $K \Vdash_p \phi \supset \neg \psi$ .

(D2) Es inmediato pues si  $S$  es dirigido y  $S' \subseteq S$  es abierto entonces  $S'$  es dirigido.

(D3)  $\emptyset$  es dirigido.

(D4) Suponga que  $K \Vdash_p D\phi$  y sean  $q, r \geq p$  tales que  $K \Vdash_{\underline{q}, 1} \neg \phi$ , entonces existen  $s \geq q, t \geq r$  tales que  $K \Vdash_s \phi, K \Vdash_t \phi$ , lo cual implica, por hipótesis, la existencia de  $u \geq s, t$ , y por tanto,  $u \geq q, r$ .  $\square$

Sea  $L$  un conjunto de letras proposicionales, entonces  $\mathcal{F}_D(L)$  será el conjunto de fórmulas de  $\mathcal{F}_D$  construidas de las letras de  $L$ . Si  $\alpha \in \mathcal{F}_D(L)$  diremos que  $\alpha$  es una fórmula en el lenguaje  $L$ . Dado un conjunto de fórmulas  $A$ ,  $L(A)$  será el conjunto de letras proposicionales que figuran en las fórmulas de  $A$ .

Sea  $A$  un conjunto de fórmulas de  $\mathcal{F}_D$  y  $L$  un conjunto de letras proposicionales. Diremos que  $A$  es regular para  $L$  si:

- i)  $A$  es consistente
- ii)  $A \vdash \phi$  y  $\phi \in \mathcal{F}_D(L) \Rightarrow \phi \in A$
- iii)  $A \vdash \alpha \vee \beta$  y  $\alpha, \beta \in \mathcal{F}_D(L) \Rightarrow \alpha \in A$  ó  $\beta \in A$ .

Finalmente, diremos que  $A$  es  $\alpha$ -consistente si  $A \not\vdash \alpha$ .

**LEMA 3.5.** Dado un conjunto  $\alpha$ -consistente  $A$  en el lenguaje  $L$  y  $L' \supseteq L \cup L(\alpha)$ , entonces existe  $A' \supseteq A$  con  $A'$  regular para  $L'$  y  $\alpha$ -consistente. Además  $|A'| = |A| + \omega$ .

**Demostración.** Como en van Dalen (1983), Lema de la pág. 252.  $\blacksquare$

**DEFINICION 3.6.** Sea  $\mathbb{L} = \{\pi\beta \mid \beta < \omega_{\alpha+1}\}$  un conjunto de letras proposicionales. Se define un modelo de Kripke  $\mathbb{M} = (M, \leq, P)$  como sigue:

$$M = \{A : L(A) \subseteq \mathbb{L}, \mid L(A) \mid \leq \omega_{\alpha}, \text{ y } A \text{ es regular para } L(A)\}$$

$$P(A) = \{\pi\beta \mid \pi\beta \in A\}$$

$$A \leq A' \Leftrightarrow \begin{cases} (1) L(A) = L(A') \text{ y } A \subseteq A' \\ 0 \\ (2) L(A) \subsetneq L(A'), A \subseteq A' \text{ y para toda } \psi: \\ D\psi \in A \Rightarrow \neg\psi \notin A' \end{cases}$$

Se verifica fácilmente que  $\leq$  es un orden parcial considerando casos para la transitividad:

$$\begin{aligned} & \stackrel{(1)}{A} \leq \stackrel{(1)}{A'} \leq \stackrel{(1)}{A''} \Rightarrow \stackrel{(1)}{A} \leq \stackrel{(1)}{A''} \\ & \stackrel{(1)}{A} \leq \stackrel{(2)}{A'} \leq \stackrel{(2)}{A''} \Rightarrow \stackrel{(2)}{A} \leq \stackrel{(2)}{A''} \\ & \stackrel{(2)}{A} \leq \stackrel{(1),(2)}{A'} \leq \stackrel{(2)}{A''} \Rightarrow \stackrel{(2)}{A} \leq \stackrel{(2)}{A''}. \quad \square \end{aligned}$$

**TEOREMA 3.7.** Para todo  $A \in M$  y  $\phi$  en el lenguaje  $L(A)$ :  $\mathbb{M} \Vdash_A \phi \Leftrightarrow \phi \in A$ .

**Demostración.** El caso atómico es evidente. Los pasos inductivos para  $\wedge, \vee, \supset, \neg$  no presentan dificultad; en ellos hay que usar la restricción de que  $\phi$  está en el lenguaje  $L(A)$ . Debe verificarse sobre todo la implicación y negación que son sensibles al cambio de la relación de orden. Probamos el paso inductivo para  $D$ .

( $\Rightarrow$ ) Sea  $D\phi$  en el lenguaje  $L(A)$  tal que  $\mathbb{M} \Vdash_A D\phi$  pero  $A \not\vdash D\phi$ ; entonces  $A \not\vdash \neg\phi$  (Axioma D3) y, por lo tanto,  $A + \phi$  es consistente. Por otra parte, para cada  $\mu$  en el lenguaje  $L(A)$ , debe tenerse:

$$A + \phi \vdash \neg\mu \text{ o } A + \phi \vdash \neg\neg\mu \quad (1)$$

pues de lo contrario existirían conjuntos regulares  $A', A''$  con  $L(A') = L(A'') = L(A)$  tales que  $A', A'' \supseteq A + \phi, A' \vdash \mu$  y  $A'' \vdash \neg\mu$  (esto por el Lema 3.5). Por definición,  $A \leq A', A''$  y, por hipótesis de inducción,  $\mathbb{M} \Vdash_{A'} \phi, \mathbb{M} \Vdash_{A''} \phi$ , lo cual contradiría  $\mathbb{M} \Vdash_A D\phi$ , pues, por ser  $A' \cup A''$  inconsistente,  $A'$  y  $A''$  son incompatibles para  $\leq$ . Continuando, tomamos  $L' \subseteq \mathbb{L}, L'$  enumerable, tal que  $L(A) \subsetneq L'$  y  $\pi \in L' - L(A)$ , entonces  $A + \phi + \pi$  y  $A + \phi + \neg\pi$  son consistentes (de lo contrario tendríamos, por ejemplo,  $A + \phi \vdash \neg\pi$  y, por lo tanto,  $A + \phi \vdash \neg(\phi \supset \phi)$ , lo cual haría  $A + \phi$  inconsistente). Tomemos  $A_0, A_1 \in M$  tales que  $A + \phi + \pi \subseteq A_0$  y  $A + \phi + \neg\pi \subseteq A_1$ . Como  $A_0 \cup A_1$  es inconsistente,  $A_0$  y  $A_1$  no pueden extenderse a  $A' \in M$ . Por otra parte,  $\mathbb{M} \Vdash_{A_0} D\phi$  y  $\mathbb{M} \Vdash_{A_1} \phi, \mathbb{M} \Vdash_{A_1} \phi$ , por hipótesis de inducción; esto significa que debemos tener

$$A \not\leq A_0 \text{ o } A \not\leq A_1.$$

Supongamos el primer caso (el otro es análogo). Entonces existe  $\psi$  en  $L(A)$  tal que  $D\psi \in A$  pero  $\neg\psi \notin A_0$ . Esto implica que  $A + \phi \not\vdash \neg\psi$  y por (1),  $A + \phi \vdash \neg\neg\psi$ . Es decir:

$A \vdash \phi \supset \neg\neg\psi$	T. deducción
$A \vdash D(\neg\neg\psi) \supset D\phi$	Ax. D2+MP
$A \vdash D\psi$	Hipótesis
$A \vdash D\psi \supset D(\neg\neg\psi)$	Ax. D4
$A \vdash D\phi$	MP.

Hemos demostrado:  $\mathbb{M} \Vdash_A D\phi \Rightarrow A \vdash D\phi$ .

( $\Leftarrow$ ). Sea  $\phi$  en  $L(A)$  tal que:

$$A \vdash D\phi \text{ y } \mathbb{M} \not\vdash_A D\phi$$

entonces existen  $A', A'' \in M$  tales que  $A', A'' \geq A, \mathbb{M} \Vdash_{A'} \phi$  y  $\mathbb{M} \not\vdash_{A''} \phi$ , pero  $A'$  y  $A''$  son incompatibles para  $\leq$ . Esto implica que  $L(A') \neq L(A)$  o  $L(A'') \neq L(A)$ , pues si  $L(A') = L(A'') = L(A)$  la incompatibilidad implicaría  $A' \cup A''$  inconsistente, lo cual daría la existencia de  $\mu$  en  $L(A)$  tal que:

$$A' \vdash \mu \text{ y } A'' \vdash \neg\mu; \quad (2)$$

pero esto es imposible, pues de  $A \vdash D\phi$  tenemos  $A \vdash (\phi \supset \neg\mu) \vee (\phi \supset \neg\neg\mu)$  (Ax.D<sub>1</sub>) y por estar  $\mu$  en  $L(A)$  y regularidad de  $A$ :

$$A \vdash \phi \supset \neg\mu \text{ o } A \vdash \phi \supset \neg\neg\mu.$$

Es decir,  $A + \phi \vdash \neg\mu$  o  $A + \phi \vdash \neg\neg\mu$  y cualquiera de las dos alternativas contradice (2), pues, por hipótesis de inducción,  $A' \vdash \phi$  y  $A'' \vdash \phi$ . Continuando tenemos entonces, por ejemplo,  $L(A') \neq L(A)$  (el otro caso es análogo). Como  $A \leq A'$  y  $D\phi \in A$  debemos tener por definición  $\neg\phi \in A'$ , lo cual es absurdo, pues  $A' \vdash \phi$ . ■

**COROLARIO 3.8.** Sea  $\Gamma$  un conjunto de sentencias de  $\mathcal{F}_D$  tal que, para todo modelo de Kripke  $K$ ,  $K \Vdash \Gamma$  implica  $K \Vdash \phi$ . Entonces  $\Gamma \vdash \phi$ .

**Demostración.** Si  $\Gamma \not\vdash \phi$ , entonces por el lema existe  $\Gamma' \in M$  tal que  $\Gamma' \supset \Gamma$ ,  $\Gamma' \not\vdash \phi$  y  $\phi$  pertenece a  $L(\Gamma')$ . Por el teorema anterior  $M \not\vdash \phi$ , pero  $M \Vdash \Gamma'$ ; luego  $M \Vdash (\Gamma') \Vdash \Gamma$ , y  $M \Vdash (\Gamma') \not\vdash \phi$ , lo cual es una contradicción. ■

**COROLARIO 3.9.**  $\vdash \phi \Leftrightarrow \Vdash \phi$ .

**COROLARIO 3.10.**  $H_D$  es una extensión conservadora del cálculo de Heyting con la propiedad de la disyunción.

**4. Una aplicación a las lógicas intermedias**

Un modelo de Kripke  $K = (\Sigma, \leq, P)$  será *dirigido* si  $(\Sigma, \leq)$  es dirigido, y será *localmente dirigido* si para todo  $p \in \Sigma$ ,  $(\{p\}, \leq)$  es dirigido. Defina:

$$D \Vdash \phi \Leftrightarrow K \Vdash \phi \text{ para todo } K \text{ dirigido}$$

$$LD \Vdash \phi \Leftrightarrow K \Vdash \phi \text{ para todo } K \text{ localmente dirigido,}$$

Es fácil ver que estos dos conceptos son equivalentes. Evidentemente:  $LD \Vdash \phi \Rightarrow D \Vdash \phi$ . Por otra parte, si  $D \Vdash \phi$  y  $K = (\Sigma, \leq, P)$  es localmente dirigido, entonces, para todo  $p \in \Sigma$ ,  $K \upharpoonright \{p\}$  es dirigido y así  $K \upharpoonright \{p\} \Vdash \phi$ , lo cual implica  $K \Vdash \phi$ . Como  $p$  es arbitrario,  $K \Vdash \phi$ .

Mostramos ahora que el cálculo intermedio (KC en Gabbay 1981, kc en van Dalen 1986):

$$H^+ = \text{cálculo de Heyting + esquema } \neg\alpha \vee \neg\neg\alpha$$

axiomatiza las fórmulas del cálculo de Heyting que son válidas en los modelos dirigidos (localmente dirigidos). En primer lugar, es fácil ver que el esquema  $\neg\alpha \vee \neg\neg\alpha$  es válido en los modelos dirigidos; por lo tanto tenemos  $LD \Vdash H^+$ , lo cual implica, por el teorema de validez del cálculo de Heyting, que si  $\phi \in \mathcal{F}$  entonces  $\Vdash_H \phi \Rightarrow LD \Vdash \phi$ .

**TEOREMA 4.1.** Para todo  $\phi \in \mathcal{F}$ ,  $LD \Vdash \phi \Leftrightarrow \Vdash_H \phi$ .

**Demostración.** Suponga  $LD \Vdash \phi$  entonces  $D(\phi \supset \phi) \Vdash \phi$ , y, por completitud de  $\mathcal{F}_D$ ,  $D(\phi \supset \phi) \vdash \phi$ . Sea ahora  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n = \phi$  una deducción de  $\phi$  con premisa  $D(\phi \supset \phi)$  en  $\mathcal{F}_D$ . Aplicamos a cada fórmula de la deduc-

ción la transformación  $\alpha \mapsto \alpha^*$  dada inductivamente por

$$\pi^* = \pi \quad \text{si } \pi \text{ es letra proposicional}$$

$$(\neg\alpha)^* = \neg\alpha^*$$

$$(\alpha \circ \beta)^* = \alpha^* \circ \beta^* \quad \text{si } \circ \in \{ \wedge, \vee, \rightarrow \}$$

$$(D\alpha)^* = \alpha^* \supset \alpha^*$$

Evidentemente,  $\alpha^* \in \mathcal{F}$  y para los axiomas de  $\mathcal{F}_D$  tenemos:

$$\alpha \text{ axioma de } H \Rightarrow \alpha^* \text{ axioma de } H,$$

$$(D_1)^* = (\alpha^* \supset \alpha^*) \supset [(\alpha^* \supset \neg\beta^*) \vee (\alpha^* \supset \neg\neg\beta^*)],$$

$$(D_2)^* = (\alpha^* \supset \beta^*) \supset [(\beta^* \supset \beta^*) \supset (\alpha^* \supset \alpha^*)],$$

$$(D_3)^* = \neg\alpha^* \supset (\alpha^* \supset \alpha^*),$$

$$(D_4)^* = (\alpha^* \supset \alpha^*) \supset (\neg\neg\alpha^* \supset \neg\neg\alpha^*).$$

Pero,  $H \vdash (D_2)^*, (D_3)^*$  y  $(D_4)^*$  y además  $H^+ \vdash (D_1)^*$ . Por lo tanto, tenemos  $D(\alpha \supset \alpha)^* \Vdash_H \alpha_n^*$ . Como  $D(\alpha \supset \alpha)^* = (\alpha^* \supset \alpha^*) \supset (\alpha^* \supset \alpha^*)$  es trivialmente deducible y  $\alpha_n = \phi$  no contiene a  $D$ , entonces  $\Vdash_H \phi$ . ■

**Problema.** En Gabbay (1981) se demuestra que los sistemas anteriores axiomatizan también las fórmulas válidas en los modelos de Kripke con máximo. Esto sugiere estudiar el conectivo  $M$  dado por

$$K \Vdash_p M\phi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \Vdash_q \phi\} \text{ tiene máximo,}$$

que evidentemente tendrá también una versión local  $M^*\phi = \phi \supset M\phi$ , cuyo significado es que  $\{q \geq p \mid \Vdash_q \phi\}$  tiene suficientes maximales. ¿Tiene  $M$  las mismas fórmulas válidas que  $D$ ? Creemos que así es, pues todo modelo dirigido debe poder completarse para que posea un máximo.

**5. Un sistema de deducción natural para D**

Podemos reemplazar el sistema de tipo Hilbert dado en §3 para  $\mathcal{F}_D$  por uno de *deducción natural*, con reglas de eliminación e introducción para el conectivo  $D$ :

i) Reglas de deducción natural para el cálculo proposicional de Heyting (véase [Va]).

ii) D-eliminación: 
$$\frac{D\phi}{(\phi \supset \neg\psi) \vee (\phi \supset \neg\neg\psi)}$$

iii) D-introducción: si  $\pi$  es una letra proposicional que no ocurre en las premisas ni en  $\phi$  entonces

$$\frac{(\phi \supset \neg\pi) \vee (\phi \supset \neg\neg\pi)}{D\phi}$$

Llamemos  $\Vdash_N$  la deducibilidad en este sistema. Su equivalencia con  $\Vdash$  se obtiene de los lemas siguientes.

**LEMA 5.1.**  $\Vdash_N D_1, D_2, D_3, D_4$ .

**Demostración.**

a)  $\Vdash_N D_1$ . Por D-eliminación y  $\supset$ -introducción.

b)  $\Vdash_N D_2$ . Tome  $\pi$  que no ocurra en  $\phi$  ni en  $\psi$ ; entonces tenemos

$$\frac{\frac{D\psi}{(\psi \supset \neg\pi) \vee (\psi \supset \neg\neg\pi)} \text{ D-elim.}}{(\phi \supset \neg\pi) \vee (\phi \supset \neg\neg\pi)} \phi \supset \psi$$

$$\frac{\quad}{D\phi} \text{ D-introd.}$$

El resto sigue por  $\supset$ -introducción.

c)  $\vdash_N D_3$ . Tome  $\pi$  que no ocurra en  $\varphi$ :

$$\frac{\frac{\neg\varphi}{\varphi \supset \neg\pi}}{(\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)} \text{ D-introd.}$$

d)  $\vdash_N D_4$ . Tómese  $\pi$  que no ocurra en  $\varphi$ :

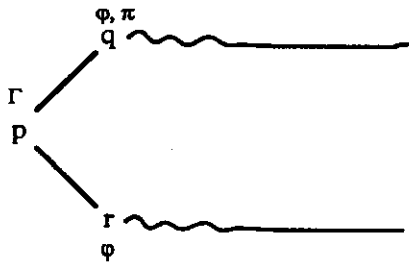
$$\frac{\frac{\frac{D\varphi}{(\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)} \text{ D-elim.}}{(\neg\neg\varphi \supset \neg\neg\pi) \vee (\neg\neg\varphi \supset \neg\neg\neg\pi)}}{(\neg\neg\varphi \supset \neg\pi) \vee (\neg\neg\varphi \supset \neg\neg\neg\pi)} \text{ D-introd.}$$

■

Del lema anterior tenemos que  $\Gamma \vdash \varphi \Rightarrow \Gamma \vdash_N \varphi$ . Para la otra implicación basta demostrar que D-eliminación y D-introducción son  $\vdash$ -deducibles. D-eliminación sale de  $D_1$  y MP. Para D-introducción demostramos el siguiente lema y aplicamos la completitud de  $\vdash$ .

**LEMA 5.2.** Sea  $\pi$  una letra proposicional que no ocurre en  $\Gamma$  ni en  $\varphi$ . Si  $\Gamma \vdash (\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)$  entonces  $\Gamma \vdash D\varphi$ .

**Demostración.** Supóngase que  $\Gamma \not\vdash D\varphi$  entonces existen  $K = (\Sigma, \leq, P)$  y  $p \in \Sigma$  tales que  $K \Vdash_p \Gamma$ , pero  $K \not\vdash_p D\varphi$ , y por lo tanto, tenemos  $q, r \geq p$  tales que  $K \Vdash_{q,r} \varphi$  y  $q \perp r$ . Podemos suponer que la letra  $\pi$  no ocurre en ningún nodo de  $K$ , pues de lo contrario la eliminamos, sin alteración de las afirmaciones anteriores. Considere ahora el modelo  $K'$  que resulta de  $K$  añadiendo  $\pi$  en el nodo  $q$  y sus sucesores:



entonces  $K' \not\vdash_p \neg\pi$  pues  $K' \Vdash_q \pi$ , y  $K' \not\vdash_p \neg\neg\pi$  ya que  $K' \Vdash_r \neg\pi$ ; lo cual implica que  $K' \not\vdash_p (\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)$ , pues  $K' \Vdash_{q,r} \varphi$ . Pero  $K' \Vdash_p \Gamma$ , luego  $\Gamma \not\vdash (\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)$ . ■

Por completitud, se sigue del lema anterior que si  $\Gamma \vdash (\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)$  y  $\pi$  no ocurre en  $\Gamma \cup \{\varphi\}$  entonces  $\Gamma \vdash D\varphi$ . Dejamos al lector hallar una demostración sintáctica de este hecho. La completitud de las reglas de eliminación e introducción de D nos indican que este conectivo es definible en la lógica proposicional intuicionista de 2º orden (ver Gabbay 1981). En efecto, si definimos

$$D\varphi \equiv \forall\pi [(\varphi \supset \neg\pi) \vee (\varphi \supset \neg\neg\pi)]$$

las propiedades lógicas de D se deducen usando simplemente las reglas de introducción y eliminación del universal.

**Problema.** ¿Podemos utilizar la definibilidad de 2º orden de D para demostrar que D está implícitamente definido por sus axiomas? Es decir, si  $D^0$  es una copia de D y  $D^0_1, D^0_2, D^0_3, D^0_4$  son las versiones correspondientes de los axiomas  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , ¿vale que  $D^0_i, D_i (1 \leq i \leq 4) \vdash_H D\varphi \leftrightarrow D^0\varphi$ ?

6. Un conectivo de compatibilidad local

Recuérdese que un conjunto parcialmente ordenado  $(\Sigma, \leq)$  es localmente dirigido si para todo  $p, q, r \in \Sigma$  con  $p \leq q, r$  se tiene  $s \in \Sigma$  con  $q, r \leq s$ . Considere el conectivo  $D'$  definido por  $K \Vdash_p D'\varphi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \Vdash_q \varphi\}$  es localmente dirigido; este conectivo es reducible a D por medio de la equivalencia:

$$D'\varphi \equiv (\varphi \supset D\varphi)$$

(de manera análoga cualquier conectivo puede ser "localizado" en los nodos). Es posible obtener una axiomatización de  $D'$  sin pasar por la equivalencia anterior:

$$D'_1: \quad D'\varphi \supset [\varphi \supset (\neg\psi \vee \neg\neg\psi)]$$

$$D'_2, D'_3, D'_4: \quad \text{los análogos de } D_2, D_3, D_4.$$

La validez de estos esquemas es inmediata. Para probar la completitud se utiliza el mismo modelo que para D y se modifica ligeramente la prueba. Obsérvese que los dos conectivos no son equivalentes para fórmulas válidas, pues

$$\Vdash D'(\varphi \supset \varphi) \supset D'\varphi \text{ y } \not\vdash D(\varphi \supset \varphi) \supset D\varphi,$$

ya que  $D'(\varphi \supset \varphi)$  y  $D(\varphi \supset \varphi)$  significan ambas que el modelo debe estar localmente dirigido. Note sin embargo que  $D\varphi \Vdash D'\varphi$ ,  $\neg D'\varphi \equiv \neg D\varphi$ , y además  $\varphi \wedge D'\varphi \equiv \varphi \wedge D\varphi$ .

La indefinibilidad de  $D'$  (y por tanto otra vez la de D) se obtiene del siguiente resultado.

**LEMA 6.1.** Si  $\varphi \in \mathcal{F}$  es satisfactible en algún modelo de Kripke, lo es en un modelo sobre  $(\Sigma, \leq)$  que no es localmente dirigido.

**Demostración.** Dado  $K \Vdash \varphi$ , podemos suponer, sin pérdida de la generalidad, que  $K = (\Sigma, \leq, P)$  donde  $(\Sigma, \leq)$  tiene primer elemento 0 y por lo menos dos elementos. Si no, se trabaja con  $K \uparrow (p)$  para algún  $p \in \Sigma$  y se añade un elemento 0 debajo de  $p$ , con  $0 \in P(\pi)$  si y solamente si  $p \in P(\pi)$ . La función que envía 0 a  $p$  y es la identidad en el resto es un homomorfismo fuerte del modelo extendido al original, así que satisface  $\varphi$  por el Lema 1.3. Finalmente, el modelo  $K \uparrow_0 K$  construido en el Ejemplo 1.4 no es localmente dirigido y sin embargo satisface  $\varphi$ . ■

**COROLARIO 6.2.**  $D'$  no es definible de los conectivos  $\neg, \wedge, \vee, \supset$ .

**Demostración.** La fórmula  $D'(\pi \supset \pi)$  es válida en un modelo de Kripke si y solamente si éste es localmente dirigido. ■

7. Conectivos de cardinalidad

Para cada cardinal  $k$  podemos introducir un conectivo intuicionista  $C^k$ , muy natural:

$$K \vdash_p C^k \phi \Leftrightarrow |\{q \geq p : K \vdash_q \phi\}| \leq k.$$

Así,  $C^0 \phi \equiv \neg \phi$ . Sin embargo, para  $k \geq 1$  ningún  $C^k$  es definible de los conectivos de Heyting, pues  $\mathcal{F}_{C^k}$  no tiene la propiedad de modelos finitos ya que:

$$K \vdash_p \neg C^k \phi \Rightarrow \forall q \geq p |\{r \geq q : K \vdash_r \phi\}| > k \geq 1,$$

lo cual impide la existencia de maximales entre los nodos de los modelos de  $\neg C^k \pi$ .

En esta sección mostramos como axiomatizar el conectivo  $C^1$  y dejamos abierto el problema de axiomatizar  $C^k$  para  $k \geq 2$ . Nótese que  $C^k$  es definible en primer orden y así  $\mathcal{F}_{C^k}$  es recursivamente axiomatizable para  $k \in \omega$ . Además,  $C^\omega$  es interpretable en  $L_{\omega\omega}(Q_1)$ , lo que da la axiomatizabilidad de  $\mathcal{F}_{C^\omega}$ . Sin embargo, no tenemos idea de cómo sería una axiomatización por esquemas para estos conectivos, excepto  $C^1$ , ni si  $\mathcal{F}_{C^{<\omega}}$  es axiomatizable, donde  $K \vdash_p C^{<\omega} \phi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \vdash_q \phi\}$  es finito.

La axiomatización propuesta para  $C^1$  es la siguiente (escribiremos  $C$  en lugar de  $C^1$ ).

**Axiomas:**

- $C_0$ . Axiomas del cálculo de Heyting,
- $C_1$ .  $C\phi \supset [(\phi \supset \psi) \vee (\phi \supset \neg\psi)]$
- $C_2$ .  $(\phi \supset \psi) \supset (C\psi \supset C\phi)$
- $C_3$ .  $\neg\phi \supset C\phi$ .

**Reglas:** Modus Ponens.

La validez de los axiomas es fácil de verificar, pues si  $K \vdash_p C\phi$ , o el conjunto  $\{q \geq p : K \vdash_q \phi\}$  es vacío, en cuyo caso se tiene  $K \vdash_p \neg\phi$  y se sigue trivialmente  $C_1$ , o bien consiste de un nodo maximal  $q$ , y sabemos que en los nodos maximales se cumplen las leyes clásicas, en particular,  $K \vdash_q \psi \vee \neg\psi$ , que da  $K \vdash_q (\phi \supset \psi) \vee (\phi \supset \neg\psi)$ .

Note que el axioma  $C_1$  es más fuerte que el correspondiente  $D_1$ . Por otra parte, el esquema  $C_4$  correspondiente a  $D_4$ :  $C\phi \supset C\neg\phi$ , no es válido, como lo ilustra el modelo:

$$1 \rightarrow 2 \\ \pi$$

donde  $\vdash C\pi$  pero  $\not\vdash C\neg\pi$ , pues  $\vdash \neg\pi$ . Estos hechos sirven para demostrar que el axioma  $D_4$  es independiente de  $D_1, D_2, D_3$ , pues si se tuviese  $D_1, D_2, D_3 \vdash_{\overline{H}} D_4$  entonces tendríamos  $C_1, C_2, C_3 \vdash C_4$  que violaría la validez del sistema para  $C^1$ .

La completitud del sistema para  $C^1$  se desprende del siguiente resultado.

**TEOREMA 7.1.** Para el modelo introducido en la prueba del Teorema 3.7 y  $\phi \in \mathcal{F}_C$  se tiene  $\mathbb{M} \vdash_A \phi \Leftrightarrow A \vdash \phi$ .

**Demostración.** Definase  $\mathbb{M}$  como en la prueba del teorema 3.7 con  $C$  haciendo el papel de  $D$ . Probamos otra vez que para toda  $\phi \in L(A)$  con  $A \subseteq \mathcal{F}_C$  se tiene

$$\mathbb{M} \vdash_A \phi \Leftrightarrow \phi \in A.$$

Solamente verificaremos el paso inductivo para  $C$ .

( $\Rightarrow$ ) Sea  $C\phi \in L(A)$  tal que

$$\mathbb{M} \vdash_A C\phi \text{ pero } A \not\vdash C\phi;$$

entonces  $A \not\vdash \neg\phi$  (axioma  $C_3$ ) y así  $A + \phi$  es consistente. Si  $\pi \notin L(A) = L(A + \phi)$  entonces  $A + \phi + \pi$  y  $A + \phi + \neg\pi$  son consistentes. Tómese  $A_0, A_1 \in \mathbb{M}$ , con  $A + \phi + \pi \subseteq A_0, A + \phi + \neg\pi \subseteq A_1$ ; entonces, por hipótesis de inducción,  $\mathbb{M} \vdash_{A_0} \phi, \mathbb{M} \vdash_{A_1} \phi$ . Como  $A_0 \neq A_1$ , debemos tener que  $A \not\vdash_{A_0} \phi$  o  $A \not\vdash_{A_1} \phi$ . Supongamos  $A \not\vdash_{A_0} \phi$ ; entonces existe  $C\psi \in A$  con  $\neg\psi \notin A_0$ , lo cual implica  $A + \phi \not\vdash \neg\psi$ . Por otra parte, debemos tener  $A + \phi \vdash \psi$ , de lo contrario, tendríamos  $A', A'' \in \mathbb{M}$  con  $A' \supseteq A + \phi + \psi$  y  $A'' \supseteq A + \phi, A'' \not\vdash \psi$  y  $L(A') = L(A'') = L(A)$ . Obviamente,  $A', A'' \geq A, A' \neq A''$  y  $\mathbb{M} \vdash_{A'} \phi, \mathbb{M} \vdash_{A''} \phi$ , por hipótesis de inducción, contradiciendo que  $\mathbb{M} \not\vdash_A C\phi$ . Finalmente:

$$\begin{array}{ll} A \vdash \phi \supset \psi & \\ A \vdash C\psi \supset C\phi & A_2 + MP \\ A \vdash C\psi & \text{pues } C\phi \in A \\ A \vdash C\phi & MP. \end{array}$$

( $\Leftarrow$ ) Suponga  $A \vdash C\phi, \mathbb{M} \not\vdash_A C\phi$ ; entonces existen

$A', A'' \in \mathbb{M}$  con  $A', A'' \geq A, \mathbb{M} \vdash_{A'} \phi, \mathbb{M} \vdash_{A''} \phi$  y  $A' \neq A''$ . Por hipótesis de inducción,

$$A' \vdash \phi, A'' \vdash \phi.$$

Sea  $\psi \in A' - A''$  (o viceversa), entonces tenemos  $A \vdash (\phi \supset \psi) \vee (\phi \supset \neg\psi)$ . Si  $L(A') = L(A)$  esto implicaría:  $A + \phi \vdash \psi$  o  $A + \phi \vdash \neg\psi$  por regularidad de  $A$ ; pero como  $A' \supseteq A + \phi$  y  $\psi \in A'$  no puede darse el segundo caso y tenemos  $A + \phi \vdash \psi$ , que da  $A'' \vdash \psi$ , una contradicción, pues  $\psi \in A' - A''$  y  $A''$  es regular. Luego  $L(A') \neq L(A)$ . Como  $A' \geq A$  y  $C\phi \in A$  esto implicaría  $\neg\phi \in A'$ , otro absurdo. ■

¿Es posible utilizar el modelo anterior para probar que la unión de los dos sistemas axiomáticos para  $\mathcal{F}_D$  y  $\mathcal{F}_C$  es completa para  $\mathcal{F}_{D,C}$ ?

**Observaciones.**

1. El axioma  $C_3$  puede reemplazarse por  $C(\perp)$ , pues  $C_2 + C(\perp) \vdash_{\overline{H}} C_3$  y  $C_3 \vdash C(\perp)$ .

2.  $C^k$  tiene su versión local  $C^{*k}$ , por ejemplo,

$$K \vdash_p C^{*1} \phi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \vdash_q \phi\} \text{ es discreto} \\ \Leftrightarrow \forall q \geq p (K \vdash_q \phi \Rightarrow q \text{ es maximal}).$$

Otros interesantes conectivos de cardinalidad son:

$$K \vdash_p \overline{C}^k \phi \Leftrightarrow |\{p\} - V_k(\phi)| \leq k,$$

en particular,  $\overline{C}^0 \phi \equiv \phi$ . Nótese que  $\overline{C}^k \phi \vdash C^k \neg\phi$ , pero no vale la equivalencia. También podemos definir una forma fuerte de densidad:

$$G_k \phi \equiv \neg\phi \wedge \overline{C}^k \phi.$$

Otras variantes son:

$$\vdash_p H_k \phi \Leftrightarrow \{q \geq p \mid \vdash_q \phi\} \text{ tiene altura } \leq k,$$

$$\vdash_p W_k \phi \Leftrightarrow \{q \geq p \mid \vdash_q \phi\} \text{ tiene anchura } \leq k,$$

donde la *altura* de  $(\Sigma, \leq)$  es el supremo de los cardinales de las cadenas de  $(\Sigma, \leq)$  y la *anchura* es el supremo de los cardinales de las co-cadenas (conjuntos de incompatibles). También:

$$\vdash_p E_k \varphi \Leftrightarrow [p] - \{q \geq p : \vdash_q \varphi\} \text{ tiene altura } \leq k,$$

que indica el tiempo máximo de "espera" para que se cumpla  $\varphi$  (si se cumple);  $\neg\neg\varphi \wedge E_k\varphi$  dá otra forma fuerte de densidad.

8. Conectivos de linealidad

Considere el conectivo L definido por

$$K \vdash_p L \varphi \Leftrightarrow \{q \geq p : K \vdash_q \varphi\} \text{ está linealmente ordenado.}$$

Creemos que la siguiente es una axiomatización completa por esquemas para L, pero no hemos podido demostrarlo:

- L<sub>1</sub>.  $L\alpha \supset [(\alpha \supset (\beta \supset \gamma)) \vee (\alpha \supset (\gamma \supset \beta))]$
- L<sub>2</sub>.  $(\alpha \supset \beta) \supset (L\beta \supset L\alpha)$
- L<sub>3</sub>.  $\neg\alpha \supset L\alpha$
- L<sub>4</sub>.  $\neg L\neg\alpha \supset \neg L\alpha.$

Nos contentaremos con axiomatizar el conectivo relacionado:

$$L^*\varphi = L\neg\neg\varphi,$$

por el sistema de axiomas:

- L\*<sub>1</sub>.  $L^*\alpha \supset [(\neg\neg\alpha \supset (\beta \supset \gamma)) \vee (\neg\neg\alpha \supset (\gamma \supset \beta))]$
- L\*<sub>2</sub>.  $(\alpha \supset \beta) \supset (L^*\beta \supset L^*\alpha)$
- L\*<sub>3</sub>.  $\neg\alpha \supset L^*\alpha$
- L\*<sub>4</sub>.  $L^*\alpha \supset L^*\neg\neg\alpha.$

El método de demostración es similar al que empleamos para D en la Sección 3. Se demuestra la existencia de extensiones regulares  $\alpha$ -consistentes para el nuevo sistema deductivo y se define el modelo  $\mathbb{M}$  de la misma manera que antes.

**TEOREMA 8.1.** Si  $\varphi \in L(A)$ , en  $\mathcal{F}_{L^*}$ , entonces

$$\mathbb{M} \vdash_A \varphi \Leftrightarrow A \vdash \varphi.$$

**Demostración.** Indicamos solamente el paso inductivo para L\*.

( $\Rightarrow$ ) suponga que  $\mathbb{M} \vdash_A L^*\varphi$  pero  $A \not\vdash L^*\varphi$ , entonces  $A \not\vdash \neg\varphi$  por L\*<sub>3</sub> y así  $A + \varphi$  es consistente. Además, para toda  $A' \in M$ , con  $A' \supseteq A + \varphi$ , se tiene  $A' \vdash \varphi$  y, por hipótesis de inducción:  $\mathbb{M} \vdash_{A'} \varphi$ . Por lo tanto:

i)  $\{A' \in M \mid A \leq A', \varphi \in A'\}$  está totalmente ordenado (hipótesis).

ii) Para toda  $\psi \in L(A)$  se tiene

$$A + \varphi \vdash \neg\psi \text{ ó } A + \varphi \vdash \neg\neg\psi,$$

pues de lo contrario podemos hallar  $A', A'' \supseteq A + \varphi$  con  $L(A) = L(A') = L(A'')$ ,  $A', A'' \in M$ ,  $\psi \in A'$  y  $\neg\psi \in A''$ , utilizando el lema de regularidad. En realidad, se tiene algo más fuerte que no utilizamos aquí: para toda  $\psi, \mu \in L(A)$  se tiene

$$A + \varphi \vdash (\psi \supset \mu) \text{ ó } A + \varphi \vdash (\mu \supset \psi).$$

Lo mismo se prueba para toda  $A' \in M$ ,  $A' \geq A$ , con  $\psi, \mu \in L(A')$ :

$$A' + \varphi \vdash (\psi \supset \mu) \text{ ó } A' + \varphi \vdash (\mu \supset \psi).$$

Considere ahora  $\pi_1, \pi_2 \in L(A)$ ,  $\pi_1 \neq \pi_2$ ; entonces

$$A + \varphi + \pi_1 \not\vdash \pi_2 \text{ y } A + \varphi + \pi_2 \not\vdash \pi_1$$

y podemos hallar  $A_i \in M$ ,  $A_i \supseteq A + \varphi + \pi_i$ ,  $i = 1, 2$ , con  $A_1 \not\vdash \pi_2$ ,  $A_2 \not\vdash \pi_1$ .

Evidentemente, no podemos tener  $A \leq A_1$  y  $A \leq A_2$  por (i). Digamos que  $A \not\leq A_1$ ; esto significa que existe  $L^*\psi \in A$  tal que  $\neg\psi \notin A_1$ . Entonces  $A + \varphi \not\vdash \neg\psi$  y, por (ii), tenemos  $A + \varphi \vdash \neg\neg\psi$ , y así:

- $A \vdash \varphi \supset \neg\neg\psi$ , (T. de la deducción)
- $A \vdash L^*\neg\neg\psi \supset L^*\varphi$ , L\*<sub>2</sub>
- $A \vdash L^*\psi \supset L^*\neg\neg\psi$ , L\*<sub>4</sub>
- $A \vdash L^*\varphi$ , pues  $L^*\psi \in A$ .

( $\Leftarrow$ ) Suponga  $A \vdash L^*\varphi$  y  $\mathbb{M} \not\vdash_A L^*\varphi$ , entonces existen  $A', A'' \in M$  con  $A \leq A'$ ,  $A''$  tales que  $\mathbb{M} \not\vdash \neg\neg\varphi$ , pero  $A' \not\leq A''$ ,  $A'' \not\leq A'$ . Halle  $\psi \in A' - A''$ ,  $\mu \in A'' - A'$ , entonces  $A' \not\vdash \psi \supset \mu$ ,  $A'' \not\vdash \mu \supset \psi$ . Ahora, si  $\psi, \mu \in L(A)$  entonces por L\*<sub>1</sub> y regularidad de A:

$$A \vdash \neg\neg\varphi \supset (\psi \supset \mu) \text{ ó } A \vdash \neg\neg\varphi \supset (\mu \supset \psi).$$

Como  $A', A'' \vdash \neg\neg\varphi$  por hipótesis de inducción, el primer caso implicaría  $A' \vdash \psi \supset \mu$ , y el segundo implicaría  $A'' \vdash \mu \supset \psi$ , una contradicción. Concluimos que  $\psi \notin L(A)$  o  $\mu \notin L(A)$ , es decir,  $L(A') \neq L(A)$  o  $L(A'') \neq L(A)$ . Supongamos  $L(A') \neq L(A)$ , entonces como  $A' \geq A$  y  $L^*\varphi \in A$  debemos tener  $\neg\varphi \in A'$ , un absurdo, pues, por hipótesis,  $\neg\neg\varphi \in A'$ , que es consistente. ■

De una manera análoga a como hicimos para el sistema KC en la Sección 4, podemos deducir de la completitud de nuestro sistema para L\* la completitud del sistema de Dummett (1959):

$$H + (\mu \supset \psi) \vee (\psi \supset \mu)$$

para las fórmulas de  $\mathcal{F}$  válidas en los modelos de Kripke lineales, o equivalentemente, las válidas en los modelos *localmente lineales*: donde  $\forall p \in \Sigma: ([p], \leq)$  es lineal.

Otros posibles conectivos intuicionistas de linealidad son:

- $\vdash_p L'\varphi \Leftrightarrow (V_p(\varphi), \leq)$  es localmente lineal,
- $\vdash_p L^\omega\varphi \Leftrightarrow (V_p(\varphi), \leq)$  es lineal de tipo  $\omega$ ,
- $\vdash_p L^k\varphi \Leftrightarrow (V_p(\varphi), \leq)$  es una cadena de cardinal  $\leq k$ ,
- $\vdash_p L^\alpha\varphi \Leftrightarrow (V_p(\varphi), \leq)$  es una cadena de cofinalidad  $\omega_\alpha$ .

9. Conectivos de Gabbay

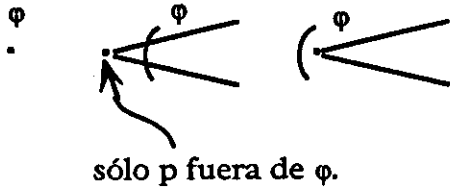
Ninguno de los nuevos conectivos que hemos presentado hasta ahora en este trabajo tiene la propiedad de modelos finitos. El siguiente ejemplo, debido a Gabbay (1981) goza de dicha propiedad:

$$K \vdash_p G\varphi \Leftrightarrow \begin{cases} |[p]| = 1 \text{ y } K \vdash_p \varphi, \text{ ó} \\ |[p]| \geq 2 \text{ y } \forall q > p: K \vdash_q \varphi. \end{cases}$$

es decir, ocurre una de las situaciones representadas en la



figura siguiente:



Es fácil ver que G es reducible al conectivo:  $K \vdash_p \bar{C}^{-1} \phi \leftrightarrow \llbracket p \rrbracket - \forall_k(\phi) \leq 1$ , introducido en la Sección 7, pues:

$$G \phi \equiv \neg \neg \phi \wedge \bar{C}^{-1} \phi \\ \equiv \phi \vee (\neg \neg \phi \wedge \bar{C}^{-1} \phi).$$

Por lo tanto,  $\mathcal{F}_G$  es un fragmento de  $\mathcal{F}_{\bar{C}^{-1}}$ . Observe que  $\neg G \phi \equiv \neg \phi$ , así que no podemos argumentar como en la Sección 3 para concluir que G no tiene la propiedad de modelos finitos.

**TEOREMA 9.1.** (Gabbay 1981, Teorema 21, p.137). G es un nuevo conectivo con la propiedad de los modelos finitos, axiomatizado por el siguiente sistema:

- G<sub>1</sub>.  $G\alpha \supset [\beta \vee (\beta \supset \alpha)]$
- G<sub>2</sub>.  $(\alpha \supset \beta) \supset (G\alpha \supset G\beta)$
- G<sub>3</sub>.  $\alpha \supset G\alpha$
- G<sub>4</sub>.  $G\alpha \supset \neg \neg \alpha$
- G<sub>5</sub>.  $((G\alpha \supset \alpha) \wedge \neg \neg \alpha) \supset \alpha$ .

Gabbay (1981, p. 168) afirma que G es definible en el cálculo proposicional de 2º orden por:

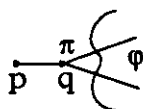
$$G\pi \equiv \forall \alpha (\alpha \vee (\alpha \supset \pi)) \quad (*)$$

lo cual es obviamente falso, pues en la estructura de un solo nodo en el cual no se fuerza  $\pi$  no vale  $G\pi$ , pero vale (por ser clásica la lógica)  $\forall \alpha (\alpha \vee (\alpha \supset \pi))$ . En realidad, (\*) es la definición correcta de 2º orden para  $\bar{C}^{-1}$ , lo cual significa que las dos reglas siguientes son válidas:

$$\bar{C}^{-1}\text{-eliminación: } \frac{\bar{C}^{-1} \phi}{\psi \vee (\psi \supset \phi)}$$

$$\bar{C}^{-1}\text{-introducción: } \frac{\pi \vee (\pi \supset \phi)}{\bar{C}^{-1} \phi}, \text{ si } \pi \text{ no ocurre en las premisas ni en } \phi.$$

Para ver la primera, suponga  $K \vdash_p \bar{C}^{-1} \phi$  entonces  $\forall q > p$ :  $K \vdash_p \phi$ . Caso 1:  $K \vdash_p \psi$ , entonces  $\vdash_p \psi \vee (\psi \supset \phi)$ . Caso 2:  $K \not\vdash_p \psi$ , entonces  $\forall q \geq p$ :  $\vdash_q \psi \Rightarrow q > p \Rightarrow \vdash_q \phi$ . Es decir,  $\vdash_p \psi \supset \phi$  y así  $\vdash_p \psi \vee (\psi \supset \phi)$ . Para ver la segunda, suponga que no vale  $\bar{C}^{-1} \phi$ . Entonces existe  $q > p$  tal que  $\not\vdash_q \phi$



Tome una letra proposicional nueva  $\pi$  y póngala en  $\{q\}$  entonces  $\not\vdash_p \pi$ ,  $\not\vdash_p \pi \supset \phi$  y así  $\not\vdash_p \pi \vee (\pi \supset \phi)$ .

**Problema 1.** Mostrar que estas reglas, junto con las naturales para  $\mathcal{F}$  axiomatizan a  $\mathcal{F}_{\bar{C}^{-1}}$ .

**Problema 2.** ¿Es la siguiente una axiomatización completa por esquemas para  $\bar{C}^{-1}$ ?

- 1.  $\bar{C}^{-1} \alpha \supset (\beta \vee (\beta \supset \alpha))$
- 2.  $(\alpha \supset \beta) \supset (\bar{C}^{-1} \alpha \supset \bar{C}^{-1} \beta)$
- 3.  $\alpha \supset \bar{C}^{-1} \alpha$ ,

es decir, los tres primeros axiomas de G. Dejamos al lector comprobar su validez para  $\bar{C}^{-1}$ . Por supuesto  $\bar{C}^{-1} \alpha \supset \neg \neg \alpha$  no es válido; precisamente, puede fallar cuando  $\llbracket p \rrbracket = 1$ .

Dado un conectivo C, sea  $H_C = \{\phi \in \mathcal{F}_C : \vdash \phi\}$ . Considerando a  $H_C$  como un sistema axiomático con Modus Ponens como su única regla, la definición general de conectivo de Gabbay puede expresarse como sigue:

**DEFINICION 9.2.** C es un conectivo de Gabbay si cumple:

- 1.  $H_C$  es una extensión conservadora de H.
- 2.  $H_C$  tiene la propiedad de la disyunción.
- 3. Para toda  $\phi \in \mathcal{F}$ ,  $(C(\pi_1, \dots, \pi_n) \leftrightarrow \phi) \in H_C$ .
- 4.  $H_C + \{\alpha \vee \neg \alpha : \alpha \in \mathcal{F}_C\} \vdash C(\pi_1, \dots, \pi_n) \leftrightarrow \phi$ , para alguna  $\phi \in \mathcal{F}$ .
- 5.  $H_C + H_{C'} \vdash C(\pi_1, \dots, \pi_n) \leftrightarrow C'(\pi_1, \dots, \pi_n)$ , donde  $H_{C'}$  consiste de todas las fórmulas de  $H_C$  con C substituida por un símbolo distinto C'.

Gabbay (1981, lema 8, p. 132) muestra que las cinco condiciones se cumplen para G. Por otra parte, hemos visto que las condiciones 1, 2, 3 valen para todos los conectivos como los hemos definido. Sin embargo, las propiedades 4 y 5 no se cumplen en general. Por ejemplo, el conectivo D de la Sección 3 no cumple 4 (no sabemos si cumple 5).

**LEMA 9.3.**  $H_D$  no cumple la condición 4 de Gabbay.

**Demostración.** Si  $H_D$  cumpliera 4, entonces habría una fórmula  $\psi \in \mathcal{F}(\{\pi\})$  tal que:

$$H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\} \vdash D\pi \leftrightarrow \psi.$$

Como  $D\pi$  es válida en modelos de solo un nodo, y  $H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\}$  también, entonces  $\psi$  sería válida en modelos de un nodo. Pero  $\psi \in \mathcal{F}$  y  $H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\}$  es completo para tautologías clásicas; luego se tendría:  $H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\} \vdash \psi$ , y así  $H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\} \vdash D\pi$ . Veamos que éste no es el caso. Considere la semántica que consiste en interpretar las fórmulas en el árbol binario infinito, de manera que las letras proposicionales se interpreten siempre por  $P(\pi) = \emptyset$  o  $P(\pi) = \Sigma$  (todo el conjunto). Por inducción se puede probar que esta propiedad se hereda, es decir,  $V(\phi) = \emptyset$  o  $V(\phi) = \Sigma$  para toda  $\phi \in \mathcal{F}_D$ . El único paso inductivo no trivial es el de D. Pero si  $V(\phi) = \emptyset$  entonces para todo  $p \in \Sigma$ :  $\vdash_p \neg \phi$ , y así  $\vdash_p D\phi$ . Si  $V(\phi) = \Sigma$  entonces para todo  $p \in \Sigma$  existen  $q, r \geq p$  tales que  $q \perp r$ ,  $\vdash_q \phi$  y  $\not\vdash_r \phi$ . Por lo tanto  $\not\vdash_p D\phi$  para todo  $p$ , y así  $V(D\phi) = \emptyset$  (esto muestra que para tal semántica  $D\phi \equiv \neg \phi$ ). En fin,  $\{\alpha \vee \neg \alpha\}$  y por supuesto  $H_D$  son válidos para esta semántica, pero  $D\pi$  no lo es. ■

Si  $\pi_0$  es una letra proposicional fija, se tiene:

$$H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\} \vdash D\phi \leftrightarrow (\phi \supset D(\pi_0 \vee \neg \pi_0)).$$

pero  $H + (D\phi \leftrightarrow (\phi \supset D(\psi \vee \neg \psi)))$  permite deducir los axiomas de  $H_D$ , como el lector puede comprobar. Por tanto, tenemos una lógica modal clásica:

$$H_D + \{\alpha \vee \neg \alpha\} = \text{Cálculo Clásico} \\ + \{ D\phi \leftrightarrow (\phi \supset D(\psi \vee \neg \psi)) \}.$$

Se desprende de la prueba del teorema anterior que la semántica natural para esta lógica modal "clásica" consistirá de los modelos de Kripke  $K = (\Sigma, \leq, P)$  que cumplen:

- i)  $(\Sigma, \leq)$  es el árbol binario o  $(\Sigma, \leq)$  es dirigido,
- ii)  $\forall \pi : P(\pi) = \emptyset$  o  $P(\pi) = \Sigma$ .

con la interpretación original para D.

En realidad no creemos que la condición 4 de la definición de Gabbay sea natural. Cualquier conectivo se puede transformar fácilmente en uno que la cumple; por ejemplo, si definimos:

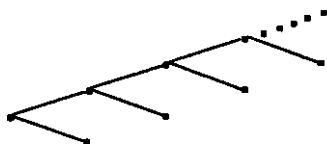
$$D^*\phi = \phi \vee (\neg\neg\phi \wedge D\phi),$$

entonces  $\phi \vdash D^*\phi \vdash \neg\neg\phi$  y, por lo tanto,  $\{\alpha \vee \neg \alpha\}$  fuerza  $D^*\phi \equiv \phi$ . Pero no vemos por qué  $D^*$  tiene más derecho que D a ser considerado un conectivo intuicionista.

La condición 5 parece más razonable, pero hay conectivos semánticamente diferentes con las mismas fórmulas válidas, por ejemplo la negación satisface los axiomas del conectivo  $C^1$  de la Sección 7 (pero por supuesto la negación también satisface leyes que  $C^1$  no satisface). Curiosamente, Gabbay acepta entre sus conectivos (Gabbay 1977, pág 169) uno que no satisface 5. Se trata de un conectivo de densidad fuerte introducido por Kaminski (1988):

$$K \vdash_p B\phi \leftrightarrow \{q \geq p : \vdash_q \phi\} \text{ intersecciona toda cadena} \\ \text{maximal que pasa por } p.$$

Evidentemente,  $\vdash B\phi \supset \neg\neg\phi$ , pero el recíproco no vale, como lo ilustra el árbol infinito.



pues si R es la rama superior,  $\Sigma - R$  es denso pero no intersecciona a R.

**TEOREMA 9.4.** (Kaminski 1988, teoremas 1, 3, 4) B está axiomatizado por:

- B<sub>1</sub>.  $\phi \supset B\phi$
- B<sub>2</sub>.  $B\phi \supset \neg\neg\phi$
- B<sub>3</sub>.  $BB\phi \supset B\phi$
- B<sub>4</sub>.  $B(\phi \supset \psi) \supset (B\phi \supset B\psi)$ .

**COROLARIO 9.5.** B no cumple la condición 5 de Gabbay.

**Demostración.** B<sub>1</sub> a B<sub>4</sub> son válidos para  $B = \neg\neg$ .

**Reconocimiento.** Algunos de los resultados aquí consignados (en las secciones 3 y 8) mejoran y completan resultados obtenidos originalmente por Fernando Zalamea (1986) y José Iovino (1988) en trabajos adelantados bajo nuestra orientación en la Universidad de los Andes.

**Bibliografía**

Bowen, K. A. 1971. *An extension of the intuitionistic propositional calculus*. Indagatione Mathematicae, V. 33: 287-294.

Calcedo, X. 1990. *Elementos de Lógica y Calculabilidad*, Segunda Edición, Una Empresa Docente.

Van Dalen, D. 1983. *Logic and Structure*, Second Edition. Springer-Verlag.

\_\_\_\_\_ 1986. *Intuitionistic Logic*. Cap. III 4 in *Handbook of Philosophical Logic*, Gabbay and Guentner (eds.). Reidel Publ. Co.

Dummett, M. A. 1959. *A propositional calculus with a denumerable matrix*. Jour. of Symbolic Logic 24: 96-107

Fitting, M. Ch. 1969. *Intuitionistic Logic, Model Theory and Forcing*. North Holland.

Freyd, P. 1972. *Aspects of topoi*. Bulletin of the Australian Math. Soc. 7: 1-76.

Gabbay, D. M. 1977. *On some new intuitionistic propositional connectives, I*. Studia Logica 36: 127-139.

\_\_\_\_\_ 1981. *Semantical Investigations in Heyting Intuitionistic Logic*. Reidel Publ. Co.

Goldblatt, R. 1984. *Topoi, the Categorical Analysis of Logic*. North Holland.

Iovino, J. 1988. *Conectivos Intuicionistas y Lógica Proposicional Intuicionista de Segundo Orden*. Preprint, Uniandes.

Kaminski, M. 1988. *Nonstandard connectives of intuitionistic propositional logic*. Notre Dame Jour. of Formal Logic 29 (3): 309-331.

Kirk, R. E. 1980. *A characterization of the classes of finite frames that are adequate for the intuitionistic logic*. Z. Math. Logik Grundl. Math. 26 (6): 197-501.

Kripke, S. 1965. *Semantical analysis of intuitionistic logic*. In *Formal systems and recursive functions* (eds. J. Crossley and M. Dummett). North Holland, Amsterdam: 92-130.

Lindström, P. 1969. *First order predicate logic with generalized quantifiers*. Theoria 32: 186-195

López-Escobar, E.G.K. 1985. *On intuitionistic sentential connectives, I*. Rev.Col. de Mat. 19: 117-130.

Maksimova, L. 1972. *Pretabular superintuitionistic logic*. Algebra i Logika 11: 558-570.

McCullough, D. P. 1971. *Logical connectives of intuitionistic propositional logic*. Jour. of Symbolic Logic 36: 5-20.

Rauzer, C. 1974. *A formalization of propositional calculus of H-B logic*. Studia Logica 33: 22-33.

Troelstra, A. S. 1981. *On a second order propositional operation in intuitionistic logic*. Studia logica 40: 113-140.

Zalamea, F. 1986. *Conectivos intuicionistas*. Preprint, Uniandes.

# DISTRIBUTION OF NEOTROPICAL SIMULIIDAE (INSECTA, DIPTERA) AND ITS AREAS OF ENDEMISM

por

Sixto Coscarón\* and Cecilia L. Coscarón-Arias\*\*

## Resumen

Coscarón, S. & C.L. Coscarón-Arias.: Distribution of neotropical simuliidae (insecta, diptera) and its areas of endemism. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **19** (75): 717-732, 1995. ISSN 0370-3908.

Se presenta un estudio biogeográfico de la fauna de simúlidos neotropicales considerando 340 especies incluidas en 26 taxa supraespecíficos. Se analiza e indica la distribución de cada género, subgénero y grupo de especies. Se obtuvieron 16 áreas de endemismo con más de 9 taxa endémicos en relación con los campos biogeográficos conocidos. Se describe una diagnosis corta de las áreas endémicas con sus taxon y se señalan las especies monocéntricas y policéntricas. Se incluyen 6 mapas con la distribución de especies y uno con las áreas de endemismo.

**Palabras clave:** Simuliidae, Región neotropical, Distribución, Areas de endemismo.

## Abstract

Biogeographic study on Neotropical black fly fauna, on 340 species included in 26 supraespecific taxa is made. Each genus, subgenus, or species group is analyzed indicating its distribution. Sixteen black fly areas of endemism having more than nine endemic taxa, were obtained in reference to known biogeographical realm. A short endemic area diagnosis and its taxa are described, and a number of monocentric and polycentric species are pointed out. Additionally six maps with species distributions and a map of areas of endemism are included.

**Key words:** Simuliidae, Neotropical Region - Distribution - Areas of endemism.

## Introduction

Most researchers working in taxonomy like to explore biogeographic relationships. But when the study includes a biote fauna with a high diversity as that of the Neotropical Region, the curiosity on possible biogeographic relationships becomes stronger. This region has the richest fauna in the world, with the largest number of supraspecific taxa and primitive endemism (Crosskey 1981; 1991). Based on the present distribution of species, their taxonomy and paleogeographic information, it is possible to infer biotic evolution. A

complete knowledge of species distribution results fundamental to reach this objective. According to this reason, we intend to gather here the dispersed information about the corology of black flies, published elsewhere, and new unpublished records. New records in a relatively unknown area as the Neotropical realm will help to understand its biogeography. Also, we wish to establish the distribution of different black fly taxa and compare them with known biogeographic realm in order to obtain a map of areas of endemism not reported before. This information will be also useful for future historical analysis applying vicariance biogeography.

Black flies are man and animal parasites and pathogenic vector species (Coscarón 1971, Shelley 1988). We consider then that this black fly distribution information can be useful in future epidemiology and sanitary studies.

\* Fac. Ciencias Naturales y Museo, La Plata, Argentina.

\*\* Fac. Ciencias Agrarias, Cinco Saltos, Argentina.

We are aware of scarce information on records in the vast Neotropical realm, stretching from Southern United States and Northern Mexico to the southern end of the continent. On the other hand, distribution includes some not well explored areas, and some other with collections made in trips during only one season of the year, which gives then partial information. Besides, there is a lack of an updated revision of the subgenus *Simulium* (*Simulium*), with about 25 species mentioned for this realm.

In the present report, we review and update available records of Neotropical black flies and we analyze whether it is possible to outline a geographic distribution and to differentiate areas of endemism. Although black fly biology requires strictly freshwater (rivers and creeks) for development of larval instars, we analyze how far this distribution corresponds to a general faune pattern which is generally related to a floristic range.

### Material and methods

Corological information was obtained from authors cited by Coscarón (1987), Coscarón 1990, 1991, Coscarón *et al.* (1991), Coscarón *et al.* (inedit), Coscarón & Takaoka (1989), Ibáñez Bernal (1992), Muñoz de Hoyos (1994), Py-Daniel (1987, 1988, 1989a, 1989b, 1990), Py-Daniel & Moreira (1988), Ramírez Pérez *et al.* (1984, 1986, 1988), Shelley (1988), Shelley *et al.* (1989), Takaoka & Takahasi (1982), Vargas & Ramírez Pérez (1988), Wygodzinsky & Coscarón (1989). The information was summarized and depicted on maps. Areas of endemism were obtained by overlapping taxonomic distributions on maps of biogeographic realms according to Cabrera & Willink (1973). Areas with less than 9 reported species were discarded. Areas smaller than those considered by Cabrera & Willink (1973), Müller (1973), or special areas cited by Peña (1966) for Chile or by Roig (1990), Morrone (1991), were not considered in the present report. Nomination of areas of endemism and acronymus used for their individualization are summarized in figure 7.

Generic names are based on Wygodzinsky & Coscarón (1973) and subgenera of *Simulium* on Coscarón (1987). Maps presented here correspond only to unpublished distribution maps. References about published subgeneric taxa maps are added to each taxa description.

#### I. Diversity of Neotropical Simuliidae

Up to now, Neotropical Simuliidae fauna has 11 genera. Ten out of them can be considered as a practical but not phylogenetic group described by Wygodzinsky & Coscarón (1973) the Prosimuliini, an endemic primitive taxa with about 90 species. The remaining genus is the cosmopolitan genus *Simulium*, with over 250 species grouped in 18 neotropical supraspecific taxa.

The genus *Gigantodax* is the largest Prosimuliini taxon, comprising 68 species. Together with *Cnesia*, they have been reported to be a monophyletic group, and gave rise to the first clado in Neotropical Simuliidae cladogram analysis (Py-Daniel, 1990).

*Gigantodax* is widespread along mesoamerican mountains and the Andes Range, from Central Mexico to Tierra del Fuego the southernmost continental region.

This genera is the largest latitudinally extended taxa in the world. Most of its breeding places are located in small fairly torrential streams.

According to the species groups proposed by Wygodzinsky & Coscarón (1989) the first is called "cortesi group" (3 spp), which has a distribution restricted to the peruvian-bolivian-chilean-argentinean area so-called "Puna". The "igniculus group" (2 spp) is distributed on the South Andes slopes with an altitude range from about 800 to 1.600 meters in Central Chile up to sea level in Tierra del Fuego. The "minor group" (3 spp) lives in the Andean *Nothofagus* forest, from 43° of latitude up to the desertic area in the northern Central Chile. Another species of uncertain taxonomic location and endemic of bolivian Puna should be added to this group. The "multifilis group" (1 spp) is restricted to the ecuatorian Andes. The "brophyi group" (18 spp) has a distribution from North Colombia and Venezuela up to Tierra del Fuego. It is composed by two subgroups: the northern one, spread on the Andes of Venezuela, Colombia and Ecuador has also two isolated species in the peruvian plateau. The southern subgroup lives in the chilean *Nothofagus* forest, located from the parallel 30° up to the end of the continent. The "cilicinus group" (10 spp) is widespread from northern Venezuela to the parallel 40° on the South. The "cormonsi group" distribution extends from central Colombia to north Chile and overlaps "cilicinus" group's. The "wrighti group" (17 spp) has the largest distribution occupying an area extended from Central Mexico up to Tierra del Fuego (Fig. 6).

Taking into account that the most generalized species are distributed in the south of the continent, it seems that the dispersion to the North should have followed the Andean Range. It should not have been necessary during Andes rise, because this area had already emerged in the Upper Cretacic (Cracraft & Prum, 1988). A continental facies has been present since the Lower Tertiary at least, on a stripe over the eastern border of the Andes, from Venezuela and Colombia to southern Perú. During the Middle Eocene and the Upper Oligocene it reached northern Argentina and later between the Upper and Middle Miocene this continental area reached Mendoza province (Argentina). Finally on the Pliocene it reached Patagonia (Harrington, 1968).

*Cnesia* is represented by three species allocated from Central Chile to the southern extremity of the continent along the *Nothofagus* forest. *Cnesia* has the same distribution area of *Cnesiamima* and *Paraustrosimulium* both monospecific genera (Fig. 1). These genera show an interesting similarity with Australian black flies which is considered as an evidence of their filogenetic relationship.

There are two other southern monoespecific genera located in Central Chile (Fig. 1). *Araucnephia* a peculiar genus presumed to be opposite to other similar Simuliinae (Py-Daniel, 1990). *Araucnephioides* constitutes with four other Holartic genera, a monophyletic group (Py-Daniel, 1990). According to this, it can be suggested that the ancestor of this genera lived in the American continent at the beginnig of the Tertiary.



Figure 1: Distribution of genera *Tlalocomyia*, *Mayacnephia*, *Araucnephia*, *Araucnephioides*, *Cnesia*, *Cnesiamima*, *Paraustrosimulium*, *Lutzsimulium* and *Kempfsimulium*.

*Tlalocomya* with *Mayacnephia* and *Lutzsimulium* form another monophyletic clado (Py-Daniel, 1990). The presence of apomorphic characters shared with South American taxa would indicate a gondwanic ancestor. *Tlalocomya* and *Mayacnephia* are both mesoamerican genera and form a monophyletic group. *Tlalocomya* is a monospecific genus endemic in Central Mexico mountains (Fig. 1).

*Mayacnephia* has 9 mesoamerican species known, spread from Mexico to Panama plus another two species in West U.S.A. and Canada (Fig. 1).

*Lutzsimulium* with 3 described species, has a distribution restricted to southeastern Brazilian mountains. Together with *Kempfsimulium* they are the only two genera living in the East of South America at the Brazilian shield (Fig. 1). *Kempfsimulium* is monospecific and reaches the southern border of Amazonia.

*Simulium* is a cosmopolitan genus represented in the Neotropical realm by 17 supraspecific taxa. We will mention here the subgenera and species groups following the order as it was proposed by the author in 1987, in his hypothetical cladogram. We do not take account of the distribution of *Eusimulium*, *Byssodon* and *Psilozia*, although there are species present in northern Mexico, because these genera are considered Holarctic.

*Simulium* (*Pternaspatha*) is a typical austral genus distributed to the West, from Ecuador to Tierra del Fuego. It has two monophyletic groups: *nigristrigatum* (11 spp) and *memorale* (16 spp). These two groups spread in both watershed of Andean Cordillera from southern Peru to Tierra del Fuego. Puna and Patagonia realms seemed to be the most important diversity centers. This genus has an endemic species in Ecuador (Coscarón and Coscarón-Arias ined.), and show sympatry with *Gigantodax* and *Cnesia* genera. It competes with *Cnesia* in the southern torrential rivers.

*Simulium* "blancasi group" (3 spp) is an unnominated taxon with subgenus rank. It shows high affinity with *S. Pternaspatha*, which is considered its sister group. It breeds in the Peruvian and Chilean desert. Some species reach the Andean slopes near the Puna plateau (Fig. 3).

*Simulium* (*Notolepria*) (6 spp) is the sister group of the clado integrated by *S. (Inaequalium)*, *S. (Psaroniocompsa)*, *S. (Cerqueirellum)* and *S. (Coscaroniellum)*. It is distributed in Mesoamerica and northwestern South America on both Andean watershed, being northwestern Argentina its austral limit. The tropical eastern region of South America is scarcely occupied, but *Simulium* (*Notolepria*) is absent in Amazonia. This taxa has high antropophilic species, reported as onchocercosis vector (Fig. 3).

*Simulium* (*Inaequalium*) (15 spp) is a subgenus predominant in the southeastern Brazilian mountains, reaching Venezuela and Panama to the North and Northwest of Argentina (Coscarón and Coscarón-Arias ined.).

*Simulium* "quadrivittatum group" is a monospecific taxon of subgeneric rank distributed on northwestern South America, Antilles and lowlands of Mesoamerica.

*Simulium* (*Psaroniocompsa*) (16 spp) is a typical subgenus of southeastern Brazilian mountains, mostly overlapping *Inaequalium* distribution but extending to south reaching Central Patagonia (Coscarón and Coscarón-Arias ined.).

*Simulium* (*Cerqueirellum*) (14 spp) has the largest distribution area along the basin of bigger warm rivers of South America such as: Amazonas, Orinoco, Paraná, Uruguay and Magdalena. It is important to point out that each river seems to have developed its own fauna because each one has its peculiar species.

*S. (Cerqueirellum)* characterizes the Amazonia realm, occupying a huge area of eastern tropical land and reaching up to Buenos Aires province (Argentina) to the South (Fig. 3).

There is one species breeding in the Magdalena valley (Colombia) and a peculiar species has been reported for North Mexico at San Luis Potosí (Coscarón and Ibañez Bernal, in press).

*Simulium* (*Coscaroniellum*) (4 spp) shows nearly the same distribution area as *S. (Cerqueirellum)* (Fig. 2).

*Simulium* (*Chirostilbia*) (12 spp) is characteristic of southeastern Brazilian mountains with a distribution pattern that resembles *S. (Inaequalium)*'s (Coscarón and Coscarón-Arias, ined.).

*Simulium* "oviedo group" is an unnominated taxon constituted by 2 species from Andes to Mérida (Venezuela). They have a very generalized morphology, despite some autoapomorphies that support its subgeneric category.

*Simulium* (*Ectemnaspis*) provisionally includes 4 species groups that probably will obtain a subgeneric category in future. The first group, with more generalized characters is "bicoloratum group" (14 spp) with the largest spread in the northern Andes of Venezuela, Colombia and Ecuador reaching southern Andes oriental slopes up to northwestern Argentina. One species has been observed in Sierra de la Ventana (Coscarón, 1991) at southern Pampas steppe (Argentina).

The "romanai group" (8 spp) distribution area mostly overlaps "bicoloratum group"'s but it is wider to the North along Caribbean realm and Roraima reaching southeastern Brazilian mountains and stretching away across northern Patagonia (Coscarón, 1991).

The "perflavum group" (7 spp) spreads over Guiana suggesting that diversification could have taken place at this old shield. Its distribution is similar to that of *S. (Chirostilbia)*, but it extends longer in northern Colombia. The "perflavum group" is a peculiar inhabitant of tropical reddish soil areas.

The "dinellii group" (10 spp) shows an opposite distribution to "perflavum group", both considered sister groups (Coscarón, 1987). It spreads along the circumcaribbean area, including northern Venezuela, Antillas and the lowlands of Mesoamerica. In South America there is one species breeding in the southeastern



Figure 2: Distribution of *Simulium (Notolepria)* and *S. (Coscaroniellum)*.

Brazilian mountains, and some other species are present in an occidental stripe which stretches to northwestern Argentina (Coscarón, 1991).

*Simulium (Psilopelmia)* (27 spp including 5 nearctic species restricted to U.S.A.) (Peterson, 1993) shows the largest endemism in Mexico and Guatemala. Three species of North Mexico were found in western U.S.A. and one was collected in Canada. On the other hand four species are shared with northern South America. Finally two others are endemic of South America, one of them spreads in the West up to northern Chile and the other one breeds in Guayana (Coscarón et al, in press).

*Simulium (Simulium)* (25 spp) shows a distribution similar to *S. (Psilopelmia)*, being Mesoamerica the principal diversification area. Besides it extends to Antilles, northern South America, and to the West it reaches its farthest southern distribution at North Chile (Fig. 6).

*Simulium (Hearlea)* (20 spp) is restricted to the Mesoamerican mountains (exception made of one species found in West Canada) (Fig. 4). *S. (Hearlea)* is probably an ancient taxon diversified in this biogeographic area, unable to cross the Ithmus of Panama (emerged at the end of the Tertiary).

*Simulium (Hemicnetha)* (20 spp) is the sister group of *S. (Hearlea)* (Coscarón, 1987), showing the greatest distribution in the highlands of Mesoamerica, reaching northern South America.

It shows a high dispersion capacity which has allowed it to reach the southeastern Brazilian mountains and northwestern Argentina.

This subgenus is also present in the Nearctic realm with three species distributed in western U.S.A. and Canada. Two species were cited also for Palearctic realm (Rubtsov, 1940). This subgenus has three species groups:



Figure 3: Distribution of *Simulium* (*Cerqueirellum*) and *Simulium* "blancasi group".

"*brachycladum*", "*mexicanum*" and "*paynei*" and it has the largest distribution in Mesoamerica (Fig. 5).

The "*brachycladum* group" (5 spp), has three species present in Mesoamerica. The other two species are endemic of Roraima and southeastern Brazil respectively.

The "*paynei* group" (5 spp) has four mesoamerican species. One of them reaches northwestern South America and the other four are endemic of South America (from Venezuela to southeastern Brazil).

The "*mexicanum* group" (11 sp) is the most diversified one. Ten species are mesoamerican and the remaining one is located from North to West in South America (absent in the Southeast).

Some species have a wide distribution such as *seriatum* (which spreads from Mexico to Venezuela and Northwest Argentina) and *paynei* (breeding from Mexico

to Central Perú). They demonstrate a surprising lack of diversification associated to a high adaptability to different environments.

*Simulium* (*Grenieriella*) (7 spp) considered the sister group of *S. (Hemicnetha)* is therefore morphologically very close to it. It has three species groups (Coscarón, 1987). The distribution is restricted to a stripe along North of Venezuela and Colombia up to Central Argentina. Only one species stretches to southeastern Brazil (Fig. 4). *S. (Grenieriella)* has a similar distribution to that of *S. "romanai* group".

*Simulium* (*Thyrsopelema*) (8 spp) is a monophyletic taxon with three species groups. The widest distribution takes place at the southeastern Brazilian mountains, but stretching away across Cerrado realm is also present in the circumamazonicum shield (Roraima, South Venezuela). Some species breeds in the rivers coming from



Tandilia shield up to Necochea (Buenos Aires province) in the South of Pampas region (Fig. 6).

This taxon points out an affinity with the ethiopic *S. (Anasolen)* by the presence of similar tegumentary scales in larval body. The hypothesis of a filogenetic relationship is reinforced by the fact that the two present day distribution where both these taxa breeds (*S. (Thyrsopelma)* in Brazilian shield, and *S. (Anasolen)* in Ethiopic region) belonged to the paleocontinent of Gondwana.

II.- Areas of endemism in Neotropical realm

Through the analysis of taxa distribution and its relationships with classical biogeographic areas, it is

possible to outline 16 different areas of endemism of black fly (Fig. 7).

1.- Subantarctic (SU).

*Location:* Long stripe from Concepción (37° lat. S) in Chile to Tierra del Fuego in western Argentina.

*Climate:* Temperate and humid, with rains all the year.

*Monocentric species:* Total : 14 species. *Cnesiamima* (1 sp.), *Lutzsimulium* (1 sp.), *Cnesia* (2 spp.), *Gigantodax*: "igniculus gr." (2 spp.), "minor gr." (1 sp.), "brophyi gr." (4 spp.), "wrighti gr." (1 sp.), *Simulium (Pternaspakta)* "nigristrigatum gr." (1 sp.) and "nemorale gr." (1 sp.)



Figure 4: Distribution of *Simulium (Hearlea)* and *S. (Grenierella)*.

**Polycentric species:** Total: 13 species. *Araucnephia* (1 sp.), *Cnesia* (1 sp.), *Gigantodax* (7 spp.), *S. (Pternaspatha)* (4 spp.).

**Description:** This area is very close to the homonymous province of **Cabrera and Willink** (1973), the "*Nothofagus* Center" of Müller, or "Araucanian Subregion" of **Monrós** (1958). It is a realm of forests and meadows, with many endemic species. Tropical taxa are absent. Subantarctic fauna shows some relationships with australian fauna. It remains isolated from the rest of American continent due to the barriers formed by the Andean Cordillera and the semidesertic Patagonian

steppe in the East, and the Chilean desert towards the North. During the Upper Cretacic and the Tertiary a narrow patagonic sea connected Atlantic and Pacific oceans and isolated Cordillera Austral and Principal at the Miocene (**Camacho**, 1967). This sea could have been an effective barrier.

The four polycentric species of *S. (Pternaspatha)* are shared with Central Chile realm (12 spp.) and Patagonia (5 spp.). The presence of some relict species as *G. chilensis* in Valcheta (Río Negro) and *G. marginalis* in Piedra del Aguila (Neuquén) in Patagonia, far away from the present limit of the Subantarctic realm, suggests



Figure 5: Distribution of *Simulium (Hemicnetha)*.

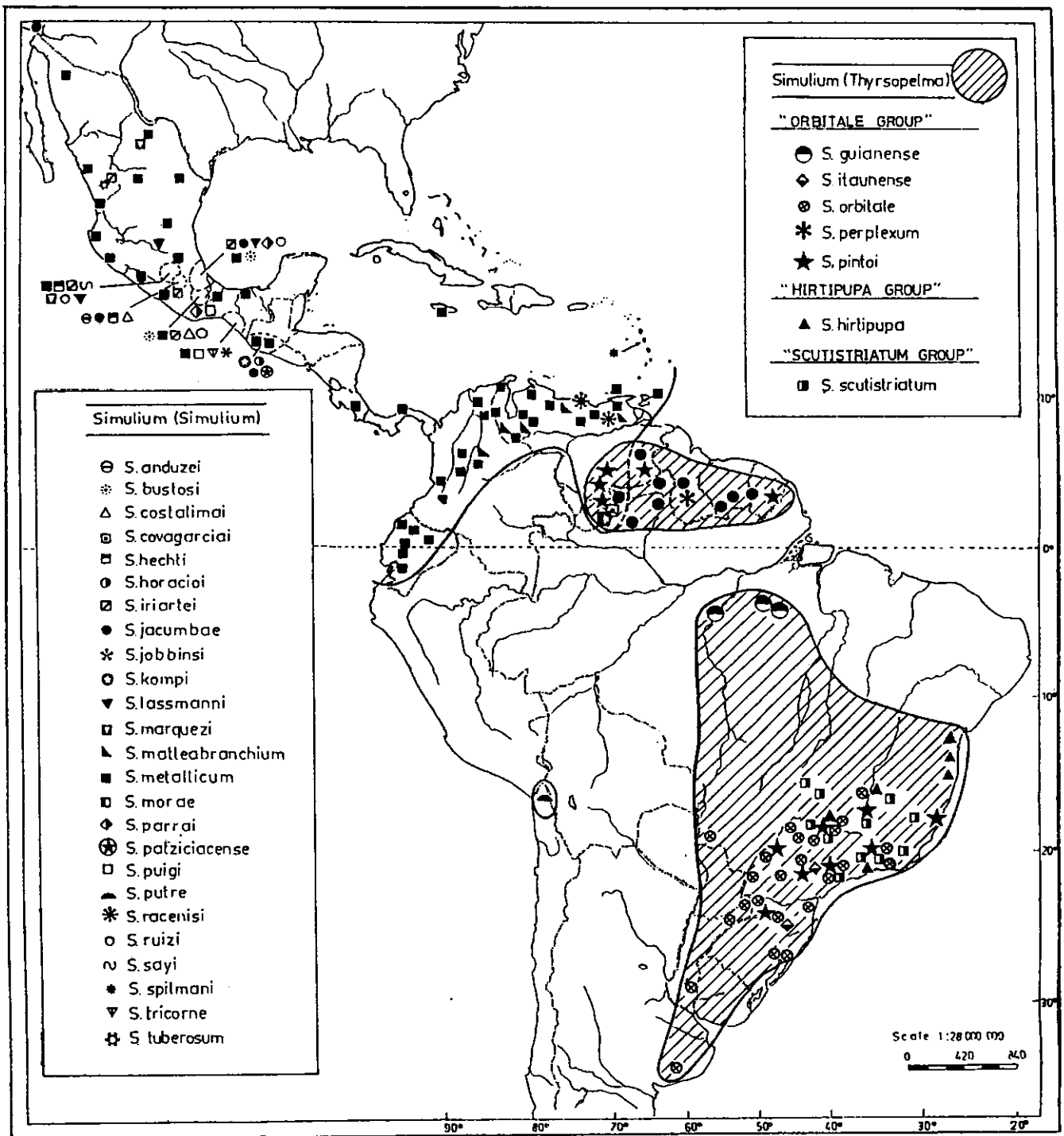


Figure 6: Distribution of *Simulium (Simulium)* and *S. (Thyrsopelma)*.

that in the past this area was larger than nowadays, specially towards the East.

**2.- Central Chile (CH)**

**Location:** From Coquimbo to Concepción (between 30° to 37° lat. South).

**Climate:** Temperate mediterranean

**Monocentric species:** Total : 3 species. *Araucne- phioides* (1 sp.), *Gigantodax "brophyi gr."* (2 spp.)

**Polycentric species:** Total : 13 species. *Araucne- phia* (1 sp.), *Cnesia* (1 sp.), *Gigantodax* (7 spp.), *S. (Pternaspatha)* (4 spp.).

**Description:** It corresponds approximately to the "Coquimbo desert" region of Peña (1966) or to the "Chilean province" of Cabrera and Willink (1973).

This region shows small forests and chaparral. It shares species specially with the Subantarctic realm and a few ones with the Desert and Patagonian regions.

**3.- Desert (DE)**

**Location:** Long occidental stripe between the Pacific coast and the Andes Range from Central Chile to South Ecuador including Chilean-peruvian desert.

**Climate:** desertic temperate, very dry without rains.

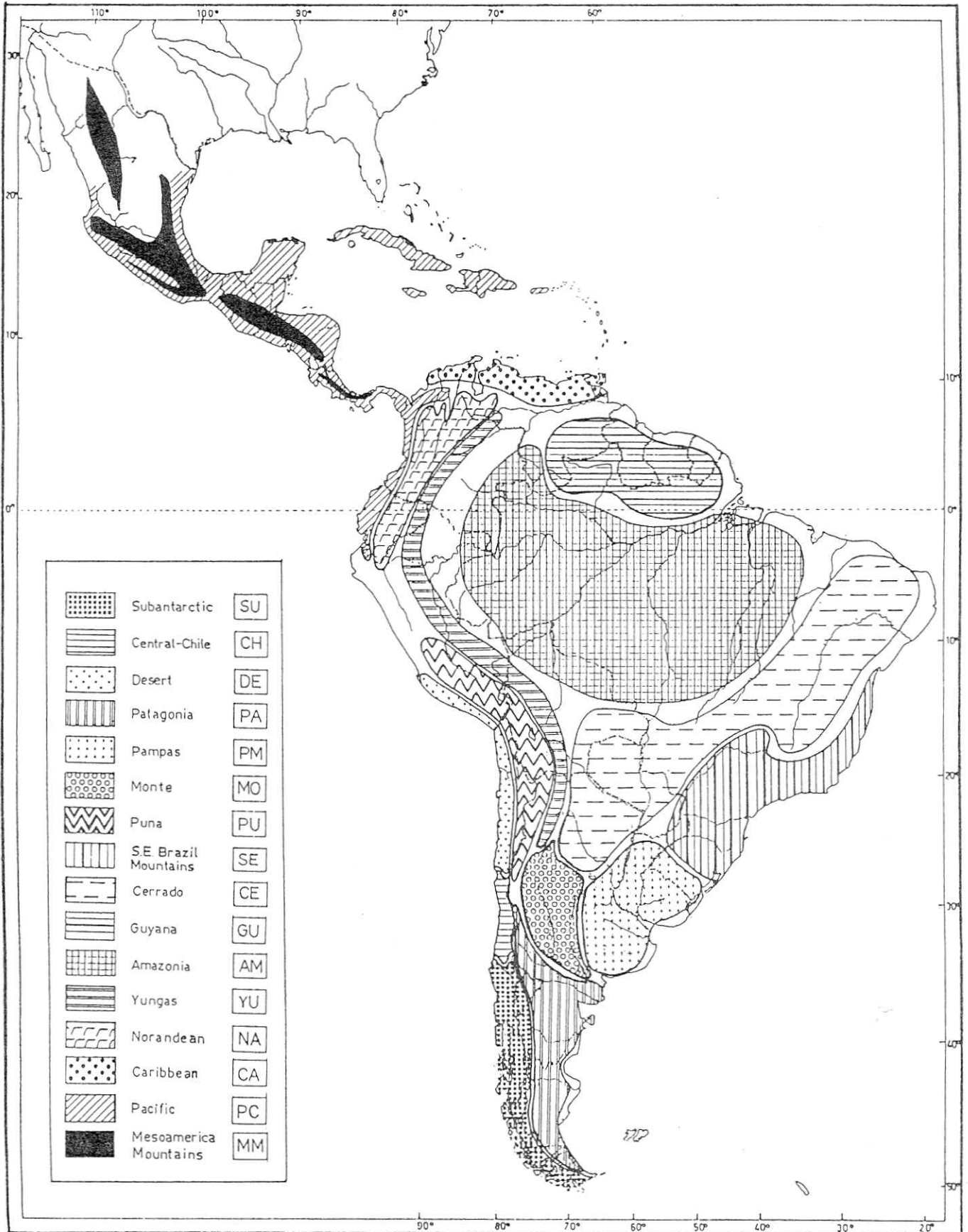


Figure 7: Neotropical Simuliidae endemism areas.

*Monocentric species*: Total: 6 species. The innominated peculiar *Simulium* subgenus, the "blancasi group" (2 spp.), *Gigantodax* "minor gr." (1 sp.), *S. (Pternaspatha)* "nemorale gr." (1 sp.), *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "dinellii gr." (1 sp.).

*Polycentric species*: Total: 9 species. *S. (Pternaspatha)* (1 sp.), *S. "blancasi gr."* (1 sp.), *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "bicoloratum gr." (1 sp.), *S. "romanai gr."* (2 spp.), *S. (Psilopelmia)* (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.), *S. (Grenieriella)* (1 sp.).

*Description*: Biota with scarce diversity which it is confined to the small freshwater currents flowing from Andean Cordillera. Black fly fauna is shared with Central Chile, Puna and the Norandean area.

#### 4.- Puna (PU)

*Location*: Peru, Bolivia, Chile and Argentina plateau. A stripe in the Andean Range with altitudes of 3.000 to 4.500 m. North boundary is the Pisco-Jurua fault, which crosses the Andes north of Lima.

*Climate*: Cold to temperate with high daily thermal amplitude, summer rains and xerofitic vegetation.

*Monocentric species*: Total: 30 species. *Gigantodax* "cortesi gr." (4 spp.), "minor gr." (1 sp.), "brophyi gr." (2 spp.), "cilicinus gr." (4 spp.), "cormonsi gr." (3 spp.), "wrighti gr." (1 sp.), *S. (Pternaspatha)* "nigristrigatum gr." (2 spp.), "nemorale gr." (9 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "romanai gr." (1 sp.), *S. (Simulium)* (1 sp.), *S. (Grenieriella)* (2 spp.).

*Polycentric species*: Total: 10 species. *Gigantodax* (3 spp),

*Simulium* "blancasi gr." (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "romanai gr." (2 spp.), *S. (Grenieriella)* (3 spp.).

*Description*: Puna realm corresponds to the "Puneña", "Prepuneña" and part of "Altoandina" provinces of Cabrera and Willink (1973). The last one is not considered separately here, because the highest altitude at which black flies were found breeding is 4.700 m (Wygodzinsky & Coscarón, 1989).

It has a rich variety in its fauna with 40 species. Which is explained by the presence of emerged areas since the Cretacic with a differential ascension in the Upper Miocene. Glacial and interglacial periods at the end of the Tertiary and during the Cuaternary should have helped the increase of the biodiversity in the area.

Black fly fauna of Puna shows similitude with Monte (4 species shared) and Patagonia (2 species shared).

#### 5.- Patagonia (PA)

*Location*: Southeastern Argentina, from the Colorado River to Tierra del Fuego. The west boundary is Subantarctic realm and the Andean range reaching Puna on the northwest.

*Climate*: Dry cold temperate with strong western winds.

*Monocentric species*: Total: 5 species. *S. (Pternaspatha)* "nigristrigatum gr." (4 spp.), "nemorale gr." (1 sp.).

*Polycentric species*: Total: 10 species. *Gigantodax* "brophyi gr." (2 spp.), *S. (Pternaspatha)* (5 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (2 spp), *S. (Ectemnaspis)* "romanai gr." (1 sp.).

*Description*: It corresponds to the "Patagonic dominion" of Ringuelet (1961), the limnological "Extraandina Patagonia" region of Drago (1990) and to the homonymous province including southern area of "Monte province" of Cabrera and Willink (1973).

Malvinas (Falkland) Islands are not included in this realm because of the apparent absence of black flies (black flies were not found by Coscarón in December, 1974, field trip to Port Stanley (Puerto Argentino) and Malo river in the East Island. Nevertheless, the role of a fossil fauna of Malvinas in the constitution of Patagonia realm fauna can not be ruled out.

Patagonia is an undulating steppe without high elevations with chaparral in the North. Fauna is relatively poor, most probably due to the Andes range elevation which developed the Patagonia desertization (Pascual, 1984). Afterwards this process was emphasized by the continental glaciation and the opening of the Drake Strait.

This region shows a vast extension without freshwater currents, and the best breeding places are the allochthonous rivers running West to East and draining andean lakes in the Atlantic ocean.

The closer relationships of patagonian black fly fauna are observed with Puna, Subantarctic and Pampas realms.

#### 6.- Monte (MO)

*Location*: Central Argentina. Limited by Patagonia in the South and Southwest and with Yungas and Chaco-Cerrado in the Northwest. Pampas is the east boundary.

*Climate*: Dry, temperate in the South and warm in the North with xerofitic vegetation.

*Monocentric species*: No monocentric species.

*Polycentric species*: Total: 9 species. *S. (Pternaspatha)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (2 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "bicoloratum group" (1 sp.), "romanai gr." (2 spp.) and *S. (Grenieriella)* (2 spp.).

*Description*: It corresponds to the homonymus province of Cabrera and Willink (1973), but slightly reduced in the South.

It has an endorrheic fluvial system with few freshwater currents mostly in flat lands.

The fauna of Simulids is poor with only nine polycentric species. Apparently it is mainly composed of a stenoic fauna of Yungas and Pampas.

#### 7.- Pampas (PM)

*Location*: Southern Brasil, Uruguay and eastern Argentina. It is limited to the north by the southeastern Brazilian mountains and Chaco-Cerrado realms, to the west by the Monte realm and to the southeast by the Atlantic ocean.

*Climate:* humid temperate

*Monocentric species:* Total : 1 monocentric species. *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.).

*Polycentric species:* Total : 15 species. *S. (Psaroniocompsa)* (5 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (3 spp.), *S. (Inaequalium)* (2 spp.), *S. (Chirostilbia)* (2 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (1 sp.), "*romanai* gr." (1 sp.), and *S. (Thyrsopelma)* (1 sp.)

*Description:* It corresponds approximately to the "Espinal" and "Pampeana" provinces of **Cabrera and Willink**, and to the "Pampas" and "Uruguay" endemic centers of **Müller** (1973). It has steppe vegetation in lowlands with scarce hills and low mountains. Black fly fauna is relatively poor and has a strong influence from the southeastern Brazilian mountains and Yungas fauna. The presence of isolated populations of black fly species in the hilly areas of Sierra de la Ventana and Tandilia (southeast of Buenos Aires province) which came from distant distribution centers indicate that those elevated areas were a refuge during marine transgresions that took place in the Miocene and interglacial periods of the Pliocene and the Pleistocene. Marine transgresions covered large areas hindering by that time, terrestrial contact with southern Brazil, northwest Argentina and Patagonia.

#### 8. Southeastern Brazil Mountains (SE)

*Location:* its limits are to the South: Misiones province (Argentina), to the West: the eastern bank of Paraguay river, to the East: Atlantic Ocean, and to the North: the central part of Bahia State (Brazil).

*Climate:* subtropical warm and humid with rain forests.

*Monocentric species:* Total : 17 species. *Lutzsimulium* (3 spp.), *S. (Inaequalium)* "*inaequale* gr." (4 spp.), "*botulibranchium* gr." (3 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (3 spp.), *S. (Chirostilbia)* "*pertinax* gr." (3 spp.), *S. (Thyrsopelma)* "*orbitale* gr." (1 sp.).

*Polycentric species:* Total : 29 species. *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (4 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (4 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (2 spp.), *S. (Chirostilbia)* (8 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*romanai* gr." (1 sp.), "*perflavum* gr." (1 sp.), "*dinellii* gr." (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (2 spp.), *S. (Grenieriella)* (1 sp.), *S. (Thyrsopelma)* (4 spp.).

*Description:* Extense and undulated area with savanna and tropical forests very close to "Atlantica" and "Paranense" provinces of **Cabrera and Willink** (1973). To this realm belongs one of the richest Neotropical black fly fauna. A diversity such as the Brazilian oriental shield is the result of a long lasting emerged area where some valley and higlands were isolated during marine transgresions. There are a lot of species in Sierra do Mar area, but fauna becomes poorer to the periphery towards Cerrado and Pampas realms, which represent continental boundary.

#### 9. Cerrado (CE)

*Location:* Extense region lying diagonally among southeastern Brazilian mountains, Pampas, Monte and Yungas in the South and West, and Amazonia in the North.

*Climate:* arid and warm, with a dry season and xerofitic vegetation.

*Monocentric species:* Total : 3 species. *S. (Coscaroniellum)* (1 sp.), *S. (Chirostilbia)* "*pertinax* gr." (1 sp.), *S. (Inaequalium)* "*subpallidum* gr." (1 sp.).

*Polycentric species:* Total : 24 species. *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (3 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (5 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (3 spp.), *S. (Chirostilbia)* (4 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*perflavum* gr." (1 sp.), "*dinellii* gr." (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (2 spp.), *S. (Grenieriella)* (1 sp.), *S. (Thyrsopelma)* (3 spp.).

*Description:* It corresponds mostly to "Caatinga", "Cerrado", "Chaco" and part of "Monte" and "Espinal" of **Cabrera and Willink** (1973). Cerrado is a xerofitic area alternating chaparral with savanna, and gallery forests along rivers and creeks. It shows a strong influence of southeast brazilian mountains and Amazonia fauna.

#### 10. Amazonia (AM)

*Location:* It is a huge area corresponding approximately to the Amazonas basin.

*Climate:* Humid warm with rain forests.

*Monocentric species:* Total: 7 species. *Kempfismulium* (1sp.), *S. (Inaequalium)* (1 sp.), *S. (Psaroniocompsa)* (3 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (2 spp.).

*Polycentric species:* Total: 15 species. *S. (Inaequalium)* (1 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (2 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (3 spp.), *S. (Coscaroniellum)* (3 spp.), *S. (Chirostilbia)* (2 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*perflavum* gr." (2 spp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.), *S. (Thyrsopelma)* (1 sp.).

*Description:* It closely corresponds to Cabrera and Willink's homonymous province. It occupies a recent fluvial system and rest of hills of central brazilian's and southern Guiana's shields. Lowlands represent an ancient lake fulfilled by Pliocene sediments (**Frayley et al.**, 1988). Consequently jungle is pretty young.

Amazonia is considered the richest faunistical realm of America (**Halffter**, 1974), nevertheless only 22 species of black flies have been reported. A similar situation has been observed for other insect taxa, as Ichneumonidae (**Porter**, 1980). One possible but speculative explanation for this fact is that Amazonia is a huge land extension with relatively homogeneous environmental characteristics, specially high humidity and warm rivers which wouldn't be suitable for Simuliidae speciation.

#### 11. Guyana (GU)

*Location:* Includes Guyana shield, the Roraima and Parima Mountains, and Orinoco plains.

*Climate:* tropical with dry season alternating steppes with forests.

*Monocentric species:* Total: 15 species. *S. (Inaequalium)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (1 sp.), *S. (Cerqueirellum)* (3 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*perflavum* gr."

(3 spp.), "*dinellii* gr." (2 spp.), *S. (Psilopelmia)* (1 sp.), *S. (Simulium)* (2 spp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.).

*Polycentric species*: Total: 22 species. *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (3 spp.), *S. (Cerqueirellum)* (2 spp.), *S. (Coscaroniellum)* (3 spp.), *S. (Chirostilbia)* (2 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*romanai* gr." (1 sp.), "*perflavum* gr." (2 spp.), "*dinellii* gr." (2 spp.), *S. (Psilopelmia)* (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.), *S. (Thyrsopelma)* (2 spp.).

*Description*: It corresponds to Müller centers of "Roraima", "Pantipuy" and "Guiana". It is a hilly area with peaks of 1600 meters high. The savanna is interrupted by gallery forests and humid premountain forests.

## 12. Caribbean (CA)

*Location*: North of Colombia and northern Orinoco (Venezuela), West Indies (Trinidad, Tobago, Jamaica and Bahamas)

*Climate*: dry warm to moderate humid in accordance to the season.

*Monocentric species*: Total : 4 species. *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "*romanai* gr." (1 sp.), *S. (Simulium)* (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.).

*Polycentric species*: Total : 26 species. *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (2 spp.), *S. (quadrivittatum* gr." (1 sp.), *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.), *S. (Chirostilbia)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (1 sp.), "*romanai* gr." (3 spp.), "*perflavum* gr." (1 sp.), "*dinellii* gr." (3 spp.), *S. (Psilopelmia)* (2 spp.), *S. (Simulium)* (2 spp.), *S. (Grenieriella)* (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (5 spp.).

*Description*: The name comes from Ramírez Pérez (1983), corresponding to the "Subregion of Caribe", and to "Guajira", "Venezolana", and "Sabana" provinces of Cabrera and Willink (1973) classification. Caribbean has heterogeneous environments including xerofitic vegetation mixed with gallery forests and humid premountain climate. Simuliidae fauna shares common taxa with Guiana, southeastern Brazilian mountains, Yungas and Pacific realms.

## 13. Norandean (NA)

*Location*: Andean region of Venezuela and Colombia among the Mérida, Oriental and Occidental Ranges, extending over the mountainous area up to South Ecuador.

*Climate*: Temperate to alpine

*Monocentric species*: Total : 44 species. *Gigantodax multifilis* gr. (1 sp.), "*brophyi* gr." (7 spp.), "*cilicinus* gr." (5 spp.), "*cormonsi* gr." (7 spp.), "*wrighti* gr." (8 spp.), *S. (Pternaspatha)* (1 sp.), *S. (Psaroniocompsa)* (1 sp.), *Simulium "oviedoi* gr." (2 spp.), *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (9 spp.), "*romanai* gr." (1 sp.), *S. (Grenieriella)* (3 spp.).

*Polycentric species*: Total : 9 species. *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (3 spp.), "*romanai* gr." (4 spp.), "*dinellii* gr." (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.).

*Description*: It corresponds partially to the "Páramo province" of Cabrera and Willink (1973) and to the endemic centers of "Magdalena", "Cauca", "Colombian mountain forests" and "Norandean" considered by Müller (1973).

Norandean is a large area located about 2.500-3.000 meters high with a lot of intermountainous valleys that aid allopatric speciation. Nowadays the realm has the highest faunistic diversity in South America with 44 monocentric species out of 53 species living in it.

## 14. Yungas (YU)

*Location*: It is a relatively narrow stripe on the oriental Andean slope between 500 to about 3.000 meters high, which extends from the proximity of Caribbean sea up to Catamarca province in Argentina (about 30° South latitude)

*Climate*: Temperate to warm, very humid.

*Monocentric species*: Total : 2 species. *Gigantodax "wrighti* gr." (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (1 sp.)

*Polycentric species*: Total : 24 species. *Gigantodax* (1 sp.), *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Inaequalium)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (1 sp.), *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspis)* "*bicoloratum* gr." (4 spp.), *S. "romanai* gr." (4 spp.), "*dinellii* gr." (3 spp.), *S. (Psilopelmia)* (1 sp.), *S. (Simulium)* (1 sp.), *S. (Hemicnetha)* (3 spp.), *S. (Grenieriella)* (2 spp.).

*Description*: It has nearly the same extension given by Cabrera and Willink to the homonymous province, but larger than Müller's "Yungas center" which reaches only up to Ucayali river. It is a humid region with peculiar fogged forests. The great latitudinal extension that characterizes the realm probably facilitates the species dispersion along the occidental part of the South American continent, specially in the North-South direction as it happened with *S. (Ectemnaspis)*, *S. (Psilopelmia)*, *S. (Grenieriella)* and *S. (Hemicnetha)*.

## 15. Mesoamerican Mountains (MM)

*Location*: It includes the high forest from Mexico and Central America to Panama, and the intermountainous area about 2.000 meters over sea level reaching up to Paramo mountains.

*Climate*: Cold to temperate relatively humid on the mountains and dry on intermountainous lands.

*Monocentric species*: Total : 49 species. *Tlalocomyia* (1 sp.), *Mayacnephia* (9 spp.), *Gigantodax* (4 spp.), *S. (Hearlea)* (20 spp.), *S. (Psilopelmia)* (2 spp.), *S. (Simulium)* (9 spp.), *S. (Hemicnetha)* (4 spp.).

*Polycentric species*: Total: 20 species. *S. (Notolepria)* (1 sp.), *S. (Psilopelmia)* (7 spp.), *S. (Simulium)* (4 spp.), *S. (Hemicnetha)* (8 spp.).

*Description*: Most of "Mexican xerofitic province" of Cabrera and Willink (1973) is included here. The Mesoamerican mountains realm has a record of 69 species of Neotropical black fly fauna with 49 monocentric

species. There are relicts of an old faunistic stock such as the primitive "Prosimuliini": *Tlalocomyia* (1 sp.), *Mayacnephia* (9 spp.) which has two species breeding in East U.S.A. and Canada, and *Gigantodax* (4 spp.) likely to be a southern migrant diversified lately here. *Simulium* has an endemic subgenus *S. (Hearlea)* with twenty species and only two out of them are present in the Holarctic realm. No special Neartic fauna is present, while in the lower northeast Mexican xerofitic area this fauna is a common element.

### 16. Pacific (PC)

**Location:** It includes the peripheral lowlands and intermountainous valleys of Mexico, Central America, Antillas, and an occidental stripe of Colombia and Ecuador.

**Climate:** Warm and very humid.

**Monocentric species:** Total : 14 species. *S. (Notolepria)* (2 spp.), *S. (Psaroniocompsa)* (1 sp.), *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspsis)* "dinellii gr." (2 spp.), *S. (Psilopelmia)* (2 spp.), *S. (Simulium)* (5 spp.), *S. (Hemicnetha)* (1 sp.).

**Polycentric species:** Total: 37 species. *S. (Notolepria)* (2 spp.), *S. (Inaequalium)* (1 sp.), *S. (Psaroniocompsa)* (1 sp.), *S. "quadrivittatum gr."* (1 sp.), *S. (Cerqueirellum)* (1 sp.), *S. (Ectemnaspsis)* "bicoloratum gr." (3 spp.), "romanai gr." (4 spp.), "dinellii gr." (3 spp.), *S. (Psilopelmia)* (8 spp.), *S. (Simulium)* (5 spp.), *S. (Hemicnetha)* (8 spp.).

**Description:** It coincides with the homonymus province of **Cabrera and Willink** (1973). It is a humid forest area. Delimitation of the realm, specially in valleys with medium altitude on mountain slopes, is difficult to perform.

### III.- General Conclusions

The analysis of the above mentioned information allow us to state that:

I) The realms determined using the black fly fauna distribution eventhough this fauna is strictly related to freshwater currents, responds to the pattern obtained from general biota distribution identifying biogeographical realms in the Neotropical region.

II) It is possible to observe a significant arrangement of taxa distribution:

a.- *Cnesia*, *Cnesiamina*, *Paraustrosimulium* and *Gigantodax* "igniculus group" and mostly "brophyi group" have a peculiar Subantarctic realm distribution.

b.- *Tlalocolmyia*, *Mayacnephia* and *Simulium (Hearlea)*, are restricted to Mesoamerican Mountains, with the exception of two species of the last two taxa, reaching West U.S.A. and Canada.

c.- *Simulium (Inaequalium)*, *S. (Psaroniocompsa)*, *S. (Chirostilbia)*, and *S. (Thyrsopelma)*, are characteristic taxa of southeastern Brazilian mountains, with some species reaching the North of South America. *S. (Ectemnaspsis)* "perflavum group" has the widest distribution in northern South America but it is more restricted in the South.

d.- *Simulium (Psilopelmia)* and *S. (Simulium)* show a predominant distribution in Mesoamerica (lowlands and mountains as well) and Antilles, but they are also well represented in northern South America, reaching West at North Chile.

e.- *Simulium (Hemicnetha)*, *S. (Ectemnaspsis)* "dinellii group" and *S. (Notolepria)* (this last one in a lesser degree) have similar distribution as described before in (d), but they reach southeastern Brazilian mountains.

f.- *Simulium (Ectemnaspsis)* "bicoloratum and romanai groups" and *S. (Grenieriella)* are distributed predominantly in the Andean region from Venezuela to northern Argentina, reaching southeastern Brazilian mountains.

g.- *Simulium (Cerqueirellum)* and *S. (Cosconiellum)* are related to big tropical river basins of eastern South America.

III) Some taxa predominate in determinate realms.

a.- *Prosimuliini* are mostly restricted to the Andean Range and Mesoamerican mountains, having 8 genera including 84 species, while only two genera with 4 species breed in Brazilian shield.

b.- *Simuliini* has only one cosmopolitan genus called *Simulium* which is represented in Neotropic with 14 nominated subgenera and likely 5 more unnominated subgenera. *Simulium* is a taxa exclusive of tropical extraandean region. Only *S. (Pternaspatha)* is peculiar of cold to temperate areas of southwestern South America, restricted to the Andes and showing no evident affinities with tropical *Simulium*, exception made of *S. "blancasi group"* present in western South America and considered as "sister group" of *S. (Pternaspatha)*.

IV) Some realms own a highly diversified black fly fauna. From South to North we found:

Realm	Species (total)	Monocentric species	Observations
Subantarctic	28	14	5 primitive genera
Puna	30	10	G. "cortesi group"
S.E. Brazil	46	17	One primitive genus
Guyana	37	15	
Norandean	55	44	
Mesoam. Mounts	69	49	2 primitive genera
Pacific	51	14	

V) On the other hand some other realms are faunistically poor. They probably represent transition areas such as Monte, Pampas, Cerrado and the northern area of Mexican plateau corresponding to "Chihuahuano district" of **Cabrera and Willink** (1973), and "Mexican transition" of **Halfpter** (1962).



VI) Comparing the relationships among black fly fauna and their distribution, it is possible to identify four major groups:

a.- *Neantarctic*: including Subantarctic, Central Chile, and Desert. To this group belong ancient gondwanic genera: *Paraustrosimulium*, *Cnesiamima*, *Cnesia*, and *Gigantodax*, which have strong affinities with Australian fauna. There are also some old elements not difficult to relate with other paleogondwanic genera as *Araucnephia* and *Araucnephioides* (with some resemblance of Nearctic fauna) and *Simulium* (*Pternaspatha*) and *S. "blancasi group"*.

b.- *Andine-Patagonic*: formed by Patagonia, Puna and Monte realms. It has an old temperate gondwanic fauna related neither with foreign nor with tropical fauna as *Gigantodax* and *Simulium* (*Pternaspatha*) and a few species of *Simulium* sugenera as recent settlers coming from Brazil, Norandean region and Mesoamerica.

c.- *Guiane-Brazilian*: it includes by southeastern Brazilian mountains, Pampas, Cerrado, Amazonas and Guiana. The fauna is represented by ancient gondwanic genera as *Lutzsimulium* and *Kempfsimulium* (with some resemblance of other southern *Prosimuliini*) and several young diversified taxa typical from South America: *Simulium* (*Inaequalium*), *S. (Psaroniocompsa)*, *S. (Cerqueirellum)*, *S. (Chirostilbia)*, *S. (Coscaroniellum)*, *S. (Ectemnaspis)* "*perflavum group*", and a peculiar *S. (Thyrsopelma)* with affinities to Ethiopic fauna.

d.- *Mesoamerica and northern South America*: composed of Mesoamerican Mountains, Pacific, Norandean, Yungas and Caribbean realms. Eventhough this region possesses two different interrelated fauna, it should be pointed out that Mesoamerica black fly fauna shows a stronger affinity with Neotropical than with Nearctic fauna. Similar results have been previously reported by Halffter (1962) for insects, by Hershkovitz (1968) for mammals and by Fitkau (1974) for the fauna in general.

It developed a rich endemism as a result of the great isolation that took place during the Tertiary. Only South and North American fauna might have got in contact through volcanic islands (Raven & Axelrod, 1975). The intensive connection between North and South America must have started after Andes ascension on the Lower Pliocene and ended three million years ago when Isthmus of Panama emerged (Marshall *et al.*, 1979).

Mesoamerican Mountains have three *Prosimuliini* paleogondwanic genera *Tlalqcomyia*, *Mayacnephia* and *Gigantodax* (this last one was probable native from South America). Also *Simulium* is present with the peculiar *S. (Hearlea)*, *S. (Hemicnetha)* and *S. (Simulium)* with wide distribution in northwestern South America. Some taxa have crossed the isthmus and colonized the lowlands as happened with *Simulium* (*Notolepria*), *S. "quadrivittatum group"*, *S. (Ectemnaspis)* "*dinellii gr.*" and *S. (Psilopelmia)*.

**Aknowledgements:** The authors are grateful to the National Geographic Society for the grant 4753-92 for field trips, to Prof. Nélica Caligaris who has drawn the maps and to Mrs. Alicia García for the typewriting of the manuscripts.

## Bibliography

- Cabrera, A. & A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. *Monogr. O.E.A. Ser. Biología N° 13*, Washington D.C.: 120 pp.
- Camacho, H.H. 1967. Las transgresiones del Cretácico Superior y Terciario de la Argentina. *Rev. Asoc. Geol. Arg.* 22 (4): 253-280.
- Coscarón, S. 1971. Estado actual de las enfermedades transmitidas por Simúlidos. *Bol. Soc. Entom. Perú* 6(2): 80-84.
- \_\_\_\_\_ 1985. Sobre la larva de *Cnesiamima atroparva* Edwards y su significado para interpretar las relaciones filogenéticas de los simúlidos notogeicos (Insecta, Diptera, Simuliidae). *Bol. Soc. Biol. Concepción, Chile* 56: 67-70.
- \_\_\_\_\_ 1987. El género *Simulium* Latreille en la región Neotropical: Análisis de los grupos supraespecíficos, especies que los integran y distribución geográfica (Simuliidae, Diptera). *Museu Paraense Emilio Goeldi. Belem:* 111 pp.
- \_\_\_\_\_ 1990. Taxonomía y distribución del subgénero *Simulium* (*Ectemnaspis*) Enderlein (Simuliidae, Diptera, Insecta). *Iheringia, Ser. Zool.* (70): 109-170.
- \_\_\_\_\_ 1991. Insecta, Diptera, Simuliidae, en Z.A. Castellanos ed. *Fauna de Agua Dulce de la República Argentina*, 38 fasc. 2, 304 pp, 67 figs.
- \_\_\_\_\_ & C.L. Coscarón-Arias (ined.) Análisis cladístico de *Simulium* (*Pternaspatha*) Enderlein, con distribución geográfica (Simuliidae: Diptera).
- \_\_\_\_\_ (ined.) A cladistic analysis of *Simulium* (*Inaequalium*), *S. (Psaroniocompsa)* and *S. (Chirostilbia)* (Simuliidae: Diptera).
- \_\_\_\_\_ R.L. de Cerqueira, T. Sato Schumaker & V. La Salvia Filho. 1992. Nuevos datos sobre distribución de simúlidos de Brasil y descripción de *Simulium* (*Coscaroniellum*) *cerradense* sp.n.(Diptera, Simuliidae). *Rev. Bras. Entom.* 36 (1): 111-119.
- \_\_\_\_\_ & S. Ibáñez Bernal (in press) Sobre la ubicación taxonómica de *Simulium ganalesense* Vargas, Martínez, Palacios y Diaz Nájera (Simuliidae: Diptera) *Folia Entom. Mexicana* (99).
- \_\_\_\_\_ S. Ibáñez Bernal & C.L. Coscarón-Arias, (in press). Revisión del subgénero *Simulium* (*Psilopelmia*) Enderlein en la región Neotropical y análisis cladístico de sus especies (Diptera, Simuliidae). *Monograf. Inst. Biología U.N.A.M.*
- Cracraft, J. & R.O. Prum. 1988. Patterns and process of diversification and historical congruence in some neotropical birds. *Evolution* :603-620.
- Crosskey, R.W. 1981. Geographical distribution in Simuliidae pp 57-68 in Laird M. (ed.) "*Black flies: the future for biological methods in integrated control*". XII 399 pp. Abad. Press, London.
- \_\_\_\_\_ 1991. Prehistory and Geographical distribution, chapter 4: 37-81, in Crosskey (ed.) *Natural History of Black flies*, Wiley IX + 711 pp.
- Drago, E.C. 1990. Limnology in Argentina. *Acta Limnol. Brasil* 3: 49-73.
- Fitkau, E.J. 1969. The fauna of South America, in *Biogeography and Ecology in South America*, 2: 624-655. Fitkau, E.J., J. Illies, H. Klinge, G.H.Schwabe and H. Sioli (ed.): Junk Publ. The Hague.
- Frayley, C.D., E.L. Lavina, A. Rancy & J.P. Souza Filho. 1988. A proposed Pleistocene-Holocene lake in the Amazonian basin and its significance to amazonian geology and biogeography. *Acta Amazónica* 18 (3-4): 119-143.
- Halffter, G. 1964. Las regiones Neártica y Neotropical desde el punto de vista de la entomofauna. *Anais Seg. Congr. Latinoam. Zool. São Paulo, Brasil:* 51-61.
- \_\_\_\_\_ 1974. Elements anciennes de l'entomofaune Neotropical: ses implications biogeographiques. *Quaest. Entomol.* 10: 223-262.
- Harrington, H.J. 1968.- Desarrollo paleogeográfico de Sudamérica. Univ. Nac. Tucumán. Publ. Miscelánea 26: 74 pp.

- Hershkovitz, W. 1958. A geographic classification of Neotropical mammals. *Fieldeana: Zool.* 36: 583-620.
- Ibáñez Bernal, S. 1992. Las especies mexicanas de *Simulium* (*Hemicnetha*) y *S.* (*Notolepria*) (Diptera, Simuliidae). *Tesis División Estudios Postgrado, Fac. de Ciencias, Univ. Autónoma de México I-IV* + 302 pp.
- Monros, F. 1958. Consideraciones sobre la fauna del sur de Chile y revisión de las tribus Stenomelini (Coleoptera, Chrysomelidae). *Acta Zool. Lilloana* 15: 143-153.
- Morrone, J.J. 1991. Estudio sistemático, análisis cladístico biogeografía de *Listroderes Schonher* 1826 Coleoptera, Curculionidae. *Tesis doctoral Fac. de Ciencias Naturales y Museo. Univ. Nac. La Plata.*
- Müller, P. 1973. The dispersal centers of terrestrial vertebrates in the Neotropical realm. A study in the evolution of the Neotropical biota and its native landscapes. *Biogeographica* Ed. J. Schmithüsen. Junk Publ. The Hague, 2 :244 pp.
- Muñoz de Hoyos, P. 1994. Simuliidae (Diptera) de Colombia: Distribución de las especies registradas. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 19 (73): 413-437.
- Nelson, G. & N.I. Platnick. 1981. *Systematics and biogeography cladistics and vicariance*. Columbia University Press, New York.
- Pascual, R. 1984. Late Tertiary Mammals of Southern South America as indicators of climatic deterioration. In Rabassa J., *Quaternary of South America and Antardtic Peninsula*, Rotterdam, Boston: 30 pp.
- Peña, L.G. 1966. Ensayo preliminar para dividir Chile en regiones entomofaunísticas, basadas especialmente en la familia Tenebrionidae (Col.). *Rev. Universitaria Univ. Catól. Chile* 50-51 (2): 209-220.
- Peterson, B.V. 1993. The black flies of the genus *Simulium*, subgenus *Psilopelmia*, (Diptera: Simuliidae), in the contiguous United States. *J. New York Entomol. Soc.* 101 (3): 301-390.
- Porter, Ch. 1980. Zoogeografía de las Ichneumonidae Latino-Americanas (Hymenoptera). *Acta Zool. Lilloana* 36 (1): 6-40.
- \_\_\_\_\_ 1991. Biogeografía de los Ichneumonidae Chilenos (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Acta Entomol. Chilena* 16: 37-67.
- Py-Daniel, V. 1987. Simuliidae (Diptera: Culicomorpha) no Brasil. V. Sobre o *Simulium* (*Chirostilbia*) *friedlanderi* sp.n. e revisão do *Simulium* (*C.*) *laneportoi* Vargas, 1941. *Rev. Saúde Públ. S. Paulo* 21 (4): 331-341.
- \_\_\_\_\_ 1988. VI. Sobre *Simulium* (*Psaroniocompsa*) *siolii* sp.n., *Simulium* (*P.*) *lourençoi* sp.n. e *Simulium* (*P.*) *damascenoi* sp.n. *Rev. Saúde Públ. S. Paulo*, 22 (4): 292-310.
- \_\_\_\_\_ 1989 a. Novas sinonimias e correções em *Simulium* com a revalidação de *S. pruinosum* Lutz, 1904 (Culicomorpha, Simuliidae). *Rev. Saúde Públ. S. Paulo*, 23 (3): 254-257.
- \_\_\_\_\_ 1989 b. X. Descrição de *Simulium* (*Psaroniocompsa*) *guaporense* sp.n. *Rev. Saúde Públ. S. Paulo*, 23 (6): 502-508.
- \_\_\_\_\_ 1990. Revisão da tribo Prosimuliini seg. Crosskey (Diptera, Culicomorpha, Simuliidae) nas regioes zoogeográficas Neartica e Neotropical (larvas e pupas). *Tesis doctoral Inst.Nac. Pesquisas Amazonia*, Manaus, Brasil: 320 pp.
- Py-Daniel, V. & G.R.P. Moreira. 1988. Simuliidae (Diptera, Culicomorpha) no Brasil. VII. Sobre o *Simulium* (*Chirostilbia*) *empascae* sp.n. 1988. *Iheringia Sér. Zool. Porto Alegre* (67): 77-86.
- Ramírez Pérez, J. 1983. Los jejenes de Venezuela. *Simpósio de Oncocercosis Americana. CAICET*, Puerto Ayacucho, 156 pp.
- Ramírez Pérez, J., B.V. Peterson & M. Vargas, 1988. *Mayacnephia salasi* (Diptera, Simuliidae), a new black fly species from Costa Rica. *Proc. Entom. Soc. Wash.* 90 (1): 66-75.
- Ramírez Pérez, J., L. Yarzabal, H. Takaoka, I. Rada & A. Ramírez 1984. *Simulium covagarciai* (Diptera, Simuliidae), nueva especie de jején en el T. F. Amazonas, Venezuela. *Bol. Dir. Malariaiol. San Amb.* 24 (1-4): 41-44.
- \_\_\_\_\_ 1986. *Simulium parimaensis* (Diptera, Simuliidae) nueva especie de jején en Territorio Federal Amazonas. *Bol. Dir. Malariaiol. San Amb.* 26 (1-4): 61-64.
- Raven, I.H. and D.E. Axelrod. 1975. History of the flora and fauna of Latin America. Theory of plate tectonics provide a basis for reinterpreting the origin and distribution of the biota. *Am. Sci.* 63: 420-429.
- Ringuelet, R. 1961.- Rasgos fundamentales de la zoogeografía de la Argentina. *Physis* 22 (63): 151-170.
- Roig, S.A. 1990. Revisión sistemática y análisis cladístico y biogeográfico de los géneros *Cnemalobus* Guerin 1838, *Cascellius* Curtis 1839 y *Creobius* Guerin 1838 (Coleoptera, Carabidae). *Tesis doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo Univ. Nac. La Plata.* N° 453.
- Rubtsov, I.A. 1940. Moshki (Sem. Simuliidae) in Zoologicheskii Institut Akademii Nauk SSSR: *Fauna SSSR* (Nov. Ser. N°23). *Nasekomye Dvukrylye* 6 (6): 533 pp.
- Shelley, A.J. 1988. Vector aspects of the epidemiology of onchocerciasis in Latin America. *Ann. Rev. Entom.* 30: 337-360.
- Shelley, A.J., M. Maia-Herzog, A.P.A. Luna Dias & C.A. Couch. 1989. Description of the adults and pupa of *Simulium* (*Trichodagmia*) *perplexum*, new species (Diptera, Simuliidae). *Mem. Inst. Osw. Cruz* 84 (3): 343-349.
- Szatmari, P. 1983. Amazon rift and Pisco-Jurúa fault: The relation to the separation of North America from Gondwana. *Geology* 5(11): 300-304.
- Takaoka, H. & H. Takashi 1982. A new species of black fly (Diptera, Simuliidae) from Upland areas of Guatemala. *J. Med. Ent.* 19 (1): 63-67.
- Vargas, M. & J. Ramírez P. 1988. *Gigantodax bierigi & willei* (Diptera, Simuliidae), two new black fly species from Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 36 (2 B): 457-469.
- Willey, E.O. 1988. Parsimony analysis and vbiogeography. *Systematic Zoology* 37: 271-290.
- Wygodzinsky, P. & S. Coscarón 1962. On the relationship and zoogeographical significance of *Austrosimulium anthracinum* (Bigot), a black fly from southern South America (Diptera, Simuliidae). *Pacific Insects* 4: 235-244.
- \_\_\_\_\_ 1973. Notes on South American black flies of the tribe Prosimuliini (Simuliinae, Simuliidae, Diptera). *Am. Mus. Novit.* 2529: 9 pp.
- \_\_\_\_\_ 1989. Revision of the Black Fly genus *Gigantodax* (Diptera, Simuliidae). *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.* (189): 269 pp. 178 figs.

# ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LAS JAIBAS *Callinectes sapidus* y *C. bocourti* DE LA CIENAGA GRANDE DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO (CRUSTACEA: DECAPODA: PORTUNIDAE)

por

María José Valencia Cuéllar\* y Néstor Hernando Campos\*\*

## Resumen

Valencia Cuellar, M.J. & N.H. Campos.: Aspectos biológicos de las jaibas *Callinectes sapidus* y *C. bocourti* de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano (Crustacea: Decapoda: Portunidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 733-739, 1995. ISSN 0370-3908.

Se realizaron 33 muestreos entre febrero de 1993 y enero de 1994 en diferentes sitios de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Se capturaron 424 individuos de *C. bocourti* y 762 de *C. sapidus*. Se tomaron muestras de agua para medir la salinidad. Además se hicieron 29 visitas a la comercializadora de Pueblo Viejo para obtener información adicional. Se determinó la longitud total, el ancho, el peso y el sexo para los individuos colectados tanto en el campo como en los tomados en la comercializadora. La proporción de sexos (hembras: machos) a lo largo del año para *C. sapidus* es aproximadamente 1:1, para *C. bocourti* 1:1.3. La mayor frecuencia de hembras ovadas para *C. sapidus* se presentó durante los meses de junio y octubre, en *C. bocourti* en mayo y julio. Se estableció que el rango en el cual las hembras maduran por primera vez está entre 7.80-7.84 cm y 7.24-7.33 cm para *C. sapidus* y *C. bocourti* respectivamente. En *C. sapidus* se observaron tallas promedio de madurez sexual para hembras y machos de 10.2 y 9.1 cm de ancho, en *C. bocourti* estas tallas fueron de 9.2 cm para hembras y 9.0 para machos. La relación talla-peso sugiere un crecimiento alométrico para las dos especies.

**Palabras clave:** Jaibas, *Callinectes*, Ciénaga de Santa Marta, Crustáceos, Colombia.

## Abstract

Thirty three sampling trips were done between February 1993 and January 1994 in different localities of the Ciénaga Grande de Santa Marta; 424 specimens of *C. bocourti* and 762 *C. sapidus* were captured. Salinity measurements were taken at each sampling locality. Twenty nine visits to a storage point in Pueblo Viejo were also done in order to obtain additional information. Total length, width, weight and sex were determined for each studied specimen from both the field and the Pueblo Viejo's store. Year sex proportion (females: males) is 1.1:1 for *C. sapidus* and 1:1.3 for *C. bocourti*. The highest frequency of ovigerous females for *C. sapidus* occurred in June and October, but in May and July for *C. bocourti*. Size of first female maturity is 7.80-7.84 in *C. sapidus* and 7.24-7.33 in *C. bocourti*. Average sizes of maturity are 10.2 cm (females) and 9.1 cm (males) in *C. sapidus*, and 9.2 cm (females) and 9.0 cm (males) in *C. bocourti*. Size-weight relationships suggest an allometric growth in both species.

**Key words:** *Callinectes*, Crustacea, Decapoda, Colombia

\* INVEMAR A.A. 1016, Santa Marta, Colombia.

\*\* Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia c/o INVEMAR, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia.

## Introducción

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) se caracteriza por ser un sistema fluctuante, ya que está sujeto a cambios físicos por el flujo de aguas provenientes del Río Magdalena y de los ríos del piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) y las mareas que afectan tanto a la fauna como a la flora. Por el aporte permanente de material alóctono además del autóctono proveniente de los manglares principalmente, se constituye en una zona de alta productividad biológica, que se refleja directamente en la producción pesquera (Botero y Botero, 1989). La mayoría de los habitantes que viven en los alrededores de la CGSM dependen de sus recursos pesqueros, lo cual ha hecho que la comercialización de éstos sea una actividad muy extendida, llegando a la sobreexplotación y, como consecuencia a la reducción, tanto de la cantidad como de la calidad del producto pesquero. Se ha registrado una disminución tanto en la abundancia como en las tallas de los recursos ícticos, pasando de 27000 toneladas en 1969 incluyendo la ostra a 1600 toneladas de pescado y 185 de ostra en 1987, como lo reportan Botero y Botero (1989).

Las jaibas del género *Callinectes* Stimpson se capturan ocasionalmente como parte de la fauna acompañante en las pesquerías de camarón en el Caribe y en la CGSM por medio de atarrayas y redes agalleras. La comercialización de este recurso es reciente. Los primeros antecedentes de su explotación son de 1974 (Boada, 1975). A partir de 1989 es extraído el recurso artesanalmente en la CGSM y comercializado por VIKINGOS S.A. (Escobar & Giraldo, 1993).

En este trabajo se estudian los diferentes aspectos biológicos de las dos especies de jaibas más abundantes de la CGSM, haciendo énfasis en los reproductivos y de crecimiento, y se aporta información biológico-pesquera, que contribuye a complementar el conocimiento de las especies comercializables de la CGSM.

## Materiales y métodos

En la CGSM se escogieron cinco estaciones de muestreo distribuidas en el perímetro de la laguna (Fig. 1). La primera en la Boca de la Barra, la segunda en la desembocadura del Río Fundación, la tercera en Caño Grande, la cuarta en Barra Vieja, y la última en Rincón del Jagüey.

Para la recolección de las jaibas se realizaron muestreos quincenalmente entre febrero de 1993 y enero de 1994, y se agruparon por meses, para un total de 24 salidas de campo. Se tuvieron en cuenta dos tipos de colecta: La primera se hizo en la comercializadora de jaibas, localizada en Pueblo Viejo (CGSM) con un total de 29 visitas y la segunda en la ciénaga misma con una red de arrastre de fondo (90 cm ancho, 34 cm de largo y 7 mm de ojo de malla). Se incluyen además muestreos esporádicos en otras zonas de la CGSM. A partir del sexto mes de muestreo se implementó otro arte de pesca adicionalmente, la nasa rectangular (100 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de alto).

En las zonas de colecta se tomaron muestras de agua superficial, media y de fondo para determinar la

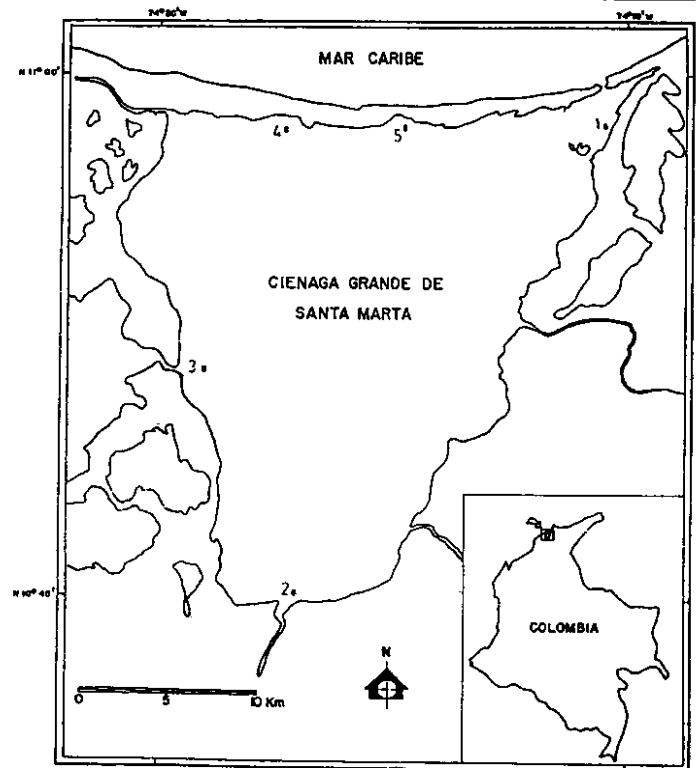


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en la Ciénaga Grande de Santa Marta. 1. Boca de la Barra, 2. desembocadura del Río Fundación, 3. Caño Grande, 4. Barra Vieja, 5. Rincón del Jagüey.

salinidad, y las mediciones se hicieron en los laboratorios de Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR con un conductímetro WTW LF 91. Las jaibas colectadas en los arrastres se colocaron en bolsas plásticas y se transportaron en una nevera de estereopor con hielo al INVEMAR. En la comercializadora las determinaciones se hicieron directamente en el lugar. El número de individuos se obtuvo con base en una muestra al azar de las capturas que llegaban a la compañía pesquera, de acuerdo a lo descrito por Bazigos (1975).

Con un calibrador con intervalo de 0.01 cm de precisión se determinó la longitud (L), tomada entre los dientes frontales y el borde posterior del caparazón, y el ancho (A), tomado entre la base de las espinas laterales. Con una balanza de precisión con intervalos mínimos de 0.1 g se determinó el peso total (PT). Se determinó la frecuencia de hembras ovadas, el grado de madurez sexual en hembras (escala modificada de Hard, en Lasso y Ordóñez, 1987) y la proporción de sexos.

Para establecer las categorías juvenil y adulto se tomó en cuenta la forma del abdomen. Se consideraron juvenil a las hembras que presentaron el abdomen triangular y adultas semi-circular. Los machos juveniles presentaron el abdomen completamente pegado al caparazón a excepción del último segmento, mientras que los adultos lo presentaron libre, articulado al caparazón, por medio de los primeros segmentos (Lasso y Ordóñez, 1987).

Se determinó la talla mínima de madurez sexual con el método estadístico de Udupa (1986) para peces.

Para determinar la talla promedio de madurez sexual (L50), se utilizó el método gráfico de frecuencia acumulada de individuos maduros vs la talla (ancho), donde la talla media de madurez corresponde al punto

en donde el 50% de los individuos están maduros (Vazzoler, 1981; Sparre, *et al.*, 1989).

La relación del incremento en peso con respecto al incremento en la talla se calculó por la expresión matemática de la regresión potencial:

$$W=aL^b$$

Donde el peso total del cuerpo (W) es directamente proporcional al cubo de su longitud o a una potencia muy próxima a ésta (Csirke, 1980).

## Resultados y discusión

Mensualmente se promediaron los valores de salinidad de la columna de agua (superficie, media y fondo) de las cinco estaciones de muestreo. Durante los doce meses de muestreo, la salinidad promedio de la CGSM presentó los máximos valores en marzo y abril (30.9 ‰ y 34.0 ‰ respectivamente) y los mínimos en septiembre y octubre (16.6 ‰ y 15.5 ‰) (Fig. 2).

En los muestreos de la comercializadora se analizaron en total 743 individuos de *C. bocourti* (jaiba roja), 536 hembras y 207 machos, y 1117 de *C. sapidus* (jaiba azul), 769 hembras y 348 machos. De acuerdo con estas observaciones, se puede decir que las mayores capturas corresponden a hembras, las cuales en gran parte se encontraron ovadas o ya habían desovado. La alta incidencia de hembras ovadas de ambas especies en las capturas es debido probablemente a los sitios de pesca, a lo largo de la franja norte de la CGSM, ya que como lo describen Rodríguez (1979) y Escobar y Giraldo (1993), las hembras de las dos especies se localizan en la franja norte.

En los muestreos realizados se capturó un total de 762 individuos de *C. sapidus* y 424 de *C. bocourti*. Para la primera las capturas fueron mayores que la segunda entre febrero y mayo y entre noviembre y enero; en los meses de junio a octubre se invirtió esta relación, posiblemente debido a que dejaron de capturarla o al lugar de colecta, junto al manglar y cerca de los caños, su hábitat preferido.

Tanto *C. sapidus* como *C. bocourti* se encontraron en la mayoría de las estaciones, pero variando en abundancia; la primera se halla a diferentes profundidades sobre fondos arenosos o areno-fangosos como lo registró Rodríguez (1979). *C. sapidus* se distribuye en diferentes márgenes de la ciénaga, en Caño Grande y la desembocadura del Río Fundación sobre un pequeño banco de ostra y se encuentra mejor representada en la Boca de la Barra, lugar donde la salinidad permanece alta durante casi todo el año. Según Taissoun (1969), esta especie es abundante en caños, desembocadura de los ríos, ciénagas y bancos de ostras, por igual en agua dulce y marina, con salinidades hasta de 37 ‰. *C. bocourti* se encontró en mayor abundancia en la desembocadura de los caños y junto al manglar, generalmente se encuentra acompañada de *C. sapidus*. De acuerdo a Taissoun (1969) es además una de las especies más abundantes en los estuarios y se encuentra tanto en agua marina como dulce, en salinidades entre 0 y 37 ‰, en fondos arenosos y fangosos.

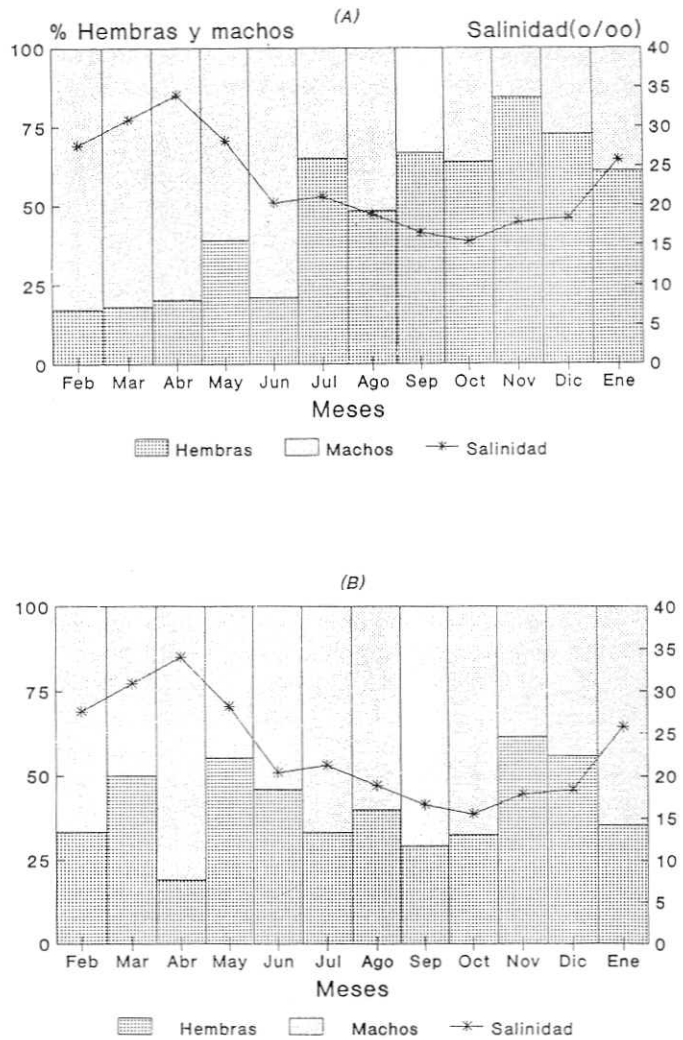


Figura 2. Proporción de sexos para (A) *Callinectes sapidus* y (B) *C. bocourti* para el período comprendido entre febrero de 1993 y enero de 1994 en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Se dan los promedios mensuales de la salinidad en la columna de agua (líneas continuas).

A partir de julio y hasta enero, el número de hembras de *C. sapidus* fue mayor que el de machos (porcentajes mayores a 50%), en agosto la proporción fue de 1:1 y en los meses restantes (febrero-junio) dominaron los machos (Fig. 2a). Del total de individuos recolectados de *C. sapidus*, 391 fueron hembras (51.3 %) y 371 machos (48.7 %). Por medio de la distribución "Chi cuadrado" se probó la hipótesis nula, de que no hay diferencia significativa entre la proporción de sexos y con un nivel de significancia  $\alpha=0.01$ , se corroboró la hipótesis. La proporción de hembras y machos es de 1.1:1. En *C. bocourti*, la proporción de machos es mayor en la mayoría de los meses, excepto marzo cuando la relación entre ambos sexos es 1:1 y en mayo, noviembre y diciembre la proporción es inversa, mayor el número de hembras (Fig. 2b). Para el total de ejemplares recolectados, correspondieron 184 a hembras (43.4 %) y 240 a machos (56.6 %), por medio del test de "Chi cuadrado" se comprobó la hipótesis, con un nivel de significancia  $\alpha=0.01$ , de que no hay diferencia significativa entre machos y hembras, siendo la relación hembras a machos de 1:1.3.

Mientras que para *C. sapidus* se observa una relación inversa entre la proporción de hembras con la

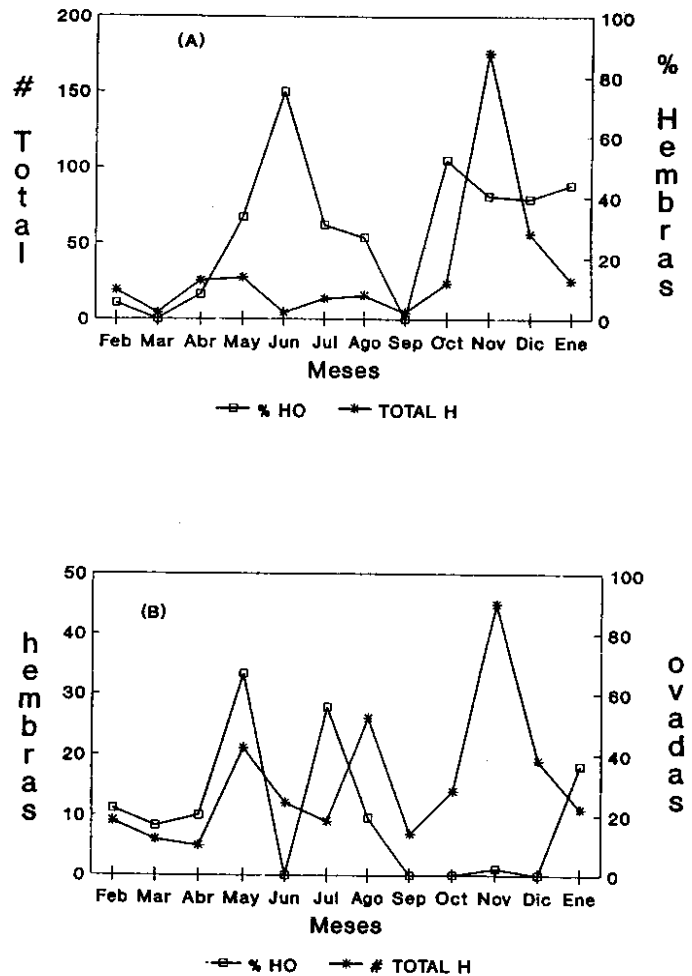
salinidad, para *C. bocourti* no es clara la relación, debido probablemente a que la diferencia mensuales entre machos y hembras no es tan marcada como para la especie anterior (Fig. 2).

Para *C. sapidus* se observó un predominio de hembras en los últimos meses del año. Al comparar la proporción de sexos del presente estudio, con los de Rodríguez (1979), Lasso y Ordóñez (1987) y Escobar y Giraldo (1993) (Tabla 1), se observan algunas diferencias. La proporción de hembras para esta especie con respecto a los machos ha disminuido de un estudio a otro, debido posiblemente a que en los últimos años se ha registrado un incremento de la pesca de jaiba en la zona norte de la Ciénaga y la mayoría de capturas corresponden a hembras ovadas. En *C. bocourti* la proporción de machos con respecto a las hembras ha variado entre uno y otro estudio, aparentemente esta especie ha venido sufriendo extracciones temporales. De acuerdo a estos trabajos, la mayor proporción de hembras se ha citado de la Boca de La Barra, mientras que los machos se encuentran distribuidos en diferentes lugares de la CGSM.

**Tabla 1.** Proporción de hembras (♀♀) y machos (♂♂) para *Callinectes sapidus* y *C. bocourti* de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Trabajo /Especie	<i>C. sapidus</i> (♀:♂)	<i>C. bocourti</i> (♀:♂)
Rodríguez (1989)	3.7 : 1.0	1.0 : 2.4
Lasso y Ordóñez (1987)	2.2 : 1.0	1.0 : 1.0
Escobar y Giraldo (1993)	1.1 : 1.0	1.0 : 2.0
Presente estudio	1.0 : 1.0	1.0 : 1.3

En *C. sapidus* el mayor porcentaje de hembras ovadas se presentó en el mes de junio (75 %), que correspondió a uno de los meses en que se capturó el menor número de hembras totales, seguido del mes de octubre con 52.2 % y enero con 44 % correspondiente al período (octubre-enero) durante el cual se capturó el mayor número de hembras (Fig. 3a). Para *C. bocourti* la mayor frecuencia de hembras ovadas ocurrió durante los meses de mayo y julio con 66.5 y 55.5 % respectivamente, relacionándola con los meses durante los cuales el número total de hembras fue alto (Fig. 3b). El mayor número de hembras desovadas para *C. sapidus* se presentó en el mes de julio con un equivalente al 46.2%, notándose su presencia a partir de julio hasta diciembre. Para *C. bocourti* la mayor frecuencia de hembras desovadas ocurrió durante los meses de junio y noviembre con 25% y 22.2% respectivamente, pero se colectaron de junio a diciembre, excepto en octubre y durante los primeros meses del año no se observaron. Rodríguez (1979) señaló hembras ovadas de *C. sapidus* durante los meses de enero, marzo, junio y diciembre; para *C. bocourti* registró desoves durante los meses de febrero, junio, noviembre y diciembre. Lasso y Ordóñez (1987) encontraron que las dos especies desovan en los meses



**Figura 3.** Relación de la frecuencia de hembras ovadas en porcentaje (% HO) y el número total de hembras (H) para (A) *Callinectes sapidus* y (B) *C. bocourti* para el período comprendido entre febrero de 1993 y enero de 1994 en la Ciénaga Grande de Santa Marta.

de julio y octubre, prolongándose hasta diciembre en *C. bocourti*; además determinaron que éstas lo hacen cerca de la Boca de la Barra, en el mar adyacente y las ciénagas aledañas a Caño Grande. Las observaciones de estos autores coinciden con las del presente trabajo, ya que se encontraron hembras desovadas para ambas especies en la segunda mitad del año, mientras que con Rodríguez (1979) se observan diferencias, posiblemente debidas a que en los últimos años las jaibas están siendo pescadas en la franja norte, cerca de la Boca de la Barra, donde hay una alta incidencia de hembras ovadas. Las hembras para desovar migran a aguas más profundas y de alta salinidad, como la boca de los estuarios. El desarrollo de larvas comienza en esas zonas y migran hacia la costa a medida que van creciendo, mientras los juveniles pasan la mayor parte de su vida dentro de los estuarios. Los machos por lo general se distribuyen al azar y migran a aguas de bajas salinidades y de poca profundidad en búsqueda del alimento y de hembras para reproducirse (Rebach, 1983).

La talla mínima de madurez sexual a la cual las jaibas maduran por primera vez se presenta en la tabla 2. Las tallas para las dos especies fue menor en *C. bocourti* que en *C. sapidus* y en los machos menor para las dos especies.

**Tabla 2.** Talla mínima de madurez sexual (LP50) encontrada a partir del método estadístico de Udupa (1986) para *Callinectes sapidus* y *C. bocourti*. Se da el valor promedio de la talla mínima en cm (LP(50)) y los límites de confianza.

ESPECIE	♀ MADURAS		♂ MADUROS	
	LP(50) (cm)	Intervalo de confianza (95%)	LP(50) (cm)	Intervalo de confianza (95%)
<i>C. sapidus</i>	7.82	7.80- 7.84	6.95	6.93-6.96
<i>C. bocourti</i>	7.29	7.24- 7.33	6.76	6.74-6.77

Para hembras y machos de *C. sapidus* se observó que la talla promedio de madurez sexual ( $L_{50}$ ) es de 10.2 y 9.1 cm de ancho respectivamente (Figuras 4a y 4b). Para *C. bocourti* la talla promedio de madurez sexual en hembras y machos fue de 9.2 y 9.0 cm de ancho (Figuras 4c y 4d). La talla media de madurez sexual ( $L_{50}$ ) determinada, difiere con los registros de Lasso y Ordóñez (1987) y los de Escobar y Giraldo (1993) (Tabla 3), debido posiblemente a que los anteriores estudios se hicieron durante sólo un período del año (junio-diciembre para el primero y enero-junio para el segundo), lo cual no permitió observar los cambios en la población a través del ciclo anual. Otra causa puede ser la efectividad del arte de pesca empleado en los diferentes estudios (nasas en Escobar y Giraldo, 1993 y red de arrastre en Lasso y Ordóñez, 1987 y el presente estudio). Además en los últimos años ha aumentado la extracción del recurso jaiba existente en la CGSM.

**Tabla 3.** Comparación de tallas medias (AT=cm) de madurez sexual ( $L_{50}$ ) para hembras (♀) y machos (♂) de *Callinectes sapidus* y de *C. bocourti* AT=cm.

Estudio	Lasso y Ordóñez (1987)		Escobar y Giraldo (1993)		Presente (1994)	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
<i>C. sapidus</i>	9.59	0.28	8.62	9.75	10.20	9.10
<i>C. bocourti</i>	8.60	8.00	7.53	7.87	9.20	9.00

En las tablas 4 y 5 se dan los valores de los parámetros de la ecuación que relaciona el ancho con el peso de las jaibas.

En la relación ancho vs peso, la constante alométrica (b) para las hembras de *C. sapidus* es menor que 3, lo que indica que éstas tienden a crecer a una tasa mayor en ancho que en peso, mientras que los machos presentan un valor ligeramente mayor, es decir, tienden a tener mayor peso con respecto al ancho. Para *C. bocourti* en ambos sexos, el valor de b es menor que 3, señalando un menor incremento proporcionalmente en peso que en ancho (Tabla 4). Según Ricker (Ríos, 1973), el valor de b será igual a tres cuando el crecimiento es isométrico pero puede variar entre 2.5 y 4.0 en una población normal de peces (Le Cren en Ríos, 1973). Para la relación largo vs peso, el valor de b tanto para hembras como para machos de *C. sapidus* es un poco mayor que 3, siendo un crecimiento ligeramente alométrico mayorante,

por lo tanto las jaibas tanto machos como hembras presentan un mayor incremento en peso que en longitud.

**Tabla 4.** Relación talla-peso de *C. sapidus*. T= Total (machos y hembras); ♀ = hembras; ♂ = machos; a y b constantes de la ecuación ( $Y = aX^b$ ); r= coeficiente de correlación. R (L-P)= Relación Largo-Peso, R (A-P)= Relación Ancho-Peso.

R (A-P)	T	♀	♂	R (L-P)	T	♀	♂
a	0.074	0.097	0.053	a	0.480	0.466	0.486
b	2.954	2.806	3.138	b	3.064	3.078	3.063
r	0.972	0.970	0.982	r	0.983	0.971	0.989

En *C. bocourti* en hembras y machos ocurre lo contrario, se presenta un crecimiento alométrico minorante, es decir, que los individuos presentan crecimiento a una tasa mayor en longitud que el incremento en peso (Ricker en González, 1985). Las hembras de *C. sapidus* tienden a crecer a una tasa mayor en tamaño que en peso, mientras que en los machos tiende a ser contrario a las hembras. Se presentan pesos similares a una longitud dada para ambos sexos. Se han encontrado diferencias sexuales mínimas para esta especie, los machos tienden a aumentar más de peso por lo que se da un mayor desarrollo de las quelas (Pérez & Briquets, 1978). *C. bocourti* presenta un crecimiento ligeramente alométrico minorante, los machos tienden a ser un poco más pesados que las hembras, por la razón expuesta para la otra especie (Tabla 5).

**Tabla 5.** Relación talla-peso de *C. bocourti*. T= Total (machos y hembras); ♀ = hembras; ♂ = machos; a y b constantes de la ecuación ( $Y = aX^b$ ); r= coeficiente de correlación. R (L-P)= Relación Largo-Peso, R (A-P)= Relación Ancho-Peso.

R (A-P)	T	♀	♂	R (L-P)	T	♀	♂
a	0.169	0.211	0.164	a	0.512	0.550	0.596
b	2.720	2.558	2.778	b	3.021	2.926	2.964
r	0.890	0.865	0.952	r	0.922	0.898	0.953

La relación talla-peso es un indicador del comportamiento biológico de la especie (Weatherley, 1972; Ricker en Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985). Según Ricker (Gallo, 1983) si el crecimiento fuera isométrico, b sería igual a 3, indicando un aumento en longitud, con un aumento proporcional en peso. Aunque muchas especies parecen alcanzar este tipo de crecimiento, su peso puede ser afectado por la época del año, el contenido estomacal, la condición del desove, la presencia de parásitos, entre otros (Ricker en González, 1985; Yáñez-Arancibia *et al.*, 1985).

De acuerdo con los registros de Lasso y Ordóñez (1987) y Escobar y Giraldo (1993) los resultados de las relaciones talla vs peso coinciden con el presente trabajo, aunque con pequeñas diferencias, debidas posiblemente a la duración del período de muestreo durante el cual se realizaron estos estudios ya que ninguno de éstos abarcó la fase anual, por lo tanto en el presente estudio fue posible incluir momentos en que se puede afectar de alguna otra manera el crecimiento.

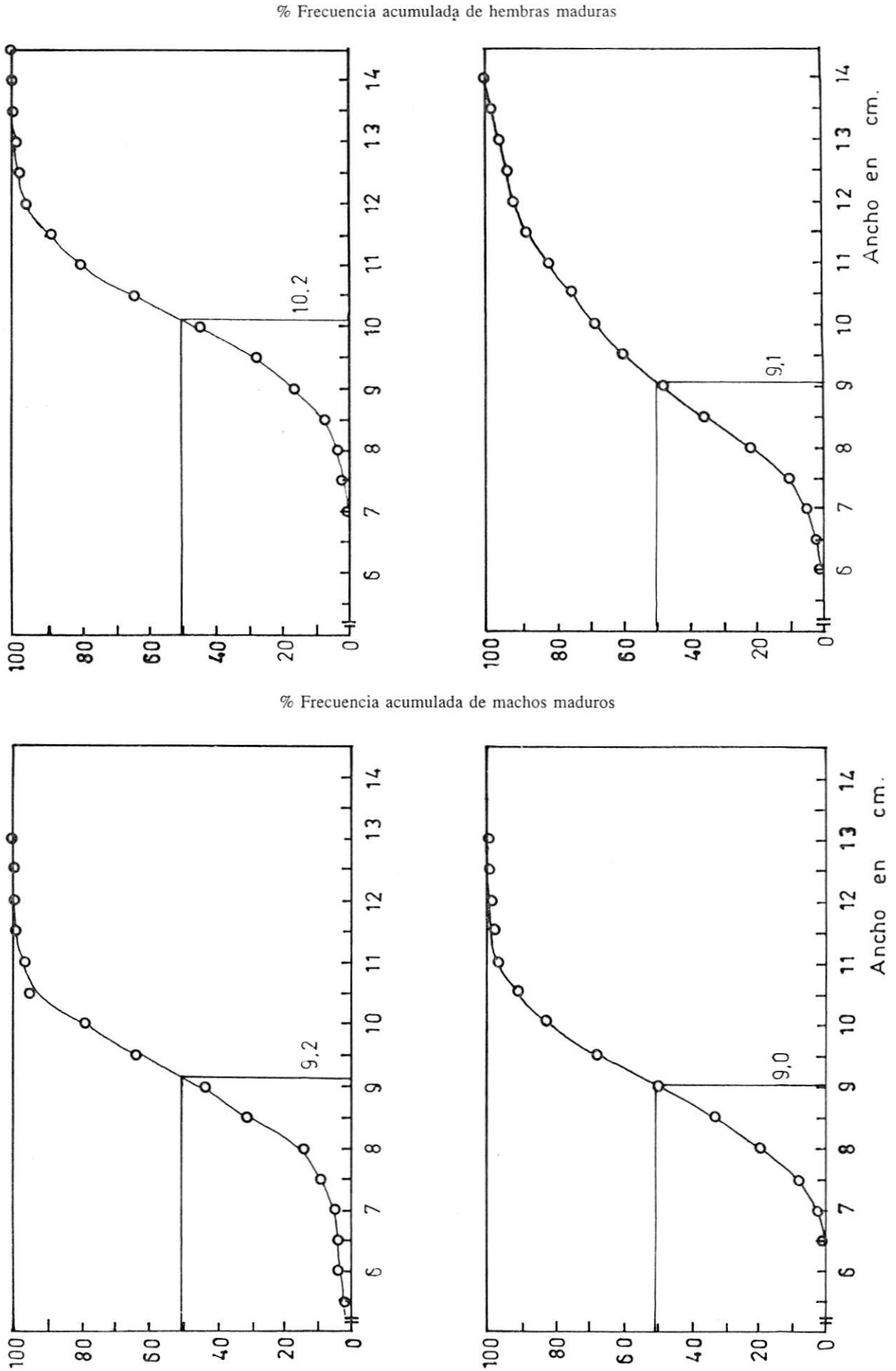


Figura 4. Talla promedio de madurez sexual (L50) para hembras (A) y machos (B) de *Callinectes sapidus* y para hembras (C) y machos (D) de *C. bocourti* para el período comprendido entre febrero de 1993 y enero de 1994 en la Ciénaga Grande de Santa Marta.



Finalmente se puede concluir, que las jaibas de la CGSM presentan desoves a lo largo del año, con picos en junio-julio y octubre para *C. sapidus* y uno sólo en mayo para *C. bocourti*. La talla mínima de madurez sexual es menor para machos que para hembras de *C. sapidus* (6.5 a 7.5 y 7.5 a 8.5 cm respectivamente), mientras que en *C. bocourti* las tallas son semejantes (entre 6.0 y 7.5 cm). La relación ancho vs. peso en *C. sapidus* está dada por la ecuación  $W = 0.074 * A^{2.95}$  y largo vs. peso por:  $W = 0.48 * L^{3.064}$  y en *C. bocourti* por la ecuación  $W = 0.169 * A^{2.72}$  para el ancho y por  $W = 0.512 * L^{3.021}$  para el largo.

### Agradecimientos

El presente estudio fue financiado por COLCIENCIAS, el INVEMAR y la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Expresamos nuestros agradecimientos a J. Mendo, R. Giraldo y R. Madera por su colaboración en la parte analítica y de procesamiento de la información, a A. Acero por sus comentarios al manuscrito, a P. Hernández por facilitarnos información del centro de acopio de Pueblo Viejo. Este documento es una parte de la tesis de grado de MJV, presentado a la Universidad Javerina como requisito para obtener el título de Bióloga.

### Bibliografía

- Bazigos, G. P. 1975. Esquema de encuestas sobre estadísticas de pescas aguas continentales. FAO Doc. Tec. Pesca, 133: 139 p.
- Botero, J.E. & L. Botero. 1989. Problemática ambiental del sistema de Ciénaga Grande de Santa Marta. Delta Exterior del Río Magdalena: 11-28. En: Colombia y el agua. Fescol. Ediciones Lerner Ltda. Bogotá, D.E., 78 p.
- Csirke, 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO. Doc. Tec. Pesca, 192: 82 p.
- Escobar, M. R & J.O. Giraldo. 1993. Evaluación de la captura de jaibas (Género *Callinectes*) con nasas y otros artes en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. Tesis Ing. Pesq., Univ. Magdalena, Santa Marta, 115 p.
- Gallo, J. 1983. Estudio biológico-pesquero de la "Bocona" *Cetengraulis edentulus* (Cuvier, 1820) en la Ciénaga Grande de Santa Marta y el mar adyacente (Colombia) (Pisces: Engraulidae). Tesis M. Sc. Univ. Nal. Colombia. Bogotá, 51 p.
- González, L. W. 1985. Relación longitud-peso de la caítipa *Diapterus rhombeus* (Cuvier, 1829) (Pisces: Gerreidae) del sur-oeste de la Isla de Margarita, Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente, 24(1-2): 15-22.
- Lasso, P & V. Ordóñez. 1987. Contribución al estudio biológico-pesquero de las jaibas (*Callinectes*) de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. (Crustacea: Decapoda: Portunidae). Tesis Biol., Univ. Nal. Colombia, Bogotá, 63 p.
- Pérez, A. & V. Briquets. 1978. Relaciones ancho-peso para tres especies de jaibas (Crustacea: Portunidae) de la costa suroccidental de Cuba. Rev. Cub. Inv. Pesq., 4: 99-105.
- Rebach, S. 1983. Orientation and migration in crustacea. Part 9. P. 217-269. En: Rebach, S. y D.W. Dunham (Ed). Studies in adaptation the behavior of higher crustacea. Wiley., New York, 282 p.
- Ríos, C.E. 1973. Algunos aspectos biológico-pesqueros de la trucha arco-iris, *Salmo gairdnerii* en la laguna de La Cocha. Div. Pesq., 2-3(11): 15p.
- Rodríguez, B. D. 1979. Los portúnidos del Caribe Colombiano con énfasis en el género *Callinectes*. Tesis. Biol. Mar. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, 146 p.
- Sparre, P., E. Ursin & S.C. Venema. 1989. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO. Fish. Tech. Paper., 306, 333 p.
- Taissoun, E. 1969. Las especies de cangrejos del Género *Callinectes* (Brachyura) en el Golfo de Venezuela y Lago de Maracaibo. Bol. Centro Inv. Biol. Univ. Zulia, 2: 1-102.
- Udupa, K.S. 1986. Statistical Method of estimating the size a first maturity in fishes. Fishbyte, 14(2): 8-10.
- Vazzoler, A.E.A. 1981. Manual de métodos para estudos de populações de peixes; reprodução e crescimento. Edit CNPq., Brasilia, 108 p.
- Weatherley, A. H. 1972. Growth and ecology of fish populations. Academic, London- New York, 293 p.
- Yañez- Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Aguirre, A., Díaz, S., Amezcua-Linares, F, Flórez D. & P. Chavance. 1985. Ecología de poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: factores que regulan las estrategias biológicas y la producción. Cap 15: 311-366. En A. Yañez-Arancibia (Ed.) Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration, UNAM, México, D.F., 654 p.

# PATRONES DE CRECIMIENTO DE LAS TORTUGAS GIGANTES (*Geochelone ephippium*) DE LA ISLA DE PINZON, GALAPAGOS

por

R. Amneris Siaca\* & Thomas H. Fritts

## Resumen

Siaca, R.A. & T.H. Fritts.: Patrones de crecimiento de las tortugas gigantes (*Geochelone ephippium*) de la isla de Pinzón, Galápagos. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19(75): 741-744, 1995. ISSN 0370-3908.

*Geochelone ephippium* es una de las catorce especies de tortugas gigantes descritas para el archipiélago de Galápagos y la única que habita en la isla de Pinzón. Esta isla se caracteriza por su pequeña extensión territorial, baja elevación y flora xerofítica. La población de tortugas gigantes en Pinzón se ha visto amenazada por la introducción accidental de ratas, por lo cual el Servicio del Parque Nacional Galápagos ha desarrollado un programa de manejo en cautividad de tortugas jóvenes con el fin de estabilizar la población. El programa consiste en la protección de juveniles retenidos en cautividad hasta cumplidos los cuatro ó cinco años de edad, momento en el cual dejan de ser vulnerables a la depredación por ratas y son incorporados a la población natural. Mediante el seguimiento de individuos de edades conocidas, puestos en libertad durante un período de veinte años, se ha podido determinar que esta especie alcanza la madurez sexual entre los doce y quince años. Se ha establecido también que el continuo crecimiento en los machos después de alcanzada la madurez es la causa de la diferencia de tamaño entre sexos.

**Palabras clave:** *Geochelone ephippium*. Tortugas gigantes. Islas Galápagos.

## Abstract

*Geochelone ephippium* is one of fourteen giant tortoise species described from the Galápagos Archipelago, and the only one that inhabits Pinzón island. This island is characterized by its low extension, low elevation and xeric climate. The population of Pinzón giant tortoises has been menaced by the introduction of rats. For this reason, the National Park Service of Galápagos has developed a captive rearing program in order to stabilize the population. The Conservation program consists of retaining juvenile tortoises in captivity until five years of age, time in which predation by rats and starvation are minimized. For twenty years, results from growth collection data in known age tortoises shows that this species reaches sexual maturity between twelve and fifteen years of age. Also, it has been established that the continuous growth in males after reaching sexual maturity is the cause of the difference in size between sexes.

**Key words:** *Geochelone ephippium*. Giant tortoises. Galapagos islands.

## Introducción

Las tortugas gigantes del género *Geochelone* son los únicos herbívoros nativos de gran tamaño que habitan en el archipiélago de las Galápagos. Su tamaño y forma característica así como su abundancia y facilidad de captura atrajeron la atención de los marineros durante los siglos 17 y 18, quienes las utilizaban como fuente de alimentación durante sus largos viajes. La posterior colonización del archipiélago trajo consigo mayor presión sobre las poblaciones de tortugas gigantes además de incrementar su consumo como fuente de alimento. La destrucción de su hábitat por medio de la agricultura así como por la introducción de animales domésticos y exóticos contribuyeron a reducir aún más sus poblaciones.

La distribución restringida de estas tortugas sujetas a condiciones variables y su lenta tasa de crecimiento son factores adicionales que han contribuido a reducir el tamaño de las poblaciones hasta el punto de estar amenazadas, pues han aumentado la mortalidad en los adultos o han reducido el reclutamiento de los juveniles (MacFarland *et al.*, 1974a). Sin embargo, su alta longevidad, su bajo requerimiento de energía y su lento metabolismo han permitido a las tortugas gigantes soportar condiciones climáticas extremas, haciendo de éstas buenas candidatas a ser recuperadas (Cayot, 1985).

Algunas especies de estas tortugas se encontraron en precario estado durante la década de los 70 (MacFarland *et al.*, 1974a; Swingland & Clemens, 1989). Sin embargo, hoy día, la situación de las poblaciones ha mejorado gracias a las investigaciones biológicas que han tenido importantes implicaciones para su conservación (MacFarland *et al.*, 1974b). Durante años, el Servicio del Parque Nacional Galápagos y la Estación Científica Charles Darwin han realizado censos de las poblaciones con el fin de obtener información sobre su razón de crecimiento, para de esta manera contribuir a la estabilización de las mismas. Específicamente, en Pinzón se ha desarrollado un programa basado en la protección de jóvenes en cautividad y su posterior incorporación a la población natural, a los cuatro ó cinco años de edad. La recolección de datos en el campo ha sido esencial para la formulación de un plan de supervivencia, recuperación e incremento en la población reproductora.

*Geochelone ephippium* es la única especie de tortuga gigante que habita en Pinzón. Esta isla se caracteriza por su pequeña extensión territorial (18.150 km<sup>2</sup>), elevación baja (458 m) y vegetación xerofítica (Black, 1973; Thornton, 1971), dominada por *Opuntia galapageia*, *Croton scouleri*, *Maytenus octogona*, *Alternanthera filifolia* y *Prosopis juliflora* entre otras (Cayot, 1985; Wiggins & Porter, 1971).

La población de estas tortugas se vio amenazada por la introducción accidental de ratas negras (*Rattus rattus*) durante los 1880 (Beck, 1903; Patton *et al.*, 1975). Por esta razón el Servicio del Parque Nacional Galápagos llevó a cabo en el año 1966 un programa en cautividad para estabilizar la población natural aumentando el reclutamiento de nuevos individuos. A través de este programa, se han

recolectado datos sobre el crecimiento en las tortugas gigantes. En el presente artículo se analizan dichos datos ampliando así el conocimiento sobre crecimiento postnatal hasta después de la madurez sexual en dicha población. Los objetivos que sustentan el estudio están basados en: la comparación del crecimiento de individuos a través de los años; comparación de tamaño por edades; búsqueda de evidencia de dimorfismo sexual; estimación del sexo con base en patrones de crecimiento; determinación de edad en la madurez y determinación de proporciones de sexo en varios grupos.

## Metodología

**Recolección de Datos.** El Programa primeramente comprende la localización de nidos en el hábitat natural. Estos son marcados para posibilitar su identificación y para facilitar el retorno del personal previo al tiempo de eclosión, permitiendo así la colección de los huevos y las respectivas camadas. Las tortugas pueden producir entre 1 y 4 nidos al año con una puesta promedio de 2 a 8 huevos. Los huevos son marcados en el momento de coleccionarse para mantener así la posición de desarrollo previo a incubación, como medida a reducir la mortalidad embrionaria. Las camadas son cuidadosamente transportadas a la Estación, procurando mantener la posición inicial de los huevos en las incubadoras, donde permanecen hasta finalizada la eclosión. Los recién eclosionados en la estación científica son marcados con pintura a modo de identificación y criados hasta cumplidos los cuatro a cinco años, tiempo en que éstas han alcanzado tamaño suficiente reduciendo su vulnerabilidad a la hambruna y a la depredación por ratas. Finalmente las tortugas juveniles son marcadas con un número permanente (escamas marginales), pesadas, medidas por el largo curvo del carapacho y repatriadas a Pinzón. Dicha repatriación está determinada luego de ser considerados factores tales como la humedad, la vegetación y las áreas habitadas previamente por dichos individuos.

Periódicamente los técnicos retornan a las áreas de repatriación y recoleccionan datos sobre el crecimiento y sobrevivencia de las tortugas. Durante más de veinte años el Programa ha recopilado todas las mediciones disponibles e información sobre cada tortuga encontrada. Estos datos han hecho posible el estudio de los patrones de crecimiento en una gran cantidad de las tortugas desde el momento de ser liberadas hasta después de alcanzar la madurez sexual. Esto permitirá la comparación de esta población con las de otras islas del archipiélago, así como con tortugas distribuidas alrededor del mundo.

**Análisis de Datos.** Los datos tomados por el Servicio del Parque Nacional Galápagos incluyen información sobre el tamaño y peso de las tortugas repatriadas desde 1966. La información recolectada contiene datos de unas 250 tortugas, algunas de las cuales por espacio de 20 años. En nuestro trabajo hemos enfatizado los individuos de nidos puestos entre 1966 y 1969. Utilizando el programa de computación Lotus 123 se determinaron a partir de la fecha de liberación y el largo curvo del carapacho, la edad en años, así como el creci-

miento diario y anual. La fecha y el largo del carapacho sirvieron también como coordenadas de las gráficas que se trazaron para determinar patrones de crecimiento. Con estas gráficas se ha podido diferenciar el sexo entre las tortugas y se ha determinado que la tasa de crecimiento disminuye una vez se alcanza la madurez. Esto ha podido ser confirmado en el campo mediante la examinación de algunas tortugas por parte de uno de los autores (T.H. Fritts).

Finalmente se realizaron análisis de regresión para cada tortuga con el propósito de describir curvas de crecimiento y hacer comparaciones entre juveniles y adultos así como entre machos y hembras. Se utilizaron los programas Kruskal Wallis y Mann-Whitney para corroborar la validez de la muestra estudiada.

**Resultados**

Se ha encontrado que los juveniles de ambos sexos crecen a intervalos más rápidos que los adultos. La media de las pendientes para los intervalos de crecimiento en juveniles fueron de 5.12 para los machos y 4.71 para las hembras, contrastando con las pendientes de los adultos, 1.54 para los machos y 0.17 para las hembras.

Diferencias en las tasas de crecimiento en machos y hembras juveniles no se hacen evidentes durante la primera etapa pero si existen diferencias en la edad en la cual alcanzan la madurez. Los machos aparentan crecer un poco más rápido, alcanzando la madurez sexual primero ( $x = 13.4$  años), con una tasa de crecimiento menor después de llegar a la madurez (Figs. 1, 2).

Las hembras aparentan crecer más lentamente que los machos, alcanzando la madurez más tarde ( $x = 14.1$  años), y su crecimiento posterior es mucho más lento y estable causando que éstas sean más pequeñas que los machos en la etapa adulta (Figs. 3, 4).

El resultado de estos patrones de crecimiento es que los machos alcanzan significativamente mayores tamaños los cuales sobrepasan los 80 cm, contrastando con las hembras, quienes se mantienen entre los 75-80 cm.

Los datos de las tortugas jóvenes puestas en libertad sugieren que después de los 3-5 años de edad la supervivencia es alta en juveniles de habitats secos y de pequeñas islas como Pinzón (Fritts, 1988).

Este resultado es apoyado por observaciones realizadas sobre el comportamiento de tortugas, pues se han

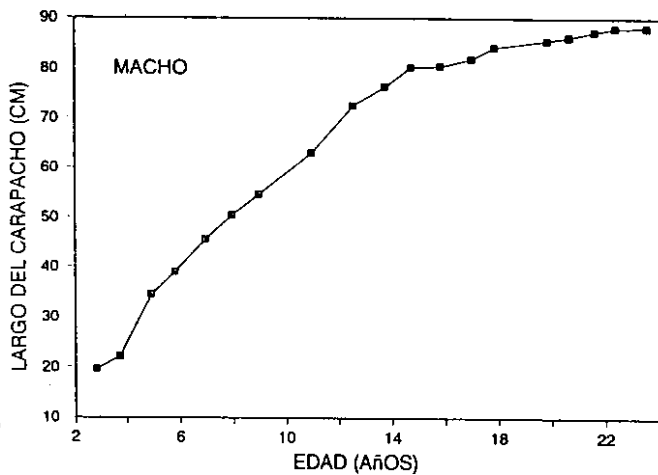


Figura 1. Patrón de crecimiento del macho 110 del grupo 1966, Pinzón.

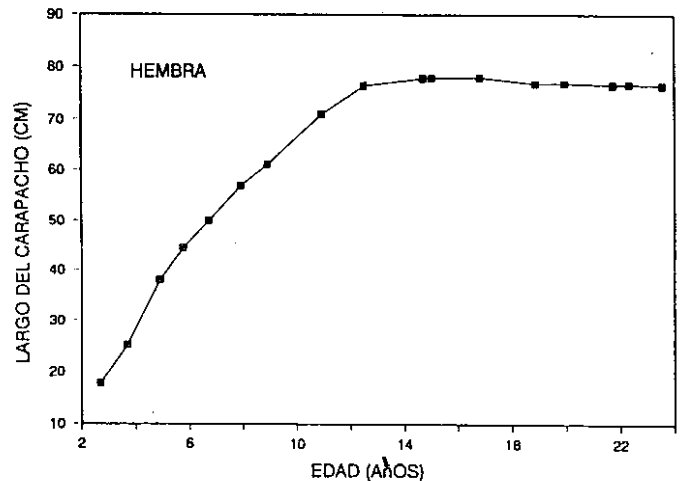


Figura 3. Patrón de crecimiento de la hembra 112 del grupo 1966, Pinzón.

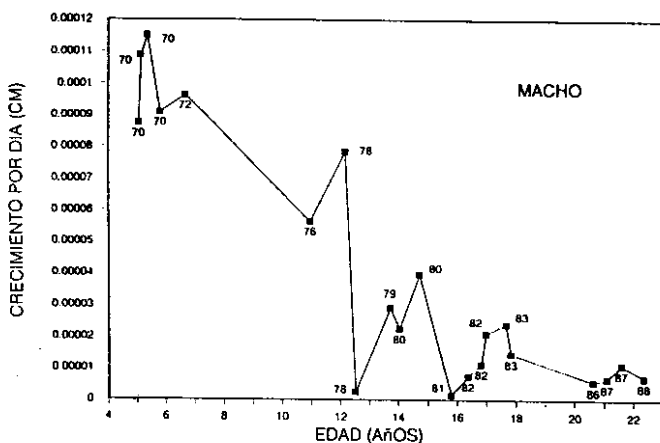


Figura 2. Crecimiento diario en largo del carapacho del macho 110 del grupo 1966, Pinzón.

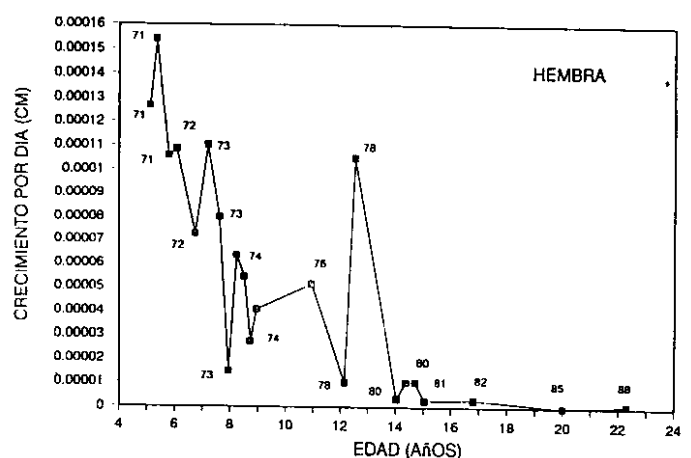


Figura 4. Crecimiento diario en largo del carapacho de la hembra 112 del grupo 1966, Pinzón.

observado algunos intentos de apareamiento entre tortugas de 15 años en Pinzón durante 1982-1983 (Cayot, 1985). La madurez reproductiva ha sido confirmada por la observación en 1986 de la conducta de nidificación de tortugas procedentes del grupo eclosionado en 1966.

### Discusión

Las primeras tortugas puestas en libertad en Pinzón, alcanzaron la madurez sexual en 1980, incorporándose de esta manera a la población reproductora. Los machos alcanzaron la madurez sexual a una edad promedio de 13.4 años y las hembras a una edad promedio de 14.1 años, contrastando con estudios anteriores que estiman dicha edad promedio entre los 30-40 años (MacFarland *et al.*, 1974a).

Se ha encontrado que los juveniles crecen más rápido que los adultos, así como que los machos muestran mayor tamaño que las hembras en su etapa adulta. También se ha podido evidenciar utilizando ejemplares de sexo estimado con base en los patrones de crecimiento que esta especie muestra dimorfismo sexual como resultado del crecimiento después de la etapa juvenil.

Aunque los esfuerzos de conservación no han podido erradicar de manera sustancial las ratas negras en Pinzón, la incorporación de individuos a esa pequeña población adulta, que al iniciar el programa comprendía de 100 a 150 ejemplares, (MacFarland *et al.*, 1974a; Swingland & Clemens, 1989) ha demostrado ser un paso importante para su recuperación. Se ha podido estabilizar la población aumentando el tamaño de la misma, manteniendo así la diversidad genética y mejorando la distribución de edades.

Hasta el momento unas 250 tortugas jóvenes han sido devueltas al hábitat, con una alta supervivencia, pues 181 han alcanzado los quince años de edad, formando parte potencial de la población reproductora. Cada año más tortugas maduran reemplazando cualquier mortalidad en la población adulta. De esta manera la supervivencia de la población en un futuro inmediato está asegurada.

### Agradecimientos

Deseamos expresar nuestra gratitud al personal del Servicio del Parque Nacional Galápagos y la Estación Científica Charles Darwin, quienes nos cedieron los datos sobre el Programa de Conservación durante los pasados años. La oportunidad de participar en este estudio de uno de nosotros (A. Siaca) fue posible gracias al apoyo del Programa de Internos en el Departamento de Zoología de Vertebrados, Smithsonian Institution.

### Bibliografía

- Beck, R. H. 1903. In the Home of the Giant Tortoise. Annual Report of the New York Zoological Society. 7: 160-174.
- Black, J. 1973. Galápagos, Archipiélago del Ecuador. Imprenta Europa, Quito, Ecuador. pp. 138.
- Cayot, L. 1985. Effects of El Niño on Giant Tortoises and Their Environment, pags. 363-398. *en*: Robinson, G. y E. M. del Pino (eds.), El Niño en las Galápagos: El evento de 1982-1983. Fundación Charles Darwin, Quito, Ecuador.
- Fritts, T. H. 1988. Research and Management Considerations for Giant Tortoises (Genus *Geochelone*) in Galápagos. Trabajo sin publicar presentado en el Simposio de Herpetología de Galápagos. Galápagos, Ecuador. :1-10.
- MacFarland, C., J. Villa & B. Toro. 1974a. The Galapagos Giant Tortoises (*Geochelone elephantopus*). Part I: Status of Populations. *Biological Conservation* 6 (2) 118-133.
- . 1974b. The Galapagos Giant Tortoises (*Geochelone elephantopus*). Part II: Conservation Methods. *Biological Conservation* 6 (3) :198-212.
- Patton, J. L., S. Y. Yang & P. Myers. 1975. Genetic and Morphologic Divergence Among Introduced Rat Populations (*Rattus rattus*) of the Galapagos Archipelago, Ecuador. *Systematic Zoology* 24: 296-310.
- Swingland, I. R. & M. W. Klemens. 1989. *Geochelone elephantopus*, Galapagos Giant Tortoise, pags. 24-28. *en*: Swingland, I. R. y M. W. Klemens (eds.), The Conservation Biology of Tortoises. IUCN, Gland, Switzerland.
- Thornton, I. 1971. Darwin's Islands. A Natural History of the Galapagos. NH Press. pp. 322.
- Wiggins, I. L. & D. M. Porter. 1971. Flora of The Galapagos Islands. Stanford University Press. California, U.S.A. pp. 998.

# VIDA ACADEMICA

## BIODIVERSIDAD, TROPICALIDAD Y MODELO DE DESARROLLO<sup>1</sup>

Por: Luis Eduardo Mora-Osejo

La inmensa diversidad de seres vivos que pueblan la tierra es quizás el fenómeno más llamativo e interesante del planeta. Sin embargo, aún no existe consenso sobre las causas que produjeron tal fenómeno.

DARWIN (1859) propuso la teoría de la selección natural ejercida por el ambiente sobre los mutantes surgidos al azar, para explicar la evolución y diversificación de las especies; mientras los neodarwinistas hacen hincapié en el aislamiento en refugios como factor impulsor crucial de la evolución y por ende de la inmensa diversidad biológica de la tierra.

Por otra parte, la diversidad biológica no es uniforme, varía según las diferentes regiones de la tierra. El número de especies de muchos grupos aumenta exponencialmente en dirección hacia los trópicos, donde se ubica la mayor biodiversidad con el 50% o hasta el 90% de especies para algunos grupos, no obstante representa solamente el 7% del área global de la tierra.

Así, de acuerdo con KLINGE (1973), en una hectárea de la Amazonía Central del Brasil, pueden crecer más de 500 especies diferentes de árboles, es decir, 3 veces más especies arbóreas que en toda Europa. Por otra parte, está bien establecido que en 1 km<sup>2</sup> de los bosques tropicales húmedos de América Central y Suramérica viven varios cientos de especies de aves y miles de especies de mariposas, cucarrones y otros insectos. Pero lo que resulta aún más sorprendente es que en un sólo árbol de la selva tropical húmeda puedan vivir igual número de especies de hormigas que las que viven en las Islas Británicas, de acuerdo con los estimativos de WILSON (1987). Pero la magnitud de la biodiversidad global de la tierra, se torna inimaginable si tenemos en cuenta que las especies están conformadas por individuos, cada uno diferente al otro. WILSON (1971), calcula que las 10.000 especies diferentes de hormigas comprenden 10<sup>15</sup> individuos. Además, cada individuo es el depositario de una enorme cantidad de información genética. Mil genes en cada bacteria; 10.000 en algunos hongos, 400.000 o más en muchas fanerógamas, de acuerdo con HINEGARDNER (citado por WILSON, 1988).

De todos modos, quizás lo que preocupa sobre todo a los naturalistas y biólogos, es que aún se desconozca taxonómicamente la inmensa mayoría de las especies de organismos que habitan la tierra y por tanto tales especies no se hayan descrito, ni registrado como entidades taxonómicas. En el caso de los trópicos este desconocimiento adquiere caracteres dramáticos y angustiosos, sobre todo, ante la certidumbre de que cada minuto que transcurre, desaparece una hectárea de bosque tropical, como efecto de la tala extensiva del bosque, particularmente por la llamada "tumba y quema" de áreas cada vez más extensas en la medida en que se

utilizan tecnologías de corte y aserrío más sofisticadas y se acelera el avance de la frontera agrícola y ganadera hacia los centros de dispersión y refugios de la flora y de la fauna, particularmente, de la Amazonia y del Pacífico, en el caso de Colombia.

En nuestro país, que ocupa el primer lugar en el mundo en diversidad de especies nativas por unidad de área y el segundo lugar en número total de especies, según el Informe Nacional para la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Rio de Janeiro, en junio de 1992, la mayoría no ha sido aún clasificada, aunque de muchas de las especies desconocidas reposan ya especímenes en las colecciones de los Museos y muestras de herbario, a la espera de que un taxónomo especialista en el grupo respectivo se interese por su estudio y clasificación.

Paradójicamente, en nuestro país, el discurso sobre la Biodiversidad no ha incluido planteamientos sobre la necesidad de incrementar, impulsar y dotar de facilidades logísticas y económicas a las instituciones que tradicionalmente, desde muchas décadas atrás, como el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, se han venido ocupando de estos estudios y de difundir conocimientos sobre nuestra Biodiversidad a la que en todo tiempo se consideró como el más preciado patrimonio nacional. Asimismo, es mucho aún lo que falta por hacer para fortalecer los estudios universitarios de pregrado y posgrado en el campo de la sistemática, propiamente dicha; de donde habrán de surgir las nuevas promociones de taxónomos calificados, tan necesarios para enfrentar la tarea de estudiar y clasificar nuestra inmensa biodiversidad.

Entre tanto, estudios recientes muestran que los cálculos teóricos disponibles sobre número de especies de organismo, por ejemplo, de las selvas amazónicas, eran demasiado modestos. La diversidad de especies, en particular de insectos es mucho mayor que la que hasta hace poco se había calculado. ERWIN (1991), con fundamento en sus trabajos efectuados en la Amazonia Peruana, calcula que existen unas 30 millones de especies de insectos y fundamenta sus cálculos, especialmente, con base en las colecciones de cucarrones que efectuó en las copas de los árboles que crecen en la Reserva de Tambopata, al sureste de la Amazonia peruana. Lo propio parece ocurrir, de acuerdo con varios autores, en lo que concierne a la diversidad de las plantas epífitas, líquenes, hongos, nemátodos, termitas, protozoarios, bacterias y otros microorganismos abundantes sobre todo en las copas de los árboles del bosque tropical.

Asimismo, cada día es más evidente la extraordinaria diversidad biológica de los arrecifes de coral; de los pisos de los mares profundos; en fin, de los suelos de las sabanas y de los bosques tropicales.

Pero si bien es en los trópicos donde se registran para los diferentes grupos de organismos las biodiversidades más altas, es también allí donde se están presentando ahora los mayores descensos de la biodiversidad.

El Profesor, E.O. WILSON (1988), del Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard, y una de las figuras más

<sup>1</sup> Conferencia pronunciada por el Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en sesión de instalación del "Primer Congreso Nacional Sobre Biodiversidad" Santiago de Cali 4-7 de diciembre de 1994.

destacadas en el estudio de los impactos de las pérdidas de biodiversidad en el ámbito de todo el planeta, opina que cada año que transcurre desaparece una especie por cada mil especies de organismos, y confirma que la mayor parte de esta pérdida corresponde a las regiones tropicales.

Muchos científicos se preguntan, entonces: ¿Cuál es la razón de esa mayor pérdida? y coinciden en aseverar que las condiciones particulares del clima y del suelo de los trópicos determinan que las talas extensivas resulten realmente catastróficas. O sea que aquellas condiciones particulares del medio de donde deriva la gran biodiversidad son las mismas que determinan su fragilidad.

Recordemos que los bosques naturales de Europa y Norteamérica también fueron destruidos, sin embargo, son relativamente muy pocas las especies de plantas y animales que se extinguieron, de acuerdo con los registros históricos.

Ahora bien, si son los mismos factores naturales determinantes de la elevada biodiversidad los que están de alguna manera ligados a la extinción de las especies en el trópico cuando ocurren talas extensivas, bien vale la pena examinarlos más detenidamente; ya que de tal examen, es posible que surjan respuestas a la pregunta: ¿Cómo evitar que la biodiversidad de los trópicos y, en particular, de Colombia, país con una de las mayores biodiversidades del planeta, aún dentro del contexto de los países tropicales, se extinga irreversiblemente?

Debemos de empezar por señalar algunas características singulares de la biodiversidad tropical que la distinguen claramente de la de las zonas templadas y nórdicas de la tierra. La primera de tales características fué constatada ya por varios viajeros europeos que visitaron la Amazonia a lo largo del siglo XIX; entre otros, Henry Bates y Alfredo R. Wallace, (citados por REICHHOLF 1990), quienes observaron que si bien en las selvas tropicales la vida es exuberante, en cuanto que en áreas relativamente reducidas existen numerosas especies; sin embargo, de cada especie sólo se encuentran pocos individuos en una área determinada. Tan es así, agregaban, que es más fácil encontrar diez especies diferentes de mariposas, en un mismo sitio, que diez individuos de una misma especie de mariposas en ese mismo sitio.

Otra característica singular de la biodiversidad de los bosques tropicales húmedos tiene que ver con la distribución geográfica de las especies. Se ha podido establecer que muchas de las especies de las selvas húmedas tropicales están restringidas geográficamente y que raras veces el área de los hábitats de las respectivas especies se sobreponen. O sea que, por lo general, los areales son contiguos o raras veces ligeramente superpuestos.

Puesto que las abundancias suelen ser también bajas los patrones de distribución adoptan la forma de mosaicos. Todo esto es en particular cierto para el caso de la megafauna, relativamente escasa, sobre todo si se la compara con la de las sabanas y los bosques tropicales secos.

Sin embargo, algunas otras especies como alopatricas o geográficamente exclusivas y contrastan con las parapátricas a las cuales acabamos de referirnos, de hábitat contiguo. Las especies parapátricas prosperan dentro de nichos adyacentes, pero excluyentes, y cada especie utiliza dentro de una misma área recursos y mecanismos diferentes.

Esta compleja estructuración del hábitat, a manera de una malla fina de nichos específicos, es la forma como se concreta la gran complejidad y biodiversidad de las selvas tropicales para quienes se han ocupado de estudiar detenidamente estos fenómenos.

Desde luego, el surgimiento de tal subdivisión fina en nichos específicos sólo pudo ser posible, merced a la estabilidad de las condiciones del clima favorables para la vida, a lo largo del ciclo anual completo, a diferencia de lo que ocurre en las zonas templadas de la tierra de clima marcadamente estacional con inviernos cada vez más prolongados y rigurosos hacia los dos polos.

Para el caso de las especies alopatricas, el mecanismo de especiación más relevante correspondería al aislamiento geográfico, el mismo que impide el intercambio de material genético a través de la reproducción sexual. Al principio, pequeñas poblaciones debieron quedar aisladas de otras poblaciones coespecíficas, probablemente, durante los periodos de expansión y retracción de la selva en el Pleistoceno, de acuerdo con la hipótesis de HAFFER (1969). Estas poblaciones, a través de desarrollos propios, se adaptaron a las particularidades locales hasta alcanzar el status de especies, en el momento en que dejó de ser posible el entrecruzamiento con las poblaciones ancestrales afines. Esto mismo ocurrió también en las zonas templadas de la tierra durante el Pleistoceno, pero mientras que allí las especies siempre estuvie-

ron conformadas por poblaciones de numerosos individuos distribuidos en áreas extensas generalmente no fragmentadas, en el trópico, en cambio, la fragmentación múltiple de las poblaciones con reducido número de individuos fué la regla general, de donde resultaron poblaciones aisladas en las que rápidamente se acumularon mutaciones y bajo la influencia de la selección natural surgieron especies estrechamente adaptadas a las condiciones locales muy particulares.

Por otro lado, las poblaciones de numerosos individuos de las especies de la zona templada, solamente pudieron desarrollarse merced a la gran abundancia de los recursos nutricionales del suelo. En contraste con la situación de los trópicos donde los suelos pobres en nutrientes solamente pudieron sostener poblaciones pequeñas de especies, por consiguiente, sometidas a alta presión de competencia por ocupar nichos contiguos o inclusive superpuestos.

¡De allí que la gran diversidad de especies, de una determinada localidad, contraste con el pequeño número de individuos! En las áreas en donde la escasez de nutrientes minerales del suelo alcanza grados críticos, las especies tienen que utilizar las más sutiles posibilidades para tener acceso a los nutrientes vitales y es precisamente allí donde el bosque húmedo tropical alcanza la mayor diversidad de especies y resulta más cierto aquello de que el bosque tropical húmedo pareciera subsistir del "aire".

Efectivamente, los árboles toman de la atmósfera el bióxido de carbono y el oxígeno; además, las aguas lluvias arrastran de las ramas superiores del árbol los nutrientes y los llevan lentamente hacia las raíces absorbentes que se extienden superficialmente y a poca profundidad de la superficie del suelo. Esta es la estrategia que les permite prosperar en suelos tan pobres en nutrientes sobre todo en elementos vitales, como lo precisara KLINGE Y FITKAU (1972).

Por el contrario, en el pie de monte y en los niveles cada vez más altos de la cordillera andina adyacente, la calidad de los suelos mejora, por ser geológicamente más jóvenes y de origen volcánico. A medida que mejora la calidad del suelo, el número de individuos por unidad de área de una misma especie crece rápidamente y es posible, que una o varias especies se tornen dominantes.

Son estos conocimientos, obtenidos no hace mucho tiempo, de donde procede la nueva visión que se tiene ahora sobre las condiciones de los suelos de las selvas húmedas tropicales, sobre todo desde el punto de vista fitosociológico y agrícola.

Todavía al promediar la década de los años veinte de este siglo, ALBRECHT PENCK (1924), miembro de la antigua Academia Prusiana de Ciencias, afirmaba que el potencial del bosque tropical húmedo haría posible el sostenimiento de una población de 200 habitantes por Km, en comparación con sólo 100 habitantes en la misma área en los bosques de las regiones templadas. Pero ya en la década siguiente, KARL SAPPER (1939), en su trabajo sobre la "Economía alimentaria global y perspectivas futuras de la humanidad", expresaba fuertes dudas sobre las afirmaciones de PENCK (l.c.).

En su trabajo se refería al rápido retroceso en los rendimientos de las cosechas procedentes de cultivos implantados en áreas otrora cubiertas por bosques y sabanas tropicales naturales. Además, SAPPER (l.c.) adelantándose a los resultados de los trabajos de SIOLI (1954), ya suponía que el factor principal de esa situación tenía que ver con la pobreza de nutrientes del suelo.

Pero aún así, en los años siguientes a la publicación de estos trabajos, en razón de la deficiencia de los conocimientos sobre las interrelaciones entre la calidad y los efectos ecológicos del suelo, no se logró modificar el convencimiento general sobre la elevada fertilidad de los suelos tropicales.

De allí que todavía al comienzo de la década del setenta, el geógrafo y economista HANS CAROL (1972), uno de los más activos investigadores del medio físico y biótico del continente africano, afirmaba que el Africa Tropical tendría una capacidad alimentaria teórica, capaz de sostener tres mil millones de habitantes, o sea, aproximadamente la mitad de la actual población humana.

Todavía por entonces, se pensaba que la gran exuberancia de los bosques húmedos tropicales, multiestratificados, con árboles corpulentos, epifitas, plantas trepadoras abundantes y matorros de grandes hojas, tendría que provenir de la gran fertilidad del suelo. De allí que también entre nosotros por aquellos años se hacía hincapié sobre la conveniencia y aún necesidad de intensificar la colonización de las llamadas tierras baldías y ampliar la frontera agrícola hacia las selvas tropicales, bajo el erróneo supuesto de su fertilidad excepcional.

Pero aún ahora mismo, mucho son los que todavía opinan que es en las zonas cubiertas de bosques tropicales húmedos don-

de se encuentran los suelos más fértiles del país. Probablemente, esta apreciación tenga que ver con la fertilidad de las franjas inundables que bordean los llamados "Ríos Blancos" de la Amazonia, precisamente por arrastrar sus aguas sedimentos ricos en minerales procedentes de la cordillera andina. Desde luego, estos suelos azonales, efectivamente si son capaces de sustentar cultivos permanentes, como los que prosperan a lo largo de las vegas de los ríos de la Várcea amazónica y de otras regiones tropicales bajas como las del Congo y Java.

Los suelos donde crecen los llamados bosques y matorrales tropicales secos, son también más fértiles que los de los bosques húmedos. A medida que aumenta la sequedad, disminuye el efecto de la meteorización química. En consecuencia, la fase mineral de los suelos y las arcillas con minerales intercambiables son más abundantes. De allí que estos suelos sean potencialmente más fértiles que los suelos de las sabanas y del bosque tropical húmedo como lo afirma WEISCHET (1980).

En conclusión, los suelos de los bosques tropicales húmedos por su constitución y características, no son aptos para la agricultura intensiva, dada la notable pobreza de nutrientes en la fase mineral y además el alto grado de acidez y toxicidad generalizada, causada por el aluminio, como lo destaca CORTES LOMBANA (1982) en su libro sobre "Geografía de los suelos de Colombia". Además, según este mismo autor, los suelos son susceptibles al fenómeno erosivo por la intensa disecación a que fué sometida la superficie. Además, por las precipitaciones abundantes, la elevada humedad relativa del aire y la intensa radiación solar, tampoco resultan apropiados para adelantar programas agroindustriales.

Por otra parte, las altas concentraciones de hierro y aluminio favorecen la formación de compuestos insolubles con el fósforo, lo que impide la disponibilidad de este elemento para ser absorbido por las raíces de las plantas. Además, las aguas lluvias lavan el calcio y el potasio del suelo tan pronto se disuelven los minerales que los contienen.

No obstante, estas características desfavorables del suelo, los bosques tropicales húmedos pudieron establecerse y evolucionar durante los últimos 150 millones de años. En algún momento, se crearon los mecanismos que permitieron la captación y almacenamiento de carbono no atmosférico y los nutrientes vitales en los tejidos de las plantas, árboles, arbustos y matorrales de los bosques. En consecuencia, la capa de hojarasca y de humus en el piso fué siempre muy tenue, comparada con el espesor que alcanzan en las zonas templadas de la tierra e inclusive en los bosques andino y altoandino de las tres cordilleras Colombianas.

Entre los mecanismos que surgieron en algún momento en la evolución del bosque para hacer posible el surgimiento paulatino del bosque, se destaca la aparición de la asociación simbiótica entre las raíces de los árboles y los finos y extendidos micelios de los hongos micorrízicos. Las micorrizas en el bosque húmedo tropical son muy frecuentes y son para la mayoría de las especies arbóreas indispensables para su supervivencia. Junto con las raíces, las micorrizas conforman una red de captación de los minerales presentes en las capas superiores del suelo, provenientes de los mismos árboles al descomponerse las hojas y formar los detritos que luego son arrastrados por las aguas lluvias hasta el suelo. Los iones absorbidos por las micorrizas son translocados luego a las raíces y llevados hasta las ramificaciones y follaje que conforman la copa de los árboles, merced a la fuerza de succión de la transpiración foliar. De acuerdo con lo establecido por Sioli y sus colaboradores en el Instituto de Plön, en Alemania y de Manaus, en la Amazonia Central, entre otros KLINGE Y FITTKAU (1972).

Es tal la eficiencia de este mecanismo que en las aguas freáticas y aún en las aguas de los riachuelos que corren por entre la selva prístina, no se detecta la presencia de iones minerales, en cuanto todos fueron absorbidos por las raíces y las micorrizas simbióticas. Los iones sobrantes, no utilizados en el metabolismo de las plantas, son almacenados por los troncos y por los tejidos de revestimiento de la planta altamente diferenciados y ya fenecidos, como el suber y el ritidoma de la corteza. Cuando se tumban y queman áreas considerables del bosque, el fuego libera los minerales almacenados en la madera y en la corteza, en forma de ceniza y, un período breve de fertilidad del suelo, es la consecuencia. Después de 2 o 3 cosechas, los minerales han desaparecido por la acción de arrastre de las aguas lluvia. La ausencia de humus y de arcillas favorece el lavado de los minerales. Este mismo fenómeno es el responsable de que los árboles, por consiguiente, el bosque, no pueda restablecerse. El sistema radical subterráneo y las micorrizas simbióticas conforman un filtro que deja de funcionar cuando se tumban los árboles. Los minerales son lavados entonces por las lluvias y quedan por fuera del ciclo.

Estos conocimientos, relativamente recientes, sobre el funcionamiento del bosque, han permitido que las comunidades científicas nacionales e internacionales y amplios sectores de la sociedad tomen conciencia sobre la necesidad de introducir cambios en la visión global que se tenía de los ecosistemas tropicales y en especial de su funcionamiento, tan necesarios para la complementación y aplicación de estrategias de aprovechamiento sostenible que no impliquen el deterioro irreversible de los ecosistemas.

Por fortuna, los nuevos conocimientos muestran con claridad que para la conservación de la biodiversidad de los bosques húmedos tropicales será necesario crear procedimientos que tengan en cuenta sus características funcionales y estructurales, determinantes de su complejidad y fragilidad y de sus diferencias con respecto a los ecosistemas de las zonas templadas de la tierra.

Como bien lo afirma NORGAARD (1988), la adopción y aplicación indiscriminada de los conocimientos y las tecnologías derivadas de la Ciencia y la Tecnología occidentales, han colocado a las más diferentes culturas y a los medios donde ellas se desenvuelven, en caminos convergentes, conducentes a su uniformización. Así se ha llegado a dar a la agricultura y silvicultura de los más disímiles y heterogéneos medios, el mismo manejo, con la intención de aumentar el rendimiento económico de las cosechas. Poco a poco, se han ido adoptando las mismas prácticas agrícolas y silviculturales, en particular, en lo que concierne a la fertilización y al control de plagas y malezas, mientras a los procedimientos utilizados por las poblaciones indígenas, hasta no hace mucho tiempo, se les tachaba de subdesarrollados cuando no primitivos.

La llamada globalización de la economía trae consigo el establecimiento de mercados globales, valores globales, organizaciones sociales globales, tecnologías globales y desde luego, criterios globales para tratamiento del ambiente. La biodiversidad y la diversidad cultural han ido en detrimento. En lo que toca al medio ambiente, no se tiene en cuenta la elevada sensibilidad de las especies nativas a cambios que ocurran en el entorno. En los trópicos, un ligero y persistente cambio del clima o de alguno de sus parámetros, tales como humedad relativa del aire, intensidad de la radicación, entre otros, puede fácilmente conducir a la desaparición de una especie. No así en la zona templada de la tierra, de donde procede el modelo de desarrollo predominante y las tecnologías para el manejo del entorno. Las especies de estas regiones son tan resistentes que fueron capaces de sobrevivir y coevolucionar a lo largo de todo el Pleistoceno y sus facies de glaciación e interglaciación. Estos comportamientos tan disímiles entre unas y otras especies, boreales, australes y tropicales, explican en cierta forma por qué los bosques tropicales con su gran diversidad de especies y complejas interrelaciones son muy vulnerables a los cambios promovidos por las tecnologías modernas.

Pero como es fácilmente comprobable, la deforestación de las regiones tropicales no solamente afecta al entorno físico; sino, lo que es más preocupante y doloroso, a todos los habitantes de la región, incluidas las comunidades indígenas que tras el interactuar milenar con el medio tropical; desde tiempos remotos, reconocieron su alta biodiversidad, complejidad y fragilidad e implantaron el uso sostenible de sus recursos. De allí que las comunidades indígenas sean participantes protagónicos de esos ecosistemas, en cuanto fueron capaces de crear sistemas sostenibles de utilización del bosque tropical, contribuyeron a aumentar su vigor y a enriquecer las poblaciones de mamíferos y de especies vegetales de gran valor, tanto para su propia subsistencia como para sostener el equilibrio dinámico del entorno.

De allí que cada vez que el hombre blanco o mestizo desvasta el hábitat tradicional, conduce a su desplazamiento y al cambio profundo de su modo de vida.

No hay duda, entonces, que el ejemplo de los indígenas puede darnos ideas útiles para el aprovechamiento del bosque natural sin que ello implique su destrucción irreversible y aún para el restablecimiento del bosque en áreas ya devastadas.

Sin embargo, no falta quien confunda la "Agricultura de Desplazamiento", practicada por las comunidades indígenas, con la llamada "Tumba y Quema" de grandes extensiones del bosque. En realidad, existe una gran diferencia en cuanto que la primera consiste en la tala de la vegetación de una área reducida, cuidadosamente seleccionada, para el establecimiento de un cultivo, procedimiento que viene siendo practicado desde el neolítico, de acuerdo con lo establecido por CONKLING (1961).

El área seleccionada no puede sobrepasar determinados límites, generalmente de una hectárea de extensión, de tal modo que la distancia de dispersión de las semillas sea lo más corta posible. Los cultivos que se establecen en tales áreas, por lo general,



durante entre 2 y 3 años, de tal manera que no se impida el restablecimiento del bosque nativo.

El ejemplo de los indígenas muestra, por otra parte, que las políticas de conservación que se adopten, necesariamente, tienen que integrarse con las políticas dirigidas a elevar el nivel y la calidad de la vida de las gentes que para su propia subsistencia y la de sus familias, emprenden la devastación de los bosques. Será necesario promover e incrementar las acciones encaminadas a identificar alternativas que sustituyan la práctica de la devastación y suplir las necesidades de las comunidades sin que implique la destrucción del hábitat y de los recursos biológicos utilizados. Desde luego, sin excluir otras posibilidades ya bien conocidas y puestas en práctica en nuestro país, desde hace varias décadas, como el establecimiento de reservas, parques, refugios de vida silvestre, bancos de germoplasma representativos de la diversidad biológica.

Exceptuadas quizás las especies maderables más valiosas, es muy incompleto el inventario de las especies más amenazadas; por la misma razón, la conservación tiene que necesariamente abarcar la preservación de hábitats y comunidades de reconocida elevada biodiversidad, particularmente de especies endémicas. Sin perjuicio de que se establezcan otros programas de conservación, *ex situ*, de especies valiosas en peligro de extinguirse.

De todas maneras, las políticas de conservación tendrán que apoyarse en bases realistas, partiendo del principio de que el bienestar de la población contribuirá decididamente al éxito de los esfuerzos en pro de la conservación.

Definitivamente, las argumentaciones científicas, académicas o estéticas, por más validez que tengan, no son en la práctica suficientes para lograr la conservación de la biodiversidad que todos deseamos se convierta antes de que sea demasiado tarde, en una gran realidad.

De todos modos, los objetivos explícitos de la conservación deben de estar de algún modo conectados con las metas del desarrollo económico, el cual para cumplir con la condición de la sustentabilidad debe ser endógeno, esto es, inspirado en los valores culturales propios y dirigido a solventar las necesidades específicas de las comunidades.

La imitación improvisada de modelos de desarrollo foráneos, procedentes de los países de las regiones templadas de la tierra, asentados en ecosistemas mucho más estables y resistentes que los frágiles sistemas tropicales resultará, a largo plazo y, de ello no me cabe duda, catastrófica.

Las políticas que se adopten deben considerar estrategias aplicables a nuestro medio y al aprovechamiento del bosque natural sin que los procedimientos que se adopten impliquen su destrucción, sino más bien su vigorización y enriquecimiento, siguiendo el ejemplo de las comunidades indígenas.

Estas estrategias de conservación de la biodiversidad deben también aplicarse a los bosques relictuales andinos y altoandinos que aún coronan, en algunos pocos sitios, nuestras montañas, o bordean los ríos, quebradas y riachuelos y protegen las cuencas de cuyo mantenimiento dependen los manantiales que abastecen de agua las aldeas, las ciudades y las megápolis cada vez más pobladas y caóticas.

La elevada y constante humedad relativa del aire que aún persiste al interior de estos bosques o montes andinos, garantiza que las plantas nativas que allí se siembran superen las fases de latencia de las semillas y de las plántulas y puedan continuar creciendo, así protegidas, hasta alcanzar la madurez (MORA-OSEJO, 1984).

Los bosques naturales relictuales y los páramos andinos son realmente tesoros naturales que todos, de una u otra manera, deberíamos aprender a cuidar. Al menos en algunos de los bosques andinos relictuales, es todavía posible restituir su biodiversidad menguada, mediante la siembra de plantas ornamentales nativas, maderables o productoras de materias primas para la elaboración de artesanías; en lugar de convertirlos en potreros como se ha venido haciendo desde la época de la conquista.

De las aproximadamente 8 millones de hectáreas de bosques andinos y altoandinos que aún persistían al comenzar el siglo XX, en nuestras cordilleras, de acuerdo con los datos consignados en los estudios de DELGADO Y VALLEJO (1977a, 1977b), solamente persisten algo más de cuatro y medio millones de hectáreas, de las cuales 3.779.408 hectáreas se preservan como Parques Nacionales Naturales y solamente 866.942 hectáreas corresponden a los bosques relictuales dispersos por todo el sistema de montañas del país, sometidos a fuertes presiones de devastación, no obstante encontrarse en ellos todavía muchas especies endémicas de plantas fanerógamas, helechos, musgos, hepáticas, líques,

hongos y bacterias, así como de insectos, aves y mamíferos, entre otros grupos de plantas y animales muy valiosos.

En las planicies amazónicas y de manera predominante en las laderas andinas existen áreas ya fuertemente devastadas, desprovistas de su vegetación natural y sometidas al recalentamiento diurno de los suelos y al lavado de los mismos durante las épocas de lluvias. La recuperación de estas áreas con el propósito de intentar detener la erosión de los suelos, regular la escorrentía y al menos moligar las inundaciones que ahora se presentan regularmente, en las dos épocas de lluvia del año, de las tierras bajas, densamente pobladas, constituye un gran desafío que solamente podrá superarse mediante la intensificación de la investigación científica, dirigida a la ampliación de los conocimientos básicos, de donde puedan derivarse procedimientos que posibiliten la recuperación paulatina de la vegetación nativa y la estabilización de los suelos.

De todos modos, habría que empezar por asegurar la conservación de las manchas de vegetación boscosa natural todavía allí supérstitas y desarrollar proyectos dirigidos al aprovechamiento de especies animales nativas que se alimenten de los frutos, hojas, semillas de las plantas silvestres y de las que allí se siembren con el mismo propósito, de tal manera que sea un incentivo para preservarlas.

Complemento indispensable de toda esta estrategia será la implementación de programas de investigación científica dirigidos a ampliar la frontera de los conocimientos sobre el entorno local, nacional y regional. No podemos seguir ignorando las peculiaridades de nuestro medio natural, quizás uno de los más complejos en el contexto planetario y continental. En particular, es urgente profundizar en el conocimiento de la estructura y dinámica de la compleja malla de ecosistemas que nos sirven de sustento. Tales programas deben recibir los recursos financieros y facilidades para el establecimiento de Estaciones Ecológicas, de bosques nativos de experimentación y la conservación de áreas cubiertas de bosques nativos que hagan posible el estudio y sometimiento a prueba de los procedimientos y tecnologías que se deriven de la aplicación de los conocimientos obtenidos a través de la investigación básica.

Los conocimientos que se obtengan, merced a la investigación básica sobre los aspectos ya mencionados y los ya existentes sobre nuestra realidad natural, deben ser ampliamente difundidos por todos los medios a nuestro alcance e incorporados a los contenidos de la docencia a todos los niveles del sistema educativo. Esos mismos conocimientos de la naturaleza que nos sustenta, tendrán que servir de base a las acciones que impliquen el ordenamiento de nuestros ecosistemas como condición indispensable para el desarrollo sostenible.

Sería así mismo recomendable que los países del área dentro del marco de tratados vigentes, como el de Cooperación Amazónica (TCA), entre otros, establezcan un "Sistema de Ciencia y Tecnología" para la preservación de la biodiversidad y la implantación de programas de desarrollo sostenible que busquen la complementación de las facilidades institucionales y de los recursos disponibles en cada país. Complemento indispensable será el reforzamiento de la intercomunicación, la creación de bancos de datos, de bancos de genes de especies de plantas y animales, creación y manejo de reservas de la biosfera, bancos de germoplasma microbioal y colecciones de cultivos microbianos medicinales, entre otros.

De todo lo expuesto, se deduce que el modelo de desarrollo sostenible debe ser endógeno y surgir de la consideración de las interrelaciones de los factores socioeconómicos y culturales, de una parte y los factores biológicos y físicos, de otra parte; unos y otros en referencia a nuestros ecosistemas tropicales frágiles y complejos.

## Bibliografía

- Conklin, H.C. 1961. The study of shifting cultivation. *Curr. Anthropol.* 2 (1): 27-61.
- Cortés Lombana, A. 1982. Geografía de los suelos de Colombia. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombiana de Impresos Ltda. Bogotá.
- Darwin, CH. 1859. *The Origin of Species, by means of natural selection or the preservation of favoured races in the struggle for life.* Collier Books. New York, N. Y.
- Delgado, A. & D. Vallejo. 1977a. El Potencial forestal de Colombia, CONIF (Corporación Nal. de Investigaciones y Fomento Forestal) Serie Técnica No. 2.
- Delgado, A. & D. Vallejo. 1977b. El aprovechamiento Forestal de Colombia, CONIF (Corporación Nal de Investigaciones y Fomento Forestal) Serie Técnica No. 4.

- Erwin, T.L. 1991. The Tropical forest Canopy, the Heart of Biotic Diversity In WILSON, E. O. (Ed). Biodiversity. National Academy Press, Washington, D.C.
- Haffer, J. 1969. Speciation in amazonian forest Birds. Science 165 : 131-137
- Klinge, H. 1973. Struktur und Artenreichtum des zentralamazonischen Regenwaldes. Amazoniana 4 (3): 283-292.
- Klinge, H. & E. J. Fittkau. 1972. Filterfunktionen im Ökosystem des zentralamazonischen Regenwaldes, Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 16: 1330-135.
- Mora-Osejo, L.E. 1984. La situación de los bosques nativos de Colombia y resultados preliminares de experimentos sobre cultivos de plantas autóctonas en el Jardín Botánico "José Celestino Mutis". Rev. Acad. Colomb. Cienc. 15 (59) : 71-100.
- Norgaard, R.B. 1988. The Rise of the Global Exchange Economy and the Loss of Biological Diversity. In: WILSON, E. O. (Ed.). Biodiversity. National Academy Press. Washington, D.C.
- Penck, A. 1924. Das Hauptproblem der physischen Antropogeographie. Sitzungsberichte der Preuss. Ak. d. Wiss., Math. Kl. 24 : 249-257.
- Reichholf, J. H. 1991. Der Tropische Regenwald. Deutscher Taschenbuch Verlag. München.
- Sapper, K. 1939. Die Ernährungswirtschaft der Erde und ihre Zukunftsaussichten für die Menschheit. Stuttgart.
- Sioli, H. 1954. Betrachtungen über den Begriff der "Fruchtbarkeit" eines Gebietes anhand der Verhältnisse in Böden und Gewässern Amazoniens. Forschungen und Fortschritte 28: 65-72.
- Wilson, E. O. 1971. The Insect Societies. Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- Wilson, E. O. 1987. The arboreal ant fauna of Peruvian Amazon Forests: A first assessment. Biotropica 2: 245-251.
- Wilson, E. O. 1988 (Ed.) Biodiversity National Academy Press, Washington, D.C.
- Weischet, W. 1980. Ökologische Benachteiligung der Tropen. B.G. Taubner. Stuttgart, 1980.

## PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA, CON OCASION DE LA VISITA DEL PRESIDENTE DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES DR. ANGEL MARTIN MUNICIO\*

Permítaseme, ante todo, en nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, presentar en esta ocasión solemne, en presencia de representantes del Gobierno Nacional, del Señor Embajador de España en Colombia y de tan destacados miembros de la Comunidad Científica Colombiana, un cordial saludo de bienvenida al ilustre presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, Vice Director de la Real Academia Española de la Lengua, Exmo. Sr. Don ANGEL MARTIN MUNICIO; Dr. en Ciencias Químicas y Farmacia, Catedrático de Química Fisiológica, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, y uno de los más distinguidos científicos y humanistas de España.

Asímismo, como es de grato para mí, Exmo. Sr. Don Angel Martín Municio en este acto solemne que celebran conjuntamente las Academias de Ciencias y de Medicina de Colombia, comunicarle que, en atención a sus altos méritos científicos y académicos y en reconocimiento a la meritoria labor cumplida por usted como creador y promotor de Programas de investigación científica en el ámbito hispanoamericano, dirigidos al enriquecimiento de nuestro patrimonio cultural común, entre otras muchas razones meritorias, la Academia Colombiana de Ciencias, ha tenido a bien designarlo Miembro Honorario de la Corporación.

Son muchos los vínculos que unen a nuestras dos instituciones, pero en particular, quisiera relieves aquel que toca directamente con el restablecimiento de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en la ya lejana década de los años 30, cuando Don José Joaquín Casas, Ministro Plenipotenciario de Colombia ante el Gobierno de España, obtuvo el reconocimiento de nuestra Academia como correspondiente de la Institución Española y más tarde la aprobación de sus Estatutos y Reglamento Interno; antecedentes que hubieron luego de servir de argumento para recabar del Gobierno Colombiano de entonces, la apropiación de los recursos para la puesta en marcha de la nueva Institución.

Con el restablecimiento de la Academia Colombiana de Ciencias, el Gobierno Nacional de la época, daba un paso más en la reali-

zación de las políticas encaminadas a impulsar otra vez las Ciencias en nuestro medio, tras las vicisitudes que hubo que atravesar a todo lo largo del siglo XIX y las primeras décadas de este siglo.

Coincidió el renacer de la Ciencia en nuestro medio con la celebración del bicentenario del natalicio de Don José Celestino Mutis. Se trataba precisamente de crear y fortalecer, por parte del Estado colombiano, con todos los medios a su alcance, instituciones que tuvieran que ver directamente con la promoción o desarrollo de la Ciencia de una parte, o de aquellas dedicadas a su enseñanza. Entre las primeras, se vió la necesidad de crear la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, cuyos objetivos habrían de inspirarse en el legado de Mutis y su Expedición Botánica al Nuevo Reino de Granada.

La Academia Colombiana de Ciencias, guarda cuidadosamente en sus memorias estos antecedentes que legitiman sus orígenes y remontan su tradición a la época misma en que en nuestro suelo, surgió a la vida cultural, la Ciencia, cuya trascendencia y relevancia para el porvenir de la nación toda, no dejaba de reconocer Mutis desde sus cátedras en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.

Pienso que desde esa perspectiva el acto que hoy nos congrega adquiere singular trascendencia en cuanto que nos da la oportunidad de rememorar momentos cruciales de nuestra trayectoria, fortalece nuestra voluntad de acercamiento con las naciones hermanas, bajo el propósito de enriquecer nuestro patrimonio cultural y comprometernos hacia el futuro, en la realización de empresas científicas comunes que no solamente conduzcan a la consolidación de nuestras Instituciones, de suyo unidas por nexos estrechos y fecundos, sino para el avance decidido de la Ciencia, en nuestro medio.

No es mi propósito redundar en argumentaciones que muestren la validez de estos cometidos y su urgencia de llevarlos a la práctica cada vez con mayor decisión y fortaleza.

Sin embargo, permítanme solamente agregar que para la Academia Colombiana de Ciencias, será más fácil cumplir con los propósitos mencionados, trabajando de consumo, con su Institución Matriz, como con toda justicia solían denominarla nuestros fundadores, a la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España; con mayor razón ahora cuando suscribiremos el Convenio de Cooperación, con ocasión de la visita a Colombia de su ilustre Presidente.

\* Sesión Solemne conjunta de las Academias Colombianas de Ciencias y de Medicina. Santafé de Bogotá, diciembre de 1994.



Doctores Angel Martín Municio y Luis Eduardo Mora-Osejo, presidentes de la Academia Española y Colombiana durante la sesión del 7 de diciembre de 1994.



Doctores Rodolfo Llinás Riascos, Belisario Betancur y Luis Eduardo Mora-Osejo, durante la sesión solemne realizada el 2 de mayo de 1995.

## DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA EN LA FIRMA DEL ACTA DE CONSTITUCION DE LA ASOCIACION COLOMBIANA DE FACULTADES DE CIENCIAS. SANTAFE DE BOGOTA, 24 DE ABRIL DE 1995.

En nombre de la ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS, EXACTAS, FISICAS Y NATURALES, deseo presentar un cordial saludo de bienvenida a todos los presentes y manifestarles que la Academia celebra con gran complacencia la culminación de los esfuerzos encaminados a la creación de la ASOCIACION COLOMBIANA DE FACULTADES DE CIENCIAS, tras largos años de empeños de sus fundadores; a quienes la Academia Colombiana de Ciencias desea asimismo congratular por la culminación de esta primera etapa, que constituye un paso más hacia adelante en el proceso histórico de crear espacios institucionales estables y fecundos para promover el desarrollo de las Ciencias Fundamentales, en Colombia.

Porque si bien es cierto que se han logrado avances notables en el desarrollo de las Ciencias Básicas en nuestro país, particularmente en la segunda mitad de este siglo, es todavía largo y sobre todo árduo el camino que aún resta por correr.

Pienso que quizás, se debería comenzar por hacer comprender a los diferentes sectores de la Sociedad Colombiana, de que manera la Ciencia, como la expresión más representativa de la racionalidad, es también el instrumento más eficaz que dispone el hombre para lograr el conocimiento objetivo de la realidad. Asimismo, la sociedad debería comprender por qué el científico sabe que sus ideas pueden ser efímeras pero que forman parte de una construcción que tiene sentido y lo acerca a verdades cada vez más profundas, algunas de las cuales pueden tener importancia práctica, mientras otras no; como, con toda razón, lo afirma el científico argentino Luis Marone, en artículo reciente.

Evidentemente, a diferencia de la Tecnología, los resultados del trabajo científico teórico o básico no tienen necesariamente aplicación práctica inmediata y, en tal medida, tampoco pueden utilizarse en la solución de problemas urgentes de la sociedad, como erróneamente suele exigirse a los investigadores de este campo.

Quizás sea esta limitación intrínseca la razón por la cual la Ciencia fundamental o básica no ha recibido el reconocimiento que merece de nuestra sociedad. Tampoco suelen apreciarse los logros que alcanzan los investigadores de las Ciencias fundamentales en desarrollo de sus proyectos, muchas veces a costa de grandes esfuerzos y sacrificios.

Deslumbradas las sociedades de los países latinoamericanos por los avances espectaculares de la Tecnología en los países industrializados y por su papel cada vez más crucial en el crecimiento económico de las sociedades de esos países y de los que tratan de imitar su modelo de desarrollo, ignoran a la Ciencia fundamental y hasta llegan a confundirla con la Tecnología.

Considero que todo cuanto hagamos de consumo las Instituciones y organismos de nuestro país encargados de promover la Ciencia para superar esta situación, no sólo traerá beneficios efectivos al desarrollo de la Ciencia misma, sino al de la propia Tecnología y por consiguiente, a toda la sociedad. Porque aunque parezca paradójico cuando no contradictorio, la actividad que resulta más perjudicada, sobre todo en los países en desarrollo, con el abandono o descuido de la Ciencia básica, es la creación tecnológica que necesariamente tiene que partir de la aplicación y manejo de conocimientos científicos sólidos.

Nunca deberíamos olvidar que las Ciencias básicas o fundamentales son la mejor herramienta para conocer la realidad objetiva de nuestro entorno natural. Ya por esta sola razón, las investigaciones científicas dirigidas a este gran objetivo, deberían merecer el más amplio apoyo del Estado y reconocimiento de la sociedad en cuanto son sus resultados los que nos permitirán captar cuáles son las condiciones especiales del medio físico, biótico y cultural en el que nos encontramos inmersos. Los mismos conocimientos que habrán de servirnos para la elaboración de marcos teóricos de referencia y la crea-

ción de modelos de desarrollo endógeno, en cuanto partan de los conocimientos objetivos de las condiciones de nuestro medio, de sus recursos y de sus ventajas comparativas, y que acompañados del esfuerzo perseverante, nos permitirán, con el correr del tiempo, alcanzar la tan deseada y necesaria condición de la competitividad; de otra manera francamente inalcanzable.

Desde luego, como tantas veces se ha dicho, para ello es también indispensable introducir cambios cualitativos profundos en nuestro sistema educativo, en todos sus niveles. Pienso que quizás el primer aporte que la Asociación Colombiana de Facultades de Ciencias pudiera hacer en tal sentido, sea el de promover la incorporación a los contenidos de los programas de los niveles básicos del sistema educativo los conocimientos que sobre las particularidades de nuestro entorno natural se han consolidado en los últimos decenios, como resultado del trabajo de los investigadores de las Ciencias Básicas. Pero, además, será necesario lograr que los jóvenes Colombianos, ojalá lo más pronto posible, conozcan el proceso de creación de nuevos conocimientos, la naturaleza de la controversia científica y sobre todo aprendan a ejercitar su propia capacidad creadora.

En lo que respecta a la formación de nuevas promociones de científicos en el nivel superior, valiéndome de vuestra benevolencia, quisiera aprovechar esta oportunidad, para expresar que considero de la más alta prioridad que en nuestras Facultades de Ciencias se logre poner en práctica, el llamado "PRINCIPIO DE LA COMPLEMENTARIDAD DE LA INVESTIGACION Y DE LA DOCENCIA". Como es bien sabido, de acuerdo con este principio pedagógico, estas actividades deberían ser complementarias y no opuestas, como de hecho lo son en la práctica, cuando la docencia se reduce a la simple transmisión de información, sin ninguna conexión con el trabajo científico-creativo del profesor, y cuando el aprendizaje del estudiante no alcanza la comprensión clara de los conceptos básicos y se torna memorístico-repetitivo en cuanto son pocas las oportunidades de desplegar su iniciativa y participar en actividades creativas. La puesta en práctica de este principio, necesariamente, tiene que apoyarse en la introducción de transformaciones profundas en la estructura de nuestras Universidades y, en particular, de nuestras Facultades de Ciencias; tales que permitan a los profesores y estudiantes el despliegue de sus iniciativas y capacidades, sin que tengan que sujetarse a estructuras rígidas que concedan mayor importancia a los formalismos que a la superación intelectual y científica de profesores y estudiantes.

Por otra parte, la aplicación de este principio implicaría que cada Facultad de Ciencias por cada campo o disciplina científica especializada que decida desarrollar, tenga al frente del mismo, un Profesor Titular, quien accedería a esta categoría en razón de sus merecimientos científicos, académicos y humanos. Cada Profesor Titular, designado de esta manera, tendría la delicada responsabilidad de dirigir el desarrollo de un campo específico del conocimiento en su Universidad, tanto en lo que concierne a los nuevos aportes al conocimiento, como a la enseñanza y formación de nuevas promociones de científicos, en su propia disciplina. Pero, por otra parte, para que esto sea realidad y no simples buenas intenciones, la Universidad tendrá que rodear a cada Profesor Titular de los recursos humanos, materiales y financieros que semejante responsabilidad implica, sin perjuicio de que eventualmente pueda recibir otros aportes de entidades estatales o privadas promotoras de la investigación científica. De esta manera, surgirían las "Unidades Académicas Operativas" ó, para rescatar un término de antigua tradición universitaria, las "Cátedras", cuyo conjunto conformarían los Institutos y Departamentos y desde luego, constituirían las unidades académicas operativas de la Facultad y, en tal medida, remplazarían a los pénsumes o planes de estudio rígidos en su función de marcos de referencia o ejes centrales de la estructura y funcionamiento de la Facultad.

## DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES EN LA POSESION DEL DOCTOR RODOLFO LLINAS RIASCOS COMO MIEMBRO HONORARIO DE LA ACADEMIA, MAYO 2 DE 1995

Con honda complacencia la ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES, recibe hoy en su seno, en calidad de Miembro Honorario, al Profesor Dr. RODOLFO LLINAS RIASCOS, en reconocimiento a sus eximias calidades científicas, académicas y humanas; calidades que lo han llevado a ocupar las posiciones de la más alta responsabilidad académica y científica en prestigiosas Universidades de Norteamérica. Ahora mismo se desempeña como Profesor y Director del Departamento de Fisiología y Biofísica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Nueva York. Ha sido conferencista y catedrático invitado de numerosas Universidades y Organizaciones Científicas de América y de Europa, como El Colegio de Francia, el Instituto Politécnico Nacional de México, el Instituto Karolinska de Estocolmo, el King's College de Londres, entre otras muchas.

En 1985, la Facultad de Medicina de la Universidad de Salamanca, le confirió el título de DOCTOR HONORIS CAUSA y la UNESCO, un año más tarde, la Medalla ALBERT EINSTEIN. En el año de 1992, le fué concedido el Premio PRINCIPE DE ASTURIAS, por la Fundación del mismo nombre, en el campo de las Ciencias médicas. En ese mismo año, recibió también importantes distinciones colombianas.

Es Miembro Consultor y asesor de numerosos Comités nacionales de Neurociencias, forma parte de los comités editoriales de prestigiosas publicaciones científicas y ha sido autor, editor o coautor de obras científicas de gran actualidad y de más de 200 artículos científicos en esta misma disciplina.

Sus aportes al avance de la Neurociencia lo han hecho acreedor a numerosas distinciones y sobre todo al amplio reconocimiento de la Comunidad científica Mundial.

Entre sus contribuciones científicas, los especialistas en la materia, coinciden en señalar y destacar como sobresalientes entre otras, sus aportes al conocimiento de la conductancia iónica de las neuronas centrales; su descubrimiento según el cual la estimulación cerebelar reduce la excitabilidad motoneuronal; no por acción inhibitoria directa, sino por la supresión del flujo excitatorio básico; el mismo mecanismo que algunos años después, pudo reconocerse como el que utiliza el cerebelo para controlar blancos distantes.

Sus trabajos de electrofisiología de la corteza cerebelar produjeron la primera descripción electrofisiológica de la organización sináptica completa de cualquier región del sistema nervioso de los vertebrados. Estos resultados le permitieron luego diferenciar e interrelacionar la electrofisiología del cerebelo según líneas evolutivas y ontogenéticas y desarrollar el concepto del "circuito celular básico" que habría luego de utilizar como diseño experimental prototípico para sus trabajos posteriores sobre el funcionamiento del cerebelo, a todo lo largo de la escala evolutiva de los vertebrados, desde los anfibios hasta los primates.

El Profesor Rodolfo Llinás, fue el primero en demostrar mediante evidencias directas la penetración intracelular del calcio durante la trasmisión sináptica.

Estos descubrimientos han sido luego complementados mediante la elaboración de modelos matemáticos sobre la cinética de la corriente del calcio, entre otros. Tales modelos han llevado a una mejor comprensión del funcionamiento del cerebelo y de sus interrelaciones con el sistema nervioso central de los vertebrados.

Los aspectos teóricos de la Neurociencia han merecido su especial interés. Conjuntamente, con otros investigadores, desarrolló una teoría general sobre el funcionamiento del cerebro que parte del análisis de las transformaciones entre retículos sensoriales y motores, valiéndose de herramientas matemáticas avanzadas, como el análisis matricial y tensorial.

En síntesis, sus aportes dirigidos a lograr la comprensión del funcionamiento del cerebelo y del sistema central de los vertebrados, constituyen, un ejemplo excepcional de los resultados que alcanza el científico que trabaja impulsado por la curiosidad persistente de conocer y comprender los fenómenos de la realidad y que, poco a poco, en la medida que confirma sus enfoques e hipótesis de trabajo, realiza descubrimientos y hace aportes al conocimiento en el área de su especialidad. En general, es de esta manera, como el científico construye un cuerpo conceptual, que contiene verdades objetivas, cada vez más profundas, más nunca absolutas; en cuanto están permanentemente sometidas al análisis crítico por la comunidad científica mundial del respectivo campo.

De allí que la Ciencia pura sea la expresión más representativa de la racionalidad y como tal, el instrumento más eficaz que dispone el hombre para comprender la realidad y sus fenómenos particulares. Entregarse a ella sin reservas, como usted lo ha hecho, Profesor Llinás, significa convertir la vida en un apostolado.

En nuestra patria, por razones que no es del caso detenerse a examinar, no ha sido tarea fácil consolidar espacios estables para el desarrollo de la Ciencia pura. Aunque no podemos desconocer que en los últimos años han surgido signos favorables, que permiten esperar que esta situación pueda superarse pronto. Sus aportes en tal sentido y en pro del mejoramiento de nuestro sistema educativo y del avance de la Neurociencia en nuestro medio, han tenido la más amplia resonancia y han merecido el justo reconocimiento de entidades oficiales y privadas.

Señor Profesor Rodolfo Llinás: Bienvenido a la Academia Colombiana de Ciencias, la Corporación lo recibe con la más honda complacencia en calidad de Miembro Honorario, en atención a sus eximios atributos académicos y a sus sobresalientes contribuciones a la Ciencia.

## PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA, CON OCASION DE CONMEMORARSE UN NUEVO ANIVERSARIO DE LA CORPORACION, EN LA SESION SOLEMNE CELEBRADA EL 24 DE AGOSTO DE 1995

En nombre de la ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES, permítanme presentar un saludo de bienvenida a todos quienes han tenido a bien acompañarnos en la celebración de un nuevo aniversario en la ya larga vida de nuestra Entidad.

Por fortuna, durante el año que hoy culmina, muchos son los logros obtenidos tras las grandes metas que nos hemos fijado para el corto y largo plazo.

Aprovechando de nuestra benevolencia quisiera referirme, así sea de manera sucinta a algunos de tales logros.

Tras la meta de proyectar nuestra Entidad a las comunidades científicas Nacional e Internacional, la Academia ha continuado pres-

tando colaboración eficaz a COLCIENCIAS en la operación de la RED CALDAS, establecida para la integración nodal de los científicos colombianos en el exterior y promover su contribución al desarrollo científico del país. Por otra parte y, tras la misma meta, la Academia se afilió y comenzó a participar activamente en los programas internacionales de investigación científica, COBIOTECH y COSTED - IBN del Consejo Internacional de las Uniones Científicas, dirigidos a fortalecer los estudios biotecnológicos y a incrementar la investigación científica y tecnológica en los países en desarrollo, respectivamente. En el plano nacional, para reconocer los méritos de quienes han consagrado su vida a la Ciencia, por una parte, y estimular el trabajo de jóvenes científicos, de otra parte, la Academia volvió a abrir en Concurso, previo a la adjudicación de los premios respectivos.

En lo que concierne a la meta de intensificar la difusión de las contribuciones científicas de sus Miembros, y, en general, de los investigadores colombianos, se fortaleció el programa de publicaciones, ya se trate de la revista de la Academia próxima a cumplir 60 años de in-interrumpida existencia o de las "colecciones de libros", distinguidas con los nombres de beneméritos Miembros Fundadores de la Institución, cuya publicación se iniciara en el año de 1987.

Por otra parte, se han dado pasos decisivos tras la meta de poner al servicio de los investigadores la Biblioteca LUIS LOPEZ DE MESA de la Academia, mediante intensificación de la catalogación de sus colecciones de libros y revistas. Además se crearon las facilidades y se adquirieron los equipos que permitirán la inserción de la Biblioteca de la Academia en las redes nacionales e internacionales de información bibliográfica.

En cuanto a los esfuerzos realizados por la Academia, en este año, tras la meta de mejorar la calidad de la enseñanza de las Ciencias en nuestro país, cabe destacar, la publicación de textos didácticos en el campo de la física, la consolidación del GRUPO DE CIENCIA TEORICA, conformado en su mayoría por investigadores jóvenes y el concurso prestado por la Academia para la realización de seminarios, congresos y simposios, por parte de la Universidad de los Andes y de la Universidad Nacional de Colombia. Además, a través del trabajo de las comisiones de Educación y Educación Ambiental, la Academia ha dado respuesta a las consultas formuladas por el ministerio de Educación Nacional.

En el campo de Fomento a la Investigación Científica la Academia ha promovido la Cooperación interinstitucional para la creación e implementación de programas de cobertura nacional. En este año se preparó el volumen que reúne las Memorias del seminario-Taller sobre ALTA MONTAÑA COLOMBIANA, de donde surgieron los lineamientos para la organización y puesta en marcha del INSTITUTO INTERINSTITUCIONAL DE ALTA MONTAÑA COLOMBIANA, bajo la coordinación de la Academia.

En lo que concierne a otros programas dirigidos al fortalecimiento interno de la Academia, cabe destacar la intensificación de los esfuerzos iniciados desde hace varios años, para lograr la

meta de dotar a la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de una sede alterna que provea de espacios suficientes a los grupos de trabajo y sirva de sede a los programas de investigación, propios de la Academia, como el de INVENTARIO DE GASES DE INVERNADERO que adelantó la institución a título de contribución al estudio de los problemas ambientales del país y que pudo ponerse recientemente en marcha, merced a la ayuda económica de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).

Finalmente, quisiera mencionar los esfuerzos realizados en pro del mejoramiento de la gestión administrativa tendiente a optimizar su eficiencia y facilitar por ende la gestión académica. Todos estos logros se han alcanzado gracias a la colaboración generosa y decidida de los miembros que integran la junta Directiva, del Secretario Ejecutivo de la Entidad, de las comisiones Académicas, de los Miembros de Número y correspondientes a quienes se ha solicitado su concurso, y del personal administrativo que presta sus servicios a la entidad. A todos ellos, en nombre de la Academia, deseo presentar los debidos reconocimientos.

De modo alguno podría dejar de mencionar y destacar la efectiva ayuda prestada a las Academias y Sociedades, entre ellas a nuestra Academia, por el Colegio Máximo de las Academias Nacionales de Colombia y por el Patronato colombiano de Artes y Ciencias; de modo particular, a través de las gestiones adelantadas conjuntamente ante los Ministerios de Hacienda y de Educación y ante el Congreso de la República, para la consolidación de los recursos económicos de las Academias y Sociedades Nacionales que conforman el Colegio máximo.

Señores Académicos, Señoras, Señores, me he permitido destacar de manera sucinta las grandes metas que la Academia se ha propuesto alcanzar y los logros obtenidos a lo largo del año que hoy termina, para subrayar todo cuanto ha sido posible alcanzar en este año, trabajando de consumo. Permítanme invitarlos cordialmente a que apoyados en la confianza que inspiran los logros obtenidos, redoblemos esfuerzos tras la gran meta de consolidar nuestra entidad como Institución por excelencia, promotora de la Ciencia en nuestro medio.

## INFORME DE SECRETARIA 1993 - 1994

### Sesiones

#### Junta Directiva

La Junta Directiva sesionó en 11 oportunidades los primeros miércoles de cada mes, además se realizaron 5 sesiones de carácter extraordinario.

#### Sesiones Ordinarias de la Academia:

En las 10 reuniones ordinarias, entre septiembre de 1993 y julio de 1994, que se celebraron los terceros miércoles de cada mes, se dictaron las siguientes conferencias:

- Septiembre 15, "Vectores de Oncocercosis. Complejos de Especies", por Doña Paulina Muñoz Vila.
- Octubre 20, "Coca y Cultura", por Don Santiago Díaz Piedrahita.
- Noviembre 17, "Conferencia sobre la Ciénaga Grande de Santa Marta", por Don Hernando Sánchez director de CORPAMAG.
- Febrero 23, "La Tribu Senecioneae (Asteraceae) en Colombia", por Don Santiago Díaz Piedrahita.
- Marzo 16, "Regulación de la Transpiración de las Plantas de los Páramos y el Bosque Alto Andino por factores endógenos y ambientales", por Don Luis Eduardo Mora.
- Abril 20, "Sobre la Conjetura de Borevich - Shafarevich" por Don Víctor Albis.
- Mayo 18, "Transformación de Plantas en la Agricultura Moderna", por Doña Margarita Perea.

Junio 15, "Aspectos Atmosféricos relacionados con la Erupción del Volcán del Ruiz", por Don Jesús Eslava Ramírez.

En la reunión del 27 de julio se eligió la Junta Directiva para el período 1994-1996.

### Sesiones especiales:

La Academia promovió a tres de sus miembros correspondientes a la categoría de numerarios.

Don Eduardo Posada Flórez se posesionó el 27 de octubre de 1993 con la conferencia "Estado Actual y Perspectivas de la Superconductividad de Alta Temperatura Crítica, Doña Alicia Dussán de Reichel se posesionó el 23 de marzo de 1994 con su conferencia "Museos de Historia Natural y Antropológicos" y Doña Paulina Muñoz de Hoyos se posesionará en la sesión del 23 de noviembre de 1994.

Se posesionaron como Académicos Correspondientes:

El 8 de septiembre de 1993, don Carlos Corredor Pereira, quien expuso la conferencia "Glicólisis y Utilización de Oxígeno en Tumores Humanos"

El 22 de septiembre de 1993, don José María Rincón Martínez, con su conferencia "Modelo Macromolecular para Carbonos de Diferente Rango".

El 23 de febrero de 1994, don Santiago Gaviria Melo, quien dictó la conferencia "Los Cópodos (Arthropoda, Crustacea) de las aguas continentales de Colombia".

El 24 de noviembre, don Eduardo Lleras Pérez, quien presentó su trabajo "Diversidad Biológica en la Amazonia".

El 27 de abril, don Guillermo Páramo Rocha, quien disertó sobre "Mito y Consistencia Lógica".

El 22 de junio de 1994 don Xavier Caicedo Ferrer, quien expuso el tema "Lógica de los Haces de Estructuras".

### Fallecimientos

En este año fallecieron los Académicos de Número Don Daniel Mesa Bernal quien ocupó la silla número 7, Don Alvaro Fernández Pérez quien ocupó la silla número 21, Don José Igna-

cio Ruiz quien ocupó la silla número 35 y el académico Honorario Don Gerardo Raichel Dolmatoff, quien como miembro de número ocupó la silla No. 15.

## Premios

Todos los años la Academia en Sesión Especial venía otorgando los siguientes premios:

"Premio a la Obra de un Científico"

Premio Academia "Colombiana de Ciencias para un trabajo científico",

"Premio Academia Colombiana de Ciencias - Academia de Ciencias del Tercer Mundo para motivar a jóvenes investigadores"

Como en el año de 1993, no hubo presupuesto, no se hizo entrega de estos premios. En 1994 la Academia decidió reunir en uno solo los dos primeros premios que venía otorgando y en este momento se está definiendo su reglamentación. Se ha propuesto que se otorgue un premio como reconocimiento a científicos que hayan hecho una labor muy importante y significativa en su campo y hayan consolidado una línea de investigación con un mínimo de 5 años continuos de esfuerzo en la misma área.

## Actividades de grupos

El grupo de "Ciencia Teórica" ha mantenido una actividad permanente celebrando reuniones los terceros jueves de cada mes en las cuales se discute intensamente el tema de la conferencia dictada por uno de los miembros del grupo. El señor Presidente designó como representante de la Academia ante el Grupo de Ciencia Teórica a Don José Luis Villaveces.

El grupo de "Historia de las Ciencias" se reunió en dos oportunidades a escuchar y discutir las conferencias dictadas por uno de los miembros del grupo.

La participación en estos grupos está abierta a científicos jóvenes no miembros de la Academia.

## Biblioteca "Luis López de Mesa"

Se mantuvo el funcionamiento, el canje y la catalogación del material de la "Biblioteca Luis López de Mesa", continúa como Centro Regional de Información para el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP).

En el nuevo computador adquirido por la Academia se montó la última versión del programa MICROISIS que será utilizado en la sistematización de la Biblioteca.

## Actividades Interinstitucionales

Las Academias que constituyen el Colegio Máximo se han venido reuniendo una vez al mes en cada una de las sedes de las distintas Academias. La reunión correspondiente a la Academia de Ciencias se celebró el 8 de junio/94. En estas reuniones se informa acerca de la historia y actividades que desarrolla la Academia anfitriona y se discuten temas de interés común. Durante esta legislatura se espera poder tramitar una ley que permita al Gobierno contratar con el Colegio Máximo los dineros necesarios para el funcionamiento e inversión anuales de cada una de las Academias.

El Comité Ad-Hoc de Cambio Climático constituido por 30 diferentes instituciones, entre las cuales se cuenta la Academia se ha reunido en 6 oportunidades en la sede de la academia. Este Comité se convertirá en Asesor del Ministerio del Medio Ambiente para cuestiones científicas, técnicas y políticas relacionadas con el tema del Cambio Climático.

El 28 de enero de 1994, se reunió el Comité Nacional del Programa Geosfera-Biosfera. Su coordinador, Don José A. Lozano, presentó un informe sobre actividades desarrolladas, relaciones con otros comités (especialmente el Instituto Interamericano para Estudios de Cambio Global), programas y perspectivas futuras.

Con financiación parcial de la Academia se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Dn. Luis Eduardo Mora fue invitado, en calidad de Presidente de la Academia, a participar en la vigésima cuarta Asamblea General de ICSU, en la Trigésima Primera reunión del Comité General de ICSU, y en la reunión de Academias Latinoamericanas. Estas reuniones tuvieron lugar en Santiago de Chile, entre el 1 y el 11 de octubre.

La Academia realizó, en coordinación con el Himat, el "Seminario Taller Alta Montaña Colombiana en el Marco del Cambio Global" celebrado del 13 al 15 de octubre de 1993. Se está trabajando en la preparación de la publicación de las Memorias. Un grupo en el que participa un profesor de la Univ. Nacional, el HIMAT y la Academia está estudiando la posibilidad de la creación de una Corporación para Estudios de Alta Montaña Colombiana.

La Academia Colombiana de Ciencias participó en la "Conference of the World's Scientific Academies on Population Growth, in New Delhi. Asistió, como representante del Sr. Presidente de la Academia Don José A. Lozano. Esta Asamblea Mundial de Academias de Ciencias se realizó entre el 22 y 27 de octubre de 1993 como una de las reuniones preparatorias de la Conferencia Internacional de las Naciones Unidas sobre Población y Desarrollo que tendrá lugar en la ciudad del Cairo en el mes de septiembre de este año.

Don Gerardo Reichel Dolmatoff asistió a la 6th. General Meeting, Third World Academy of Sciences y la celebración del 10 aniversario de dicha corporación, que se celebró, entre el 31 de octubre al 4 de noviembre/93, en Trieste.

Don Humberto Rodríguez asistió a la reunión del Comité de Implementación del Instituto Interamericano para Estudios del Cambio Global, entre el 1 y el 4 de febrero/94, en Washington - Estados Unidos.

El Académico Don José A. Lozano asistió al Taller de Trabajo sobre Interacciones Océano/Tierra/Atmósfera en la América Intertropical, invitado por el IAI, en la ciudad de Panamá entre el 7 y 10 de febrero/94.

Doña Paulina Muñoz viajó a la ciudad de Cali del 9 al 11 de febrero, para desarrollar actividades tendientes al establecimiento de la Red Nacional de Estudios de Simúlidos.

Los días 3 y 4 de marzo/94 se celebró el Primer Seminario Nacional sobre Cambio Climático organizado por el comité Ad-Hoc de Cambio Climático, en el cual la Academia ha tenido una actividad protagónica. En este seminario se contó con la participación de expositores académicos y cinco conferencistas extranjeros.

Don José A. Lozano fue invitado a participar en el 4th Meeting of National IGBP Committees que se llevó a cabo en Bonn Alemania entre el 13 y 19 de marzo de 1994.

Don Tomas Shuk presentó el trabajo "Applications of the Natural Slope Methodology (NSM) for the Planning, Exploration and Design of Underground Works" en el Cuarto Congreso Sudamericano de Mecánica de Rocas que se celebró en Santiago de Chile del 10 al 14 de mayo/94.

La Academia inscribió a tres académicos al VI Congreso Colombiano de Ecología y Primer Simposio Colombiano de Ictiología que se realizó en Melgar entre el 16 y 20 de mayo de 1994.

Doña Alicia Dussán de Reichel fue invitada al Congreso sobre "Antropología de las Fronteras" que se realizó en Cáceres Olivenza entre el 13 y 19 de junio de 1994.

Doña Margarita Perea asistió al VIII Congreso Internacional de Cultivo de Tejidos Vegetales (junio 12-17/94) y VI Congreso Internacional de Biología Molecular de Plantas (junio 19-24) que se realizaron en Florencia Italia y Amsterdam- Holanda, respectivamente. Don Santiago Díaz viajó a Washington para trabajar en el United States National Herbarium de la Smithsonian Institution con el Dr. José Cuatrecasas en el mes de julio de 1994.

Doña Inés Bernal participó en la organización del curso "Análisis químico aplicado a materiales cerámicos, vidrios y minerales", con el Consejo Superior de Investigaciones de España.

Entre el 27 y 29 de julio de 1994 se realizó el Primer Simposio Mundial de la Red Colombiana de Investigadores en el Exterior - Red Caldas, que se financió parcialmente con dineros del Convenio Colciencias -Academia de Ciencias, la Academia está colaborando activamente en la parte administrativa de este Simposio. El señor Presidente intervino en la Sesión inaugural.

Don Augusto Rivera asistió al XXI Congreso Latinoamericano de Química que se realizó en Panamá entre el 31 de julio y el 5 de agosto del 1994. en el cual presentó su trabajo "Reacciones de Animales Macroscópicos frente a Nucleófilos".

## Relaciones Internacionales

La Academia Colombiana de Ciencias es uno de los miembros nacionales del International Council of Scientific Unions (ICSU). Don Luis Eduardo Mora, presidente de la Academia, durante la reunión de octubre de 1993 en Santiago de Chile, terminó

su período estatutario como miembro del Comité General, en representación de los miembros nacionales.

En 1993 se constituyó oficialmente la Federación Latinoamericana de Academias de Ciencias (FELAC) a la cual se afilió nuestra corporación en el mes de septiembre.

La Academia continúa afiliada al International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) del cual la Biblioteca Luis López de Mesa es Centro de Información Regional.

Recientemente, en el mes de mayo, la Academia se afilió al "Committee on Science and Technology in Developing Countries - International Biosciences Networks" (COSTED-IBN) y al "Committee for Biotechnology" (COBIOTECH).

La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ha desarrollado un Convenio con Colciencias. Este convenio se estableció para apoyar las actividades de la "Red Caldas de Científicos Colombianos en el Exterior". A través de este Con-

venio, con dineros aportados por Colciencias, se han financiado desde 1991, 56 pasantías, 38 desde septiembre de 1993, (tiquetes y viáticos) principalmente para científicos colombianos residentes en el exterior que han venido a crear contactos con grupos nacionales en diferentes áreas de las ciencias. También se han financiado algunas pasantías de residentes en Colombia que viajan a Institutos en el exterior con propósito similar y se ha dado respaldo económico a actividades desarrolladas por los nodos.

Esta Red fue creada por COLCIENCIAS con miras a fortalecer la comunidad científica colombiana y a lograr la internacionalización de la ciencia y la tecnología en nuestro país estableciendo relaciones efectivas y continuas entre la comunidad científica colombiana y sus pares en el exterior. La Red está organizada a través de NODOS (centros de distribución de información a los usuarios). Actualmente cuenta con más de 1.000 miembros vinculados a 22 nodos en 19 países que estuvieron representados en el Primer Simposio Mundial de la Red Caldas.

## INFORME DE SECRETARIA 1994 - 1995

### Sesiones

#### Junta Directiva

La Junta Directiva sesionó en 12 oportunidades los primeros miércoles de cada mes.

#### Sesiones Ordinarias de la Academia:

En las 9 reuniones ordinarias, entre septiembre de 1994 y julio de 1995, que se celebraron los terceros miércoles de cada mes, se dictaron las siguientes conferencias:

- Septiembre 21, "Los hongos fuente alternativa de vitamina D.", por Don Augusto Rivera.
- Octubre 19, "El ruido de Santafé, marzo 9 de 1687 y sus posibles causas" por Don Armando Espinosa Baquero.
- Noviembre 16, "Enzimas proteolíticas en insectos. Un panorama" por Don Gerardo Pérez.
- Febrero 15, "Ciclos de vida en basidiomicetes", por Don Santiago Díaz Piedrahita.
- Marzo 15, "Las enfermedades genéticas metabólicas, son o no son experimentos de la naturaleza? Su legado a la ciencia y a la medicina", por Don Luis Alejandro Barrera, Director Centro de Investigaciones en Bioquímica. Univ. de los Andes.
- Abril 19, "Anillos Euclídeos", por Don Víctor Albis.
- Mayo 17, "El significado de la palabra EVOLUCION", por Don Tobías Mojica.
- Junio 15, "Influencia de prehinchamiento con solventes en los procesos de conversión del carbón" por Don José María Rincón.
- Julio 19, "Tres botánicos bogotanos del siglo XIX", por Don Santiago Díaz Piedrahita.

#### Sesiones especiales:

La Academia nombró como Miembros Honorarios a dos distinguidos científicos.

En sesión celebrada conjuntamente con la Academia Colombiana de Medicina, se posesionó Don Angel Martín Municio, Presidente de la Real Academia de Ciencias de Madrid, el 7 de diciembre de 1994. En la misma sesión, el Gobierno Nacional, a petición de la Academia, le confirió la Orden Nacional al Mérito en el grado de Comendador.

El 2 de mayo de 1995, en sesión conjunta con la Fundación Santillana, tomo posesión Don Rodolfo Llinás quien disertó sobre "El tiempo como estructura fundamental de la conciencia".

La Academia promovió a dos de sus miembros correspondientes a la categoría de numerarios.

- Doña Paulina Muñoz Vila se posesionó el 23 de noviembre de 1994 con la conferencia "Género *Gigantodox* (Diptera: Simuliidae) en Colombia" y Don Jesús Eslava Ramírez se posesionó el 22 de marzo de 1995 con su conferencia "Régimen de la presión atmosférica en Colombia".

Se posesionaron como Académicos Correspondientes:

El 22 de febrero de 1995, doña Angela Restrepo Moreno, quien dictó la conferencia "Capacidad de adaptación del hongo patógeno para el hombre *Paracoccidioides brasiliensis*".

El 26 de abril de 1995, Don Michel Hermelin, quien expuso su conferencia titulada "Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente".

- En Sesión especial celebrada el 6 de abril se hizo el lanzamiento de los tres últimos libros publicados por la Academia y el descubrimiento del retrato de Don José Jerónimo Triana que fue restaurado por Doña Claudia Sarmiento Ponce de León.

### Fallecimientos

En este año la Academia tuvo que lamentar la pérdida de los Académicos de número Don Alvaro Torres Barreto y Don Sven Zethelius, quienes ocuparon las sillas Nos. 28 y 26 respectivamente.

### Premios

En 1995 la Academia convocó a concurso para los premios:

"Premio a la Obra Integral de un Científico" y "Premio Academia Colombiana de Ciencias - Academia de Ciencias del Tercer Mundo para motivar a jóvenes investigadores" en el área de Química. Estos serán entregados en el mes de noviembre.

### Contratos y Convenios

El 2 de agosto se firmó el contrato de asesoría y servicios por el año de 1994 con el Ministerio de Educación por un total de \$158.700.000. Este fue cancelado en dos contados en los meses de septiembre y noviembre. El contrato correspondiente al año 1995 aún se encuentra en trámite.

La Academia firmó contrato para hacer el "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero", que está siendo financiado por el Gobierno Alemán a través de la GTZ. Este proyecto es coordinado por Don Juan Herkrath. Los trabajos se iniciaron el primero de julio. Se presentarán 3 informes trimestrales y el informe final a los doce meses.

A través de este contrato la Academia adquirió tres nuevos computadores, una mesa digitalizadora, dos impresoras y varios programas.

La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales ha seguido desarrollando las actividades del Convenio con Colciencias. Este convenio se estableció para apoyar las actividades de la "Red Caldas de Científicos Colombianos en el Exterior". Actualmente está en estudio un nuevo contrato por la modalidad de administración de programas.

COLCIENCIAS asignó a la Academia una cuenta en uno de los servidores de su red institucional. Esta cuenta le permite usar el correo electrónico y acceder a todos los servicios disponibles en la Red de Ciencia, Educación y Tecnología de Colombia y su conexión a la Red Internet.

Durante la visita de Don Angel Martín Municio, Presidente de la Real Academia, se firmó el Acuerdo de Cooperación Científica entre las Academias Colombiana y la de Madrid para el intercambio de publicaciones y de científicos.

### Conceptos

Aunque la ley que creó el Ministerio del Medio Ambiente eliminó la obligación del Gobierno de consultar a la Academia



sobre la creación ó modificación de los parques naturales, el Ministerio ha considerado conveniente mantener esta práctica. El Ministerio solicitó y la Comisión de la Academia rindió conceptos sobre delimitación del Parque Nacional Natural Old Providence Mc. Bean Lagoon, delimitación del Parque Nacional Natural Malpelo y redelimitación del Parque nacional Natural Gorgona.

### Grupo de Ciencia Teórica

El Grupo de Ciencia Teórica ha mantenido una actividad permanente celebrando reuniones los terceros jueves de cada mes en las cuales se discute intensamente el tema de la conferencia dictada por uno de los miembros del grupo. Don José Luis Villaveces continúa como representante de la Academia ante el Grupo de Ciencia Teórica y lo coordina el estudiante de posgrado Don Alvaro Cadena.

La participación en este grupo está abierta a científicos no miembros de la Academia y es significativa la asistencia y el aporte de jóvenes interesados en la Ciencia Teórica.

### Biblioteca "Luis López de Mesa"

Se mantuvo el canje de la "Biblioteca Luis López de Mesa", y esta continúa como Centro Regional de Información para el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP).

### Relaciones internacionales

La Academia Colombiana de Ciencias es uno de los miembros nacionales del International Council of Scientific Unions (ICSU) y renovó su afiliación al International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) del cual la Biblioteca Luis López de Mesa es Centro de Información Regional, a la Federación Latinoamericana de Academias de Ciencias (FELAC), al "Committee on Science and Technology in Developing Countries - International Biosciences Networks" (COSTED-IBN), y al "International Scientific Committee for Biotechnology" (COBIOTECH).

### Cofinanciación de actividades y participación en eventos

La Academia cofinanció las siguientes actividades:

"Curso sobre Biodiversidad, Sinecología y Florística de Alta Montaña",

Simposio Latinoamericano de Lógica Matemática.

Simposio Internacional sobre "La Estadística en Agricultura y el Medio Ambiente".

Primer Congreso Nacional de Neurocomputación.

Escuela de Matemáticas.

Proyecto "Desarrollo de nuevas cerámicas con base en Minerales Colombianos".

Curso "Fibras Cerámicas y Materiales Compuestos".

Curso "Materiales Cerámicos Refractarios".

VII Congreso Colombiano de Geología.

IV Encuentro de Campo del Proyecto "Correlación de Eventos Jurásicos en la América del Sur".

La Academia estuvo representada en los siguientes eventos:

Don José A. Lozano asistió al IX Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar que se realizó en Medellín entre el 21 y el 25 de noviembre de 1994 y actuó como coordinador del taller "Participación Colombiana en Proyectos Internacionales sobre Interacciones Océano-Tierra-Atmósfera en la zona Costera".

Doña Margarita Perea asistió al "Advanced course on plant biotechnology" en la Universidad de Delf, Holanda, del 14 al 19 de mayo de 1995.

Don Humberto Rodríguez asistió en calidad de observador a la Primera reunión de las Partes del Instituto Interamericano para Estudios del Cambio Global IAI que tuvo lugar en México en la semana del 12 al 17 de septiembre de 1994.

Don José A. Lozano participó en el LOICZ Open Science Meeting que se realizó en Manila, Filipinas del 24 al 28 de abril /95.

Don Luis Eduardo Mora asistió como conferencista al Primer Congreso Nacional de Biodiversidad que tuvo lugar en la ciudad de Cali.

Don Santiago Díaz viajó a Europa y Estados Unidos con el grupo de Decanos de las Facultades de Ciencias y aprovechó la oportunidad para establecer contactos y ampliar el canje de la Revista de la Academia.

Don Víctor Albis asistió a la reunión del Consejo Directivo de COSTED-IBN que se celebró en México entre el 16 y 18 de agosto.

JOSEA. LOZANO  
Secretario



Stichting voor Latijns-Amerikaans  
Sociaal Onderzoek.  
Fundación de Investigación Social  
Latinoamericana.

Nijmegen, febrero 26 de 1995

Dr. Santiago Díaz Piedrahíta  
Director  
Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Santa Fe de Bogotá

Apreciado Dr. Díaz,

La presente, para agradecerle muy cordialmente el No. 73, Vol. 19, de la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que Vd. tuvo a bien enviarnos recientemente. Asimismo, queremos felicitar a través suyo a la Academia con este esfuerzo, de trascendental importancia dentro del objetivo de avanzar en la sistematización e institucionalización de las ciencias en Colombia.

Como responsables de una fundación dedicada al intercambio científico con América Latina, y más especialmente, como representantes en Holanda de la red científica colombiana, "Red Caldas" (coordinada por Colciencias), conocemos por experiencia directa los aspectos asimétricos de las relaciones científicas internacionales. Por esto, nos llamó la atención notablemente su Nota Editorial acerca del impacto de la Revista. Se refiere Vd. a la valoración de la producción y calidad científicas, y especialmente a los criterios cuantificados en índices de citación y listas estandarizadas.

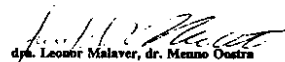
Compartimos su preocupación sobre el uso irreflexivo de esta clase de índices. La "cientometría" es una metodología controvertida, por cuanto deja por fuera criterios de relevancia, etc. Sus premisas, tales como el reconocimiento de la "calidad internacional" de publicaciones (precisamente el punto que Vd. comenta en relación con la Revista), son altamente arbitrarias. Hemos hecho análisis aquí, detectando la unilateralidad en las citaciones, donde autores y publicaciones latinoamericanas son sistemáticamente sub-representadas.

Es una lástima, por esto, que muchos estudios sobre la productividad de la ciencia en América Latina no profundicen en los fundamentos de los criterios de evaluación utilizados. (Por ejemplo, el trabajo de Patricia de Arregui, "Comparative indicators of the results of scientific and technological research in Latin America", Banco Interamericano de Desarrollo, Informe Económico y Social 1988.) Es importante que esto se discuta, como Vds. comienzan a hacerlo, y se valore la contribución científica colombiana por su calidad intrínseca.

Estamos a su disposición para intercambiar sobre estos aspectos, o serie de utilidad en lo que podamos. La información adjunta le detallará nuestros objetivos y filosofía de trabajo.

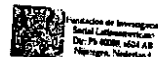
Entretanto, nos place suscribirnos de Vd.

atentamente,

  
Dña. Leonor Malaver, dr. Menno Oostra

LASO  
Postbus 49088  
6504 AB Nijmegen  
Holanda

tel. + 31/80/237093



Fundación de Investigación  
Social Latinoamericana  
De: 75 8028 404 AB  
Nijmegen, Holanda

**REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS  
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES**

**INDICE GENERAL DEL VOLUMEN XIX  
ABRIL DE 1994 - OCTUBRE DE 1995**

Fechas de aparición :      Número 72 (páginas 1 - 230) Abril de 1994  
   Número 73 (páginas 231 - 446) Noviembre de 1994  
   Número 74 (páginas 447- 634) Abril de 1995  
   Número 75 (páginas 635 - 764) Noviembre de 1995

**Sección editorial**

Acerca del "impacto" de esta revista y de las políticas de estímulo a la investigación en Colombia	235
Nota editorial	5
Edición conmemorativa trigésimo aniversario Facultad de Ciencias 1965 - Marzo 26 - 1995	451
Acerca de una política editorial	639

**Vida Académica**

Palabras del Presidente de la Corporación Dr. Luis Eduardo Mora Osejo en la entrega de Premios de la Academia	217
Discurso de respuesta pronunciado por el Dr. Guillermo Restrepo Sierra el 24 de marzo de 1993 en el recinto de la Academia a nombre de los recipiendarios de los Premios correspondientes al año 1992	219
Discurso pronunciado el 30 de abril de 1993 por el Presidente de la Academia en el homenaje que profesores de la Universidad Nacional, ofrecieron a los Académicos Luis Enrique Gaviria Salazar y Eduardo Calderón Gómez	221
Discurso pronunciado el 23 de mayo de 1993 por el Presidente de la Academia durante la inauguración del Seminario Nacional "El quehacer teórico y las perspectivas holista y reduccionista"	222
A propósito del desarrollo, la diversidad de ecosistemas y el papel de la ciencia básica en el diseño de un modelo sostenible para la Amazonia. Palabras pronunciadas por el presidente de la Corporación el 30 de junio de 1993	224
Biodiversidad, tropicalidad y modelo de desarrollo	745
Palabras pronunciadas por el presidente de la Academia, con ocasión de la visita del presidente de la Real Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Dr. Angel Martín Municio	749
Discurso pronunciado por el presidente de la Academia en la firma del acta de constitución de la Asociación Colombiana de Facultades de Ciencias. Santa Fe de Bogotá, 24 de abril de 1995	751
Palabras pronunciadas por el presidente de la Academia, con ocasión de conmemorarse un nuevo aniversario de la corporación, en la sesión solemne celebrada el 24 de agosto de 1995	752
Discurso pronunciado por el presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la posesión del Doctor Rodolfo Llinas Riascos como miembro honorario de la Academia mayo 2 de 1995	752
Informe de Secretaría 1993 - 1994	753
Informe de Secretaría 1994 - 1995	755
Constitución de la Academia	227, 443, 631, 755

**Antropología**

Treponematosi en restos óseos precerámicos de Colombia	237
--	-----

**Astronomía**

Hidrodinámica de estructuras astrofísicas	641
Pertenencia de estrellas en la región del Cúmulo Abierto NGC 6530.	7

**Botánica**

Adición a "Notas a la Flora de Colombia X", una especie olvidada de <i>Clusia</i>	19
Adiciones al género <i>Pentacalia</i> (Asteraceae, Senecioneae) en Colombia	21
Capacidad de adaptación del hongo patógeno <i>Paracoccidioides brasiliensis</i> al organismo humano	673
Datos etnobotánicos adicionales sobre el Cachipay o Pijibay ( <i>Bactris gasipaes</i> ) Kunth. Aracaceae y especies afines en América Intertropical	661
Datos etnobotánicos sobre algunas formas leñosas de la subfamilia Bambusoideae (Poaceae) en la América Intertropical	27
Estudios en Labiatae de Colombia. I Novedades en los géneros <i>Salvia</i> e <i>Hyptis</i>	469
Euglenofitas pigmentadas de la Amazonia Colombiana	651
Familia Phakopsoraceae (Uredinales) I. Géneros anamórficos y teliomórficos	47
Influencia del hábitat en la morfometría y morfología del "mangle salado" <i>Avicennia germinans</i> (L.) L. en el litoral caribe colombiano	481
Key to the species of <i>Clibadium</i> (Compositae, Heliantheae), with notes on synonymy and morphological variation	453
Los géneros <i>Jalcophila</i> y <i>Chevreulia</i> (Asteraceae, Inulae) en Colombia	25
Novedades colombianas en el género <i>Aequatorium</i> Nord. (Asteraceae, Senecioneae)	247
Nuevas especies colombianas de <i>Pentacalia</i> (Asteraceae, Senecioneae)	253
Nuevos registros de Uredinales para la flora colombiana y países adyacentes	463
Ocnáceas de las Sierras de Chiribiquete y de La Macarena (Colombia). Consideraciones taxonómicas	499
Primeros registros de <i>Closterium</i> (Desmidiaceae, Zygothryceae) en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas	259
Una nueva especie de <i>Diplostephium</i> (Compositae, Astereae) de Colombia	243

**Ciencias de la Tierra**

Caracterización general de la zona de surgencia en la Guajira Colombiana	679
Características térmicas de la región del Pacífico Colombiano	81
El Macizo Colombiano, algunas características hidroclimáticas y geomorfológicas	265
Estudio geológico de la Sierra de Chiribiquete y zonas aledañas (Parque Nacional Natural Chiribiquete)	275
Las Ciencias de la Tierra y el medio ambiente en Colombia	695
Modelo de desplazamiento entre la Cordillera Oriental de Colombia y los Andes de Mérida	95
Posición sistemática de un reptil marino con base en los restos fósiles encontrados en capas de cretácico superior en Yaguará (Huila)	63
Registro de las condiciones ambientales de la Laguna Sur (Bahía de Chengue, Caribe Colombiano) entre 1981 - 1984	509
Tecto-orogénesis, disección e inestabilidad de vertientes "en los Andes Colombianos"	527

**Historia de la Ciencia**

Algo más sobre la Cátedra de Matemáticas del Colegio del Rosario	535
Economía extractiva y desarrollo sostenible	299
El Darwinismo en Colombia, Naturaleza y Sociedad en el discurso de la Ciencia	547
El ruido de Santafé, el 9 de marzo de 1687 y sus posibles causas	293
Un naturalista desconocido, el General Joaquín Acosta (1800-1852)	287

**Matemáticas**

Estudio de un modelo matemático para la propagación del SIDA	107
Investigaciones sobre nuevos conectivos intuicionistas	705
Lógica de los haces de estructuras	569
On distributional representations of moment functionals: Sieved Pollaczed polynomial	305
Polinomios ortogonales en la estimación del hidrograma unitario	121
Términos de período corto en el movimiento de un satélite artificial bajo la acción de los armónicos J5 y J 6 del potencial terrestre, integración analítica mediante el uso de la transformación KS	317
Una nota acerca de la diferencia entre los modelos de estados Gaussianos convencional y condicional	117

**Química**

Entre los ultras: macro y micro de la Cosmoquímica a la Biología Atómica	131
Establecimiento de un método para la determinación de la actividad enzimática de L-fenilalanina Amonio Liasa (PAL) en cafeto	137
Estimulación in vitro de linfocitos utilizando dos nuevas lectinas aisladas de <i>Dioclea lehmanni</i> y <i>Erythrina costaricensis</i>	337
Modelo macromolecular para carbonos de diferente rango	343
Química del género <i>Chromolaena</i> (Compositae)	141

**Zoología**

A new species of frog (genus <i>Eleutherodactylus</i> : Leptodactylidae) from a cloud forest in Departamento de Santander, Colombia	205
A new species of high altitud frog (genus <i>Eleutherodactylus</i> : Leptodactylidae) from the Cordillera Oriental of Colombia	195
Aspectos biológicos de las jaibas <i>Callinectes sapidus</i> y <i>C. bocourti</i> de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano (Crustacea: Decapoda: Portunidae)	733
Alteraciones en la fauna de anélidos poliquetos de Araça, São Sebastião (SP-Brasil)	147
Blackfly novelties from the area near the "Paramo de los Valles" in the department of Tolima, Colombia (Diptera: Simuliidae)	587
Cría del caimán del Orinoco ( <i>Crocodylus intermedius</i> ) en la Estación de Biología Tropical "Roberto Franco", Villavicencio, Meta	601
Distribution of Neotropical Simuliidae (Insecta, Diptera) and its areas of endemism	717
Género <i>Gigantodax</i> (Diptera: Simuliidae) en Colombia	607
Herpetofauna de la Cuenca Banao-Higuanojo, Sancti Spiritus, Cuba	353
Los copépodos (Arthropoda, Crustacea) de vida libre de las aguas continentales de Colombia	361
Misceláneas ornitológicas	439
Patrones de crecimiento de las tortugas gigantes ( <i>Geochelone ephippium</i> ) de la Isla de Pinzón, Galápagos	741
Peces serránidos del Parque Gorgona, Pacífico Colombiano (Osteichthyes : Serranidae)	593
Prospección de enemigos naturales de Culicidae (Diptera) de la selva marginal de Punta Lara	209
Scorpion biogeographic patterns as evidence for a Neblina-São Gabriel endemic center in Brazilian Amazonia	181
Scorpions Chelicerata de Colombie. IV. Quatre nouvelles espèces de Buthidae des régions amazonienne, sudpacifique et de la cordillère orientale	387
Simúlidos (Diptera: Simuliidae) de la región de Chisacá, Cundinamarca, Colombia	393
Simuliidae (Diptera) de Colombia, distribución de las especies registradas	413
Tres nuevas especies de <i>Atelopus</i> A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Central de Colombia	165
Tres nuevas especies de <i>Atelopus</i> A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia	153
Two new species of the <i>Eleutherodactylus conspicillatus</i> group (Amphibia: Leptodactylidae) from the Cordillera Oriental of Colombia	187

## INDICE DE AUTORES

Acero, Arturo	593	Galvis Vergara, Germán	299
Aguilera-Quiñonez, Jairo	679	Galvis Vergara, Jaime	275
Almario, M. F.	137	García, Juan José	209
Alvarez-León, Ricardo	509, 679	Gaviria, Santiago	361
Amaral, A. C. Z.	147	Hennen, Joe F.	47
Andrade-Amaya, Carlos A.	679	Hermelin, Michel	695
Ardila, María Cristina	153	Hernández-Camacho, Jorge I.	153, 481
Arregocés, Carmelo	237	Higuera G., Mario Armando	641
Arriagada, Jorge E.	453	Lértora Mendoza, Celina A.	535
Becerra Ardila, Diego	547	Lourenço, Wilson R.	181, 387
Brieva, Eduardo	7	Lugo Rugeles, Luz Myrian	601
Bueno, Marta L.	337, 393	Lynch, John D.	187, 195, 205
Burgos, Javier D.	237	Maciá, Arnaldo	209
Buriticá, Pablo C.	47, 463	Mantilla, Ignacio	107
Caicedo, Xavier	569, 705	Martínez, Katlí	393
Campos, Néstor Hernando	733	Mejía, Antonio	393
Campos, Raúl E.	209	Montes de Gómez, Virginia	137
Charris, Jairo A.	305	Morgado, E. H.	147
Contreras, Mario	337	Muñoz de Hoyos, Paulina	393, 413, 587, 607
Coscarón, Sixto	587, 717	Naranjo-González, Gabriel	481
Coscarón-Arias, Cecilia L.	717	Nieto, Fabio H.	117
Correal-Urrego, Gonzalo	237	Nowak, Patrick	679
Cuatrecasas, José	19, 21, 247, 253	Ocampo, C.	137
Díaz-Piedrahita, Santiago	5, 21, 25, 235, 243, 247, 253, 451, 639	Osorno Muñoz, Mariela	165
Donato, John Ch.	259	Páramo, María Eurídice	63
Duque, Santiago	259, 651	Patiño, Víctor Manuel	27, 661
Eslava R., Jesús A.	81, 265	Pérez, Gerardo	337
Espinosa B., Armando	287, 293	Pinto-Nolla, Francisco	481
Espitia de Pérez, Cecilia	141	Portilla, José Gregorio	317
Estrada, Alberto R.	353	Prieto, Yadira L.	305
Estrada, Hernán	107	Quijano-Rico, Marco	131
Fernández-Alonso, José Luis	469	Ramírez-Triana, Gustavo	509
Flórez, Antonio	265, 527	Restrepo Forero, Olga	547
Franke, Rebeca	593	Restrepo Moreno, Angela	673
Fritts, Thomas H.	741	Restrepo, Blanca L.	243

Rincón, José María	343	Ujueta L., Guillermo	95
Ruiz-Carranza, Pedro M.	153, 165	Uribe, Antonio	7
Sastre, Claude	499	Valencia-Cuéllar, María José	733
Siaca, Amneris R.	741	Vélez-Nauer, Cristina	25
Smith, Ricardo A.	121	Wedler, Eberhard	509
Torres Barreto, Alvaro	439		