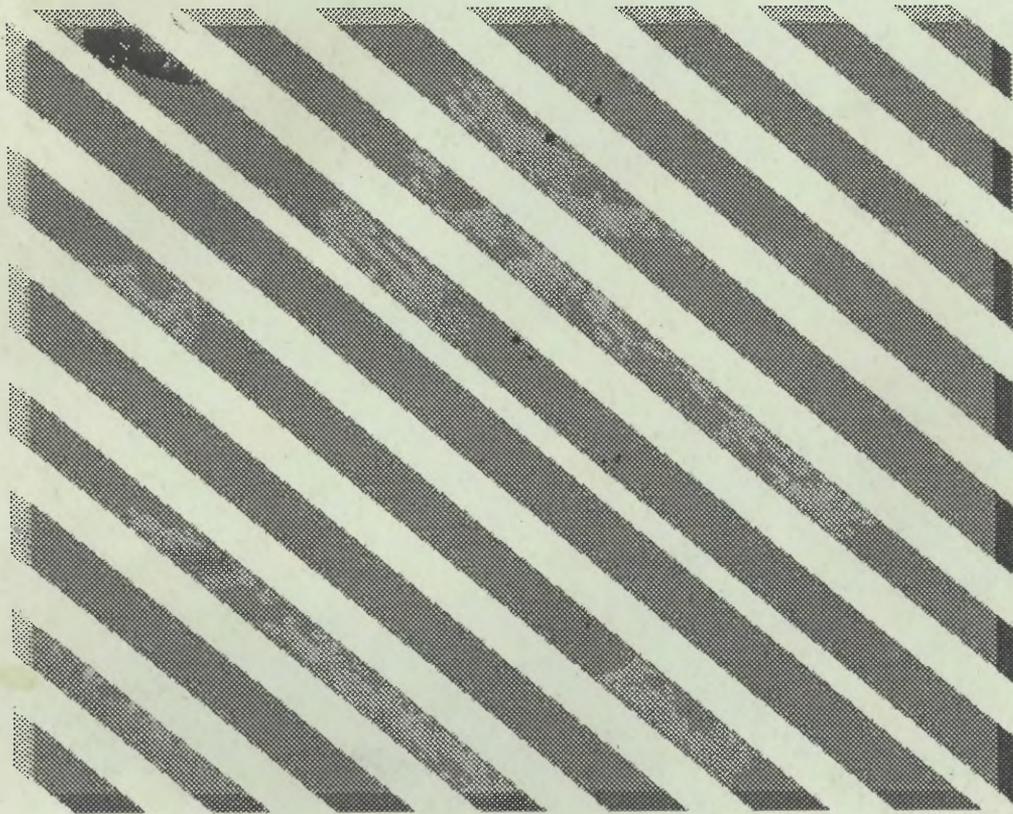


REVISTA CIENTÍFICA UNIVERSITARIA

# TECNOCIENCIA

VOLUMEN I, NÚMERO 2, 1998



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

**AUTORIDADES**

**DR. GUSTAVO GARCÍA DE PAREDES**  
**RECTOR**

**DR. ROLANDO MURGAS TORRAZZA**  
**Vicerrector Académico**

**PROF. JULIO VALLARINO**  
**Vicerrector de Investigación y Postgrado**

**DR. JUSTO A. MEDRANO**  
**Vicerrector de Extensión**

**PROF. OSMAN ROBLES**  
**Vicerrector de Asuntos Estudiantiles**

**MGTR. GLORIELA DE RENGIFO**  
**Vicerrectora Administrativa**

**PROF. EGBERT WETHERBORNE**  
**Secretario General**

**PROF. PAULA SOLÍS DE HUERTA**  
**Directora General de los C.R.U.**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y TECNOLOGÍA**

**AUTORIDADES**

**MGTR. ELVIA A. DE DE LOS RÍOS**  
DECANA

**MGTR. MAYRA A. DE LÓPEZ**  
VICE – DECANA

**LIC. EUFEMIA G. DE CORNEJO**  
SECRETARIA ADMINISTRATIVA

## **REVISTA TECNOCIENCIA**

### **Comité Editorial**

**DRA. DIANA CHEN**

**PRESIDENTA**

**Virginia Benavides**

**Félix Cuevas**

**Eduardo Durán**

**Osman Ferguson**

**Jaime Gutiérrez**

**María Jiménez**

**José Pineda**

**Noris Salazar**

**Víctor Urrutia**

**Lic. Elena Mosquera**

**Relaciones Públicas**



# EDITORIAL

La Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología presentó hace un año su revista oficial "TECNOCIENCIA" cuyo principal objetivo es que los Investigadores de la Facultad puedan publicar los resultados de sus trabajos y divulgar artículos de interés científico.

La revista tiene dentro de sus objetivos promover la investigación como parte esencial de la excelencia académica, lo que contribuirá al desarrollo de la ciencia y tecnología de nuestro País.

Hoy sale a la luz un segundo número, demostrando que el proyecto iniciado continúa gracias al apoyo recibido por parte de todos los que creyeron y siguen convencidos de la necesidad que una revista de ésta índole exista en nuestra Facultad.

Los artículos aquí publicados abarcan campos de las Ciencias Naturales (Biología, Física y Química) así como de las Ciencias Exactas (Estadística y Matemática) como también el Tecnológico (Electrónica e Informática), siendo sus autores connotados investigadores de nuestra unidad académica.

Invitamos a todos los docentes-investigadores a que presenten sus investigaciones en la revista "TECNOCIENCIA" con el objetivo de dar a conocer a la comunidad científica nacional e internacional el aporte al conocimiento que realiza la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología.

Un profundo agradecimiento al Comité Editorial y a los profesores que presentaron sus trabajos ya que prestigian la misma.

**PROF. ELVIA A. DE DE LOS RÍOS**  
**DECANA**



## INDICE

1. NUEVA CITA DE *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889) EN AGUAS DE EL SALVADOR ..... 11  
Miguel E. Avilés E. y Ricaute L. Pacheco T.  
Departamento de Biología Marina y Limnología/CCML.
2. REGUISTROS DE *Chimaera* sp. C EN EL PACÍFICO DE AMÉRICA CENTRAL ..... 15  
Ricaute L. Pacheco T.  
Departamento de Biología Marina y Limnología/CCML.
3. CODA Q Y ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO DE LOS SISMOS EN EL SUROESTE DEL  
ISTMO DE PANAMÁ. .... 23  
Aléxis Mojica\* y Eduardo Camacho\* \*\*  
\* Departamento de Física.  
\*\* Instituto de Geociencias.
4. RESULTADOS PRELIMINARES DEL MONITOREO DE LA RADIACIÓN UVB  
EN LA CIUDAD DE PANAMÁ ..... 39  
Alfonso Pino, Sergio Guerra, Nestor Sánchez, Alvaro Maturell y Jorge Espinosa  
Departamento de Física.
5. LOS ACEROS MICROALEADOS DE MEDIO CARBONO ..... 51  
E. Flores  
Departamento de Física, CITEN.  
A. Al Omar, J.M. Cabrera y J. M. Prado  
Departamento de Ciencia de Materiales e Ing. Met., Universidad Politécnica de Catalunya.
6. HISTOFISIOLOGÍA DEL OPERCULO DEL GUAPOTE, *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837).  
ADAPTADO AL AGUA DULCE Y DE MAR ..... 65  
Omar A. Dupuy L. y César A. Villarreal.  
Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal.
7. DINÁMICA DE CRECIMIENTO (PARTE II) ..... 75  
Aurelio Aparicio N.  
Departamento de Matemática.
8. SOBRE LA CARDINALIDAD DE LOS AUTÓMATAS FINITOS ..... 79  
Julio A. Vallarino R.  
Departamento de Matemática.
9. ACTIVIDAD DE LA OVIPOSTURA DE LOS CALLIPHORIDAE Y SARCOPHAGIDAE (DIPTERA)  
ASOCIADAS A CADÁVERES DE RATONES ..... 81  
Percis A. Garcés, Reinier Castro, Raúl Sanjur.  
Departamento de Zoología.
10. UN ENFOQUE AL ANÁLISIS DE UNA FAMILIA DE ALINEALIDADES TÍPICAS ESTÁTICAS . 95  
Rony Javier Caballero\* y Melanio Alberto Castillo\* \*\*.  
\* Departamento de Ing. Electrónica y Comunicaciones  
\*\* Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Panamá.



## NUEVA CITA DE *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889) EN AGUAS DE EL SALVADOR

Por

Miguel E. Avilés E. y Ricaurte L. Pacheco T.  
Departamento de Biología Marina y Limnología / CCML

### RESUMEN

Se define la posición Sistemática de un ejemplar perteneciente a la clase Gastropoda (Fam. Trochidae) colectado en el transcurso de las campañas de pesca exploratoria realizadas en 1995 a bordo del B/P Orense, en aguas de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) pertenecientes al Pacífico de la República de El Salvador. La literatura revisada, permite citar al espécimen como *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889) y el mismo representaría, un nuevo registro para la malacofauna del istmo Centroamericano.

Palabras claves: Moluscos, *Bathybembix*.

### Summary.

A New Register of *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889) on waters of El Salvador. We establish the systematic status of an specimen belonging to the Gastropoda class ( Family, Trochidae) collected during the fishing campaigns of 1995 aboard the B/P Orense, in the waters of the Economic Exclusive Zone (EEZ) of the Salvadoran Pacific. Reviewed literature allows identification of the individual as *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889). This is the first record of this molluscs in the Central American isthmus.

Key works: *Mollusc*, *Bathybembix*

### Introducción

La bibliografía disponible en el istmo centroamericano sobre la malacofauna de la región batial es bastante escasa e igual condición, revisten las colecciones de referencias en el área. Esta situación, unida a

la falta de recursos financieros que permitan la ejecución periódica de campañas de prospección pesquera, han llevado a un limitado conocimiento de aquéllas especies que habitan por debajo de los 600 metros.

En la ZEE del Pacífico centroamericano parte de la información, sobre la distribución de moluscos de la región batial, ha sido adquirida a partir de los informes suministrados por los pesqueros que accidentalmente los capturan durante las maniobras de arrastres.

### Metodología

En el mar:

El espécimen fue colectado accidentalmente con un palangre de fondo horizontal armado con anzuelos correspondientes a los números 3 y 7. Como carnada se emplearon trozos de *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) conocido como "calamar gigante"

Al ser retirado del palangre, el ejemplar fue lavado con agua de mar y luego pesado en una balanza de 2 Kg de capacidad (precisión de 0,1 g) marca OHAUS modelo 2000 y luego se le introdujo en una bolsa de poliestireno debidamente rotulada y se guardó, en la bodega del buque a una temperatura de -20 °C para su posterior traslado a los laboratorios de la Universidad de Panamá.

### En el laboratorio:

El ejemplar, antes de ser examinado fue descongelado (por un periodo de 24 horas) y lavado con agua del grifo. Durante la identificación se utilizó: 1) un calibre vernier SCALA de 160 mm de longitud, provisto de un

lector analógico (precisión de 0,05 mm) y, 2) un compás con tornillo micrométrico marca ROTRING modelo 530.224 provisto de una extensión lateral.

Para su preservación, el espécimen inicialmente se fijó con formalina al 5 por ciento (neutralizada con  $\text{CaCO}_3$ ) y luego, se almacenó en un frasco de vidrio que contenía alcohol etílico al 95 por ciento.

Las coordenadas geográficas de la estación se determinaron mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) marca KODEN (modelo GTD 2000).

La profundidad se determinó con una ecosonda KODEN modelo CVS 8832.

## Resultados

A los 12° 06' N y 87°05' O, a la profundidad de 1500 m se colectó un ejemplar perteneciente a la clase Gastropoda. La altura total, se estimó en 63,5 mm y el peso en 31 g. Acorde a la bibliografía, el ejemplar analizado corresponde a *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889). La literatura revisada permite considerar que el mismo, representa un nuevo registro, en aguas de la ZEE del Pacífico Salvadoreño. A continuación se hace una reseña descriptiva del individuo examinado.

### ***Bathybembix bairdii* (Dall, 1889)**

Altura: 63,5 mm; ancho: 48,05 mm

Peristraco oliváceo. Opérculo corneo concéntrico con un punto central cóncavo. Concha blanca holostomada, sin canales sifonales ni ombligo. Interior nacarado. Callosidad en el labio interno y con estrías bien marcadas en la base de la última vuelta de la concha. Sutura impresa sin formar un verdadero canal.

Coloración en fresco (y en alcohol etílico al 95 por ciento) verde oliva claro.

Fecha: 10/X/1995; Posición: 12° 06' N; 87°05' O; Profundidad: 1500 m.

No. Catálogo: 7367 (Universidad de Panamá, Departamento de Zoología).

Cabe indicar que durante las campañas del B/P Orense, la especie se colectó en una sola ocasión. Acorde a la literatura consultada el

ejemplar analizado representaría un nuevo registro para la región estudiada.

## Sinonimia

*Turricola bairdii* en Dall, 1889 p. 377 para fuera de las costas de California, además, hace mención a especies similares obtenidas en Perú. *Turricola bairdii* en Dall, 1890 p. 346, figura 7 describe un ejemplar obtenido fuera de la isla San Clemente (California) a las 414 brazas. *Solariella oxybasis* en Dall, 1890 p. 352. Lámina 12, figura 6. *Turricola bairdii* en Dall, 1921 p. 177 muestras colectadas al noroeste del isla Unimak en el mar de Bering y costas de Washington hasta isla Coronado entre las 238 y 822 brazas. *Turricola bairdii* en Oldroyd, 1927 p. 191. *Turricola bairdii* en Josiah, 1935 p. 164, fig. 135, c isla de San Clemente entre las 300 y 400 brazas. *Turricola bairdii* en Kenn, 1937. p. 49. *Turricola bairdii* en Webb, 1942 p. 99 para Santa Bárbara, California a las 400 brazas. *Solariella oxybasis* en Boss *et al.*, 1968 p. 234 para fuera de la isla de Santa Bárbara (California) y *Turricola bairdii* p. 40 para fuera de la costa sur de California. *Bathybembix (Bathybembix) bairdii*, (sin.) *Solariella oxybasis* en Keen, 1971 p. 331, fig. 62. Mar de Bering al Golfo de Tehuantepec (México). *Lischkeia bairdii* en Abbott, 1974 para el Mar de Bering, isla Coronado, México y Chile en fondos fríos entre las 10 y 600 brazas. *Bathybembix (Bathybembix)* en Baxter, 1987 para parte central de California, Washington y Columbia Británica. *Bathybembix bairdii* en Turgeon *et al.*, 1988. Para el Pacífico de Estados Unidos de América.

## CONCLUSIONES

La muestra corresponde a la especie *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889) y en la oportunidad representaría el registro más meridional para la América Central. Debido a los escasos estudios se debe procurar un mayor número de especímenes para dilucidar su distribución espacial y batimétrica.

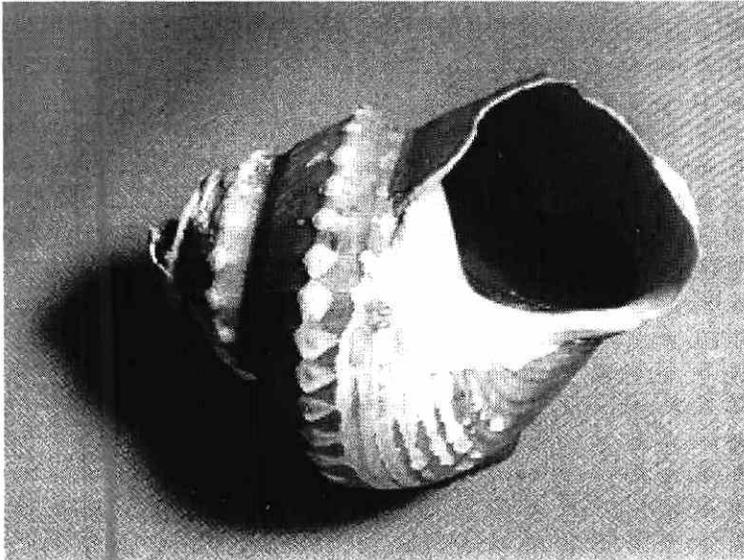


Figura 1. *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889),  
vista frontal

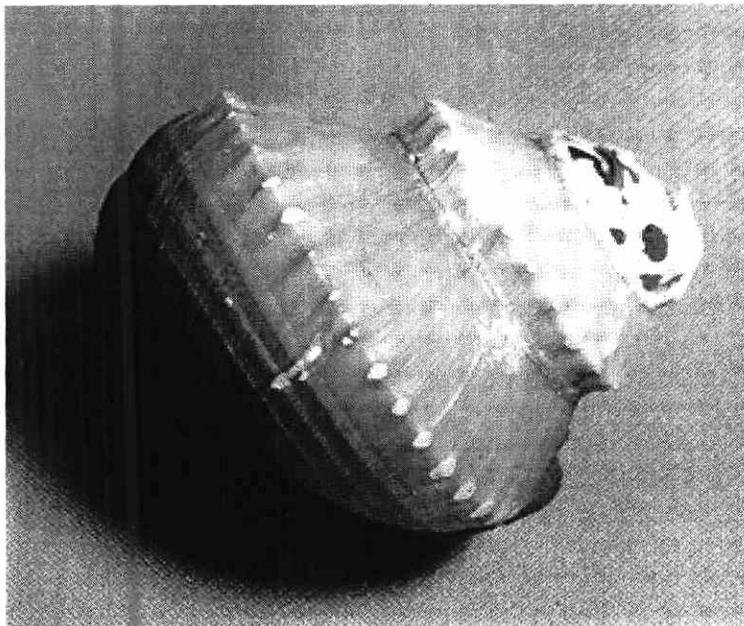


Figura 2. *Bathybembix bairdii* (Dall, 1889),  
vista dorsal

#### AGRADECIMIENTOS:

La realización de esta investigación fue posible gracias al apoyo recibido de parte de la Coordinación Regional del Programa para del

Desarrollo de la Pesca en el Istmo Centroamericano (PRADEPESCA), en especial del Doctor Javier Zamorro quien en todo momento mostró interés en su ejecución.

Panamá, Octubre de 1996

#### BIBLIOGRAFÍA:

1. BAXTER, R. 1987. Mollusks of Alaska. Published by Shells and Sea life, California. p. 163.
2. KENNETH, B. *et al.* 1968. The Zoological Taxa of William Healey Dall. Smithsonian Institutions. United States National Museum, Washington DC Bull. 287: 287
3. DALL, W. H. 1921. Summary of the Marine Shellbearing Molluscs of the Northwest Coast of America, From San Diego, California to the Polar Sea, Mostly contained in the collection of the United States National Museum, with Illustrations of Hitherto Unfigured Species. Smithsonian Institutions. United States National Museum. Bull 112 : 217.
4. DALL, W. H. 1889. Reports on the Results of dredging, under the Supervision of Alexander Agassiz in the Gulf of Mexico (1877-78) and the Caribbean Sea(1879-80) by the US Coast Survey Steamer "Blake", Lieut. Commander E.D. Sigsbee, U.S.N. and Commander J.R. Bartlett, U.S.N. Commanding. XXIX, Report on the Mollusca. Part. II- Gastropoda and Scaphopoda. Bul.Mus. Com. Zoology. Vol XVIII(June) : 492
5. DALL, W. H. 1880. Scientific Results of Explorations by the US Fish Commission Steamer "Albatross". VII Preliminary Report on the Collection Avilés, M y Pacheco, R. 8 de 9 of Mollusca and Brachiopoda obtained in 1887-88. Proc. US. Nat. Mus. 12, (773) : 219-362.

6. KEEN A., M. 1971. Sea Shells of Tropical West. America. Second Edition. Stanford University Press, Stanford, California. p.1064, 1937. An Abridged Check List and Bibliography of West Coast of North American Marine Mollusca. Stanford University Press, Stanford, California. p. 84.
7. KEEP, J. 1935. West Coast Shells. Stanford University Press, Stanford, California. p. 163.
8. OLDROYD, I. S. 1978. The Marine Shells of the West Coast of North America. Vol. II, part 3 : 339. Stanford University Press, Stanford, California.
9. TUCKER, A. R. 1974. American Seashells. Second. Edition. Van Nostrand Reinhold Co. New York. p. 663.
10. TURGEON, D. D. *et al.* 1988. Common and Scientific names of Aquatic Invertebrates from the United States and Canada: Molluscs. American Fisheries Society Special Publication No. 16. (VII) : 277.
11. WEBB, W. F. 1942. United States Mollusca. A Descriptive Manual of Many of the Marine, Land and Fresh Water Shells of North Mexico. Lee Publications. Wellesley Hills. Mass. p. 224.

## REGISTROS DE *Chimaera* sp. C EN EL PACÍFICO DE AMÉRICA CENTRAL

Por

**Ricaurte L. Pacheco Tack**

Departamento de Biología Marina y Limnología / CCML

### RESUMEN

Se dilucida el *status* sistemático de varios ejemplares pertenecientes a la familia CHIMAERIDAE colectados durante las campañas de pesca exploratoria realizadas en 1995 a bordo del **B/P Orense**, en las aguas de la Zona Económica Exclusiva (**ZEE**) del Pacífico de América Central. La literatura revisada, permite citar a los individuos como ***Chimaera* sp. C** y los mismos representarían un nuevo registro para la fauna de peces batipelágicos en la región estudiada.

Los valores promedio de la longitud total y peso decrecen de Panamá hacia Guatemala. Se calcularon las curvas de regresión para la relación Longitud total/peso para las muestras de cada país.

### SUMMARY

**Registers of *Chimaera* sp. C on the Central American Pacific.** The systematic status of several specimens belonging to the CHIMAERIDAE family, collected during the fishing campaigns made in 1995 aboard the B/P Orense, in the waters of the Economic Exclusive Zone (**EEZ**) of the Central American Pacific was determined. Reviewed literature allowed identification of the individuals as ***Chimaera* sp. C**. This is the first record of this batipelagic fish in the region. Mean values of total lengths and weights decrease from Panama to Guatemala, Regression curves (total length/weight) for each country sample were calculated.

**Palabras claves:** Peces batipelágicos, *Chimaera*. Peces brujas.

**Key works:** *Bathypelagic fishes, Chimaera, ghost sharks*

### INTRODUCCIÓN

La bibliografía disponible en el istmo centroamericano acerca de la fauna ictícola de la región batial es escasa y/o fragmentaria e igual condición, revisten las colecciones de referencias en el área. Dicha situación, aunada a la falta de recursos financieros que permitan la realización de cruceros periódicos de prospección pesquera, ha conducido a un limitado conocimiento de aquellas especies de peces que habitan por debajo de los 800 metros.

En la ZEE del Pacífico centroamericano, parte de la información sobre la distribución de peces batipelágicos ha sido suministrada tradicionalmente por los capitanes de pesca que accidentalmente los capturan durante las maniobras de arrastre.

En el desarrollo de las campañas efectuadas a bordo del B/P Orense, entre septiembre y noviembre de 1995, se colectaron 73 quiméridos que fueron citados transitoriamente por Pacheco(1995) como ***Hydrolagus colliei*(?)**. Consciente de la importancia que reviste el conocimiento acerca de la distribución de las especies de peces, el programa **PRADPESCA** brindó el apoyo económico necesario para proseguir las investigaciones en Instituciones Científicas de los Estados Unidos de América del Norte.

## METODOLOGÍA

### En el mar:

Las muestras fueron colectadas con palangre de fondo horizontal; en los cruceros de Panamá y Nicaragua se emplearon anzuelos No.7 y a partir del Salvador, se utilizaron en forma combinada anzuelos del número 3 y 7.

Al finalizar el virado del palangre los peces eran lavados con agua de mar y luego pesados en una balanza de 200 libras (90,700 Kg) de capacidad y una precisión de 0,5 libras, marca DETECTO modelo 11s26. Una vez determinado el peso, se estimaba la longitud total (Lt), al milímetro inferior, mediante un ictiómetro provisto de una regla C-THRU de 910 mm de longitud. Las muestras fueron introducidas en bolsas de poliestireno debidamente rotuladas (con etiquetas confeccionadas en papel de hilo) y se almacenaron, en la bodega del buque a una temperatura de -20 °C para su posterior traslado a los laboratorios de la Universidad de Panamá.

### En el laboratorio:

Los ejemplares, antes de ser examinados eran descongelados (por un período de 24 horas) y lavados con agua del grifo. Durante la identificación se utilizó: 1) un calibre vernier SCALA de 160 mm provisto de un lector analógico con una precisión de 0,05 mm y 2) compás de tornillo micrométrico marca ROTRING modelo 530.224 provisto de una extensión lateral. Para su preservación, las muestras inicialmente se fijaron con formalina al 8 por ciento (neutralizada con CaCO<sub>3</sub>) y luego, se colocaron en alcohol etílico al 95 por ciento.

Las posiciones geográficas de las estaciones fueron determinadas mediante un sistema de posicionamiento global (GPS) marca KODEN (modelo GTD 2000) y se graficaron luego, en cartas confeccionadas por la Agencia de Cartografía de la Defensa USA (Nos.21033 y 21500). La profundidad se determinó con un ecosonda marca KODEN modelo CVS 8832.

Se realizaron comparaciones de los ejemplares colectados con aquéllos que reposan en las colecciones de referencia del Museo Nacional de Historia Natural (NMNH, de Washington DC) y de la Academia de Ciencias de Filadelfia (ANSPH). Se analizó la bibliografía correspondiente y se mantuvieron sesiones de trabajo, con especialistas del grupo citado.

Para comparar las medias de las longitudes totales (como así también los pesos promedio) estimadas para el conjunto de ejemplares capturados en cada país, se aplicó la prueba *a posteriori* de Student-Newman-Keuls (S-N-K) que toma en consideración la mayor diferencia entre el conjunto de medias analizadas (rango).

La relación entre la longitud total y el peso, para el total de los ejemplares capturados en cada país, se estimó por el método de mínimos cuadrados (modelo predictivo) y para ello se utilizó la expresión:

$$P = a LT^b \quad (1)$$

Para linealizar el modelo, se recurrió al uso de los logaritmos decimales a fin de obtener la ecuación:

$$\text{Log}_{10} P = a + b \text{Log}_{10} LT \quad (2)$$

## Resultados

Entre los 220 y 1800 m de profundidad se colectaron 73 ejemplares pertenecientes a la familia CHIMERIDAE que fueron referidos provisionalmente por Pacheco (1995) como *Hydrolagus colliei*(?).

Las coordenadas correspondientes a las estaciones de colecta, se presentan (sistema decimal), en el Cuadro 1.

La longitud total, para el conjunto de los especímenes, varió entre 0,69 y 1,31 m (: = 997,63) y el peso, entre 1,4 y 11,8 K (4,8).

Según la bibliografía y los especialistas consultados, los especímenes analizados, corresponden a *Chimaera sp C*. La literatura revisada permite considerar que los mismos, representan los primeros registros para dicha forma en aguas de la ZEE del Pacífico de América Central. A continuación se presenta una reseña descriptiva de la misma.

**Chimaera sp C.**

posterior en forma de huso (Figuras 1 y 2).

Cuerpo sin escamas y suave al tacto, región anterior alta y robusta a diferencia de la

**CUADRO 1. ESTACIONES DE COLECTA DE *Chimaera sp. C***

País <i>Country</i>	Fecha <i>date</i>	Lance <i>cast</i>	Latitud N <i>latitude N</i>	Longitud W <i>longitude W</i>	Prof. (m) <i>depth (m)</i>	No.Indv. <i>Indv.</i>
<b>Panamá</b>	Sep.05	11	07°15,796'	79°40,685'	1000	2
	Sep.07	13	07°37,546	79°33,903'	220	31
<b>Nicaragua</b>	Sep.15	02	11°16,93'	87°21,15'	1200	7
	Sep.17	04	11°48,78'	86°46,85'	1000	1
<b>EL Salvador</b>	Oct.02	02	12°16,95'	88°31,79	1500	4
	Oct.07	05	12°50,86'	89°56,23'	1430	8
	Oct.09	07	12°29,37'	89°17,97'	1800	10
<b>Guatemala</b>	Oct.17	02	13°04,42'	90°47,15'	1590	1
	Oct.18	03	13°12,87'	91°12,84'	1800	5
	Oct.20	04	13°21,52'	91°30,63'	1600	4

Cabeza grande, recorrida por una compleja red de canales de la línea lateral y poros sensoriales. Ojos circulares, grandes de color verde fosforescente. Hocico carnoso y romo, con narinas cónicas bien desarrolladas separadas por un estrecho istmo. Boca inferior con gruesos labios. Dientes de color gris, hipermineralizados, con estrías longitudinales fundidos en dos láminas en la mandíbula superior y una en la inferior. Primera dorsal eréctil de forma triangular; provista de una espina fuerte de sección triangular, ligeramente curvada cuya cara posterior, lisa y levemente acanalada, está limitada por los bordes aserrados de las caras laterales. La altura de la espina supera la del resto de la aleta. Segunda Dorsal recta de altura uniforme y separada del lóbulo supracaudal por un pequeño espacio. Aletas pectorales grandes, triangulares, con

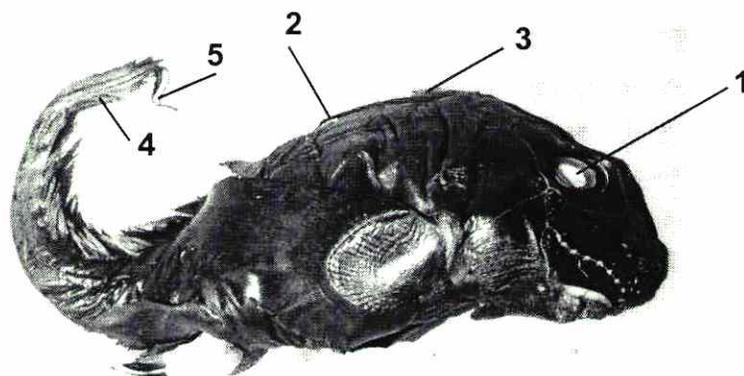
una longitud mayor a la de la cabeza y a la distancia que las separa de las aletas pélvicas. Aleta anal breve, separada por una pequeña muesca del lóbulo subcaudal. Caudal leptocerca, prolongada en un filamento de longitud variable; los lóbulos supracaudal y subcaudal son pequeños y similares. Abrazaderas (*claspers*) relativamente cortas, trifurcadas. Hígado grande de color arena (crema) de aspecto alveolar.

Coloración: en fresco negro y en alcohol etílico (al 95 por ciento) marrón café. Distribución: Citada para las costas Australianas (posiblemente en Nueva Zelanda).

De acuerdo a Didier(1993, 1995) la familia Chimaeridae está integrada por dos géneros **Chimaera** Linnaeus, 1758 e **Hydrolagus** Gill, 1862 conformados, respectivamente por 6 y 17

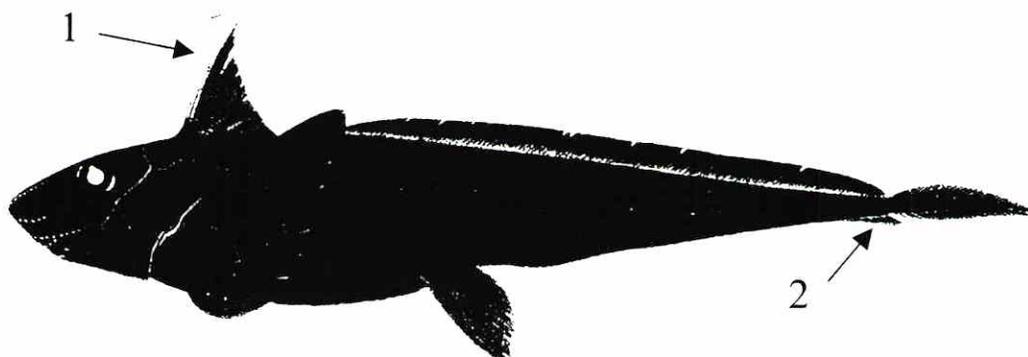
especies. En la actualidad, se reconocen varias formas en ambos géneros que aún no han sido definidas en el ámbito específico. Last y Stevens (1994) citan respectivamente 5 y 2 mientras que Paulin, C. *et al.* (1989) se refieren a 3 formas en cada uno de ellos.

La bibliografía y especialistas consultados (D. Didier), ha permitido referir los ejemplares colectados a la forma de *Chimaera sp C* citada para las costas de Australia.



**Figura 1. *Chimaera sp. C***

(1) ojo; (2) espina dorsal; (3) primera aleta dorsal; (4) lóbulo caudal superior; (5) filamento caudal; (6) aleta pectoral.



**Figura 2. *Chimaera sp. C*** (de Last, P. R. y Stevens, J.D., 1994)

(1) espina dorsal; (2) aleta anal.

La mayor longitud total promedio (104,8 cm) correspondió a los individuos colectados en Panamá. En la figura 3 se puede observar que dicha medida fue disminuyendo gradualmente con el aumento de la latitud; en efecto, en

Guatemala la longitud total promedio fue de 92,6 cm. muestra obtenida en aguas de Panamá y las procedentes del Salvador y Guatemala. No obstante, no se observaron diferencias entre las muestras de Panamá y

Nicaragua como así también, entre esta última con relación a las del El Salvador y Guatemala. Debido a la falta de un mayor número de ejemplares se puede considerar, *a priori* y en un sentido laxo, que el área de Costa Rica y Nicaragua puede representar una zona de transición (en lo que a las tallas se refiere)

hacia los valores estimados en latitudes más altas de la región estudiada. Ello podría interpretarse como una posible agregación de los individuos acorde a la talla. En la Figura 4, se resumen gráficamente dichos resultados.

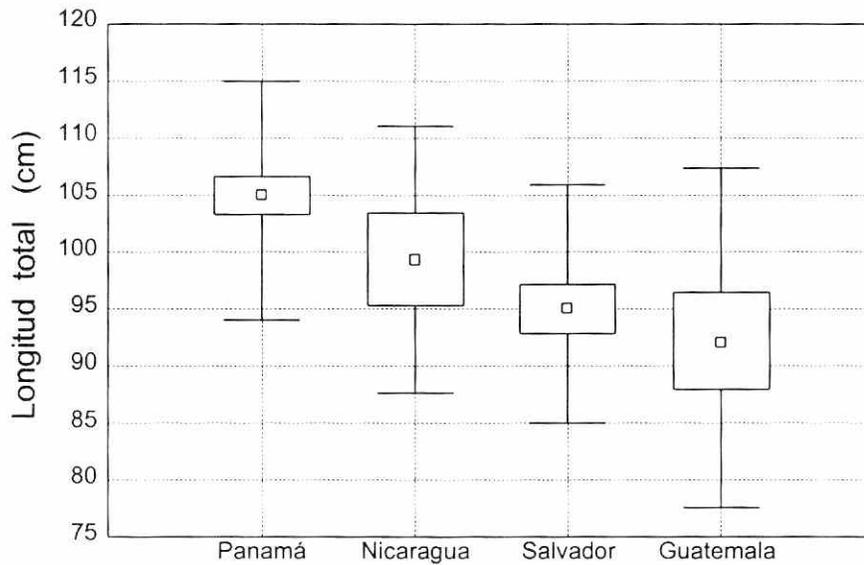
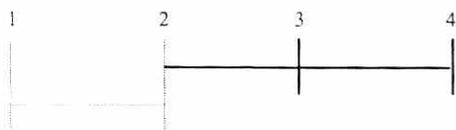


Figura 3. Valores promedio de la longitud total por país

Cuadro No. 2 Comparación de medias

Prueba S-N-K País	Panamá F=104,76 m	Nicaragua F= 99,35 m	El Salvador F= 95,555 m	Guatemala F= 92,600 m
Panamá	-----	,225070	,010954*	,019031*
Nicaragua	,225070	-----	,415037	,417065
El Salvador	,010954*	,415037	-----	,491866
Guatemala	,019031*	,417065	,491866	-----

\*diferencia significativa  $p < 0,05$

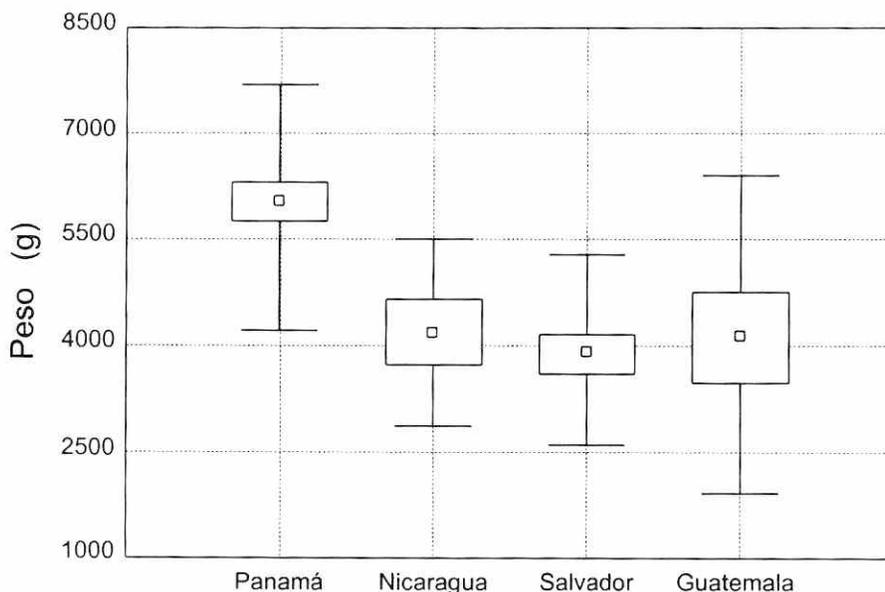


**Figura 4. Afinidad entre las longitudes totales promedio por país.**

El mayor peso promedio (5,971 K) correspondió a los individuos colectados en Panamá. En la figura 5 se puede observar que dicha estimación fue disminuyendo gradualmente con el aumento de la latitud. El valor más bajo (3,878 K) correspondió a las muestras obtenidas en el Salvador.

En el Cuadro No. 3 se exponen los resultados obtenidos al comparar los pesos promedio (prueba S-N-K) estimados para el conjunto de individuos colectados en cada país. Se detectaron diferencias significativas entre el peso medio de las muestras extraídas en aguas de Panamá con relación al resto de los países sin embargo, la misma no evidenció diferencias entre los pesos promedio calculados para Nicaragua, El Salvador y Guatemala.

En el cuadro No. 4 se exponen las curvas correspondientes a la relación entre la longitud total y el peso de para el conjunto de individuos colectados en cada país.



**Figura 5. Valores promedio del peso corporal por país**

**Cuadro 3. Comparación de los pesos promedio por país**

<i>Prueba S-N-K</i>	Panamá	Nicaragua	El Salvador	Guatemala
<i>País</i>	F=5971,4 g	F= 4280 g	F= 3879,9 g	F= 4081,9 g
Panamá	-----	012047*	,000255*	,006861*
Nicaragua	,012047*	-----	,828110	,802453
El Salvador	,000255*	,828110	-----	,748644
Guatemala	,006861*	,802453	,748644	-----

\* diferencia significativa  $p < 0,05$

**Cuadro No. 4** Relación entre la longitud total y el peso por país  
Intervalo de confianza: 95%

<i>Panamá</i>	$P = - ,8002 + Lt^{2,2587} / r = 0,805 ; n = 33$
<i>Nicaragua</i>	$P = - 2.243 + Lt^{2,9154} / r = 0,939 ; n = 08$
<i>El Salvador</i>	$P = -2,505 + Lt^{3,0684} / r = 0,963 ; n = 22$
<i>Guatemala</i>	$P = -2,753 + Lt^{3,2181} / r = 0,952 ; n = 10$

Las curvas de regresión expuestas corresponden a los datos de las muestras y ante la falta de un mayor número de ejemplares, no deben interpretarse como definitorias de los parámetros de la población. Por la misma causa, sus respectivas pendientes no fueron comparadas entre sí.

## CONCLUSIONES

Los especímenes guardan una gran similitud con *Chimaera sp C* citada para las costas de Australia y representarían nuevas citas en el área estudiada.

Las longitudes totales y los pesos promedio (estimados para el conjunto de especímenes colectados en cada país) disminuyeron gradualmente hacia las latitudes más altas del área estudiada: EL Salvador y Guatemala.

Se recomienda efectuar nuevas prospecciones ya que existe escasa información acerca de esta forma de quimera para establecer su nominación específica como así también, para analizar sus parámetros biológicos.

## AGRADECIMIENTOS:

El desarrollo de esta investigación fue posible gracias al apoyo recibido de parte del Dr. Antonio D'Acosta(†) y el Licdo. Mario González R., de la Coordinación del PRADEPESCA, quienes en todo momento mostraron interés en su culminación. La actitud crítica y entusiasta colaboración de la Dra. Dominique Didier, investigadora de la Academia de Ciencias Naturales de Philadelphia ha sido de un valor inestimable

como así también, el asesoramiento brindado por la Licenciada Carmen C. Rodríguez durante el análisis estadístico de los datos.

Panamá, Noviembre de 1996

## BIBLIOGRAFÍA.

1. CHIRINCHIGNO, N. y NAUEN, C.E. 1982. **Catálogo de especies marinas de interés económico actual o potencial para América Latina**. Parte 2. Pacífico Centro y Suroriental. Rome. FAO/PNUD, SIC/82/2 p. 1a 1588.
2. DIDIER, D. 1995. Phylogenetics Systematics of Extant Chimeroid Fishes (Holocephali, Chimeroids) **American Museum Novitates** 3119 :1- 86.
3. HERALD, E. S. 1971. **Living Fishes of the World**. Doubleday and Company Inc. New York. p. 1- 303.
4. FISCHER, W. *et al.* 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental Invertebrados: Volumen II(Vertebrados) Parte 1: 647-1200.
5. GREY, M. 1956. The Distribution of Fishes Found Below a Depth of 2000 Meters **Filadelfiana: Zoology**. Vol.36, Number 2, p.109-110.
6. HART, J. L. 1973. Pacific Fishes of Canada. **Fisheries Research Board of Canada . Bull.** No. 180.

7. JORDAN, S. D. 1968. **The Genera of Fishes and a Classification of Fishes**. Stanford University Press. Stanford, California, p. 1-800.
8. JORDAN, D.S. y EVERMANN, B.W. 1896. The Fishes of North and Middle America. A Descriptive Catalogue of the Species of Fishes Like Vertebrates Found in the Waters of North America, North of the Isthmus of Panama. Bulletin 47, United States National Museum. p. 93-95.
9. LAST, P.R. y STEVENS, J.D. 1994. **Sharks and Rays of Australia**. CSIRO Division of Fisheries Australian Fisheries Research Corporation and Development.
10. LEIM, A. H. Y SCOTT, W. B. 1973. Fishes of the Atlantic Coast of Canada **Fisheries Research Board of Canada . Bull.** No. 155.
11. PACHECO, R. 1995. Resultados de las prospecciones pesquera del B/P ORENSE acerca del *Dosidicus gigas* y *Disosstichus eleginoides* en aguas de la ZEE del Pacífico Mesoamericano. PRADEPESCA. Imprenta Boski, Panamá. p. 1-64.
12. PAULIN, CH. *et al.* 1989. New Zealand Fish a Complete Guide. **National Museum of New Zealand Miscellaneous Series** No.1.
12. SMITH, M. M. y HEEMSTRAE, P.(Edit.). 1986. **Sea Fishes**. J.L. B. Smith Institute of Ichthyology. Sud Africa.
14. SOKAL, R. y ROHLF, F.J. 1979, **Biometría**. H. Blume Ediciones, Madrid. 832 p.
15. STEEL, G.D. y TORRIE, J. 1996. **Bioestadística: Principios y Procedimientos**. McGraw-Hill/Interamericana de Mejico, S.A. de C.V. 622 p.

## CODA Q Y ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO DE LOS SISMOS EN EL SUROESTE DEL ISTMO DE PANAMÁ

Por

**Alexis Mojica<sup>1</sup> y Eduardo Camacho<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física

<sup>2</sup> Instituto de Geociencias

### RESUMEN

Se estudia el ambiente geotectónico, la atenuación anelástica y los parámetros de fuente de las ondas sísmicas en la región suroccidental del Istmo de Panamá. Para esto fue necesario emplear un sistema que se encargó de registrar y analizar los 64 eventos seleccionados en dicha región, de los cuales 13 tuvieron lugar en las tierras altas de Chiriquí (Zona Central) y 51 en la Península de Burica y regiones costeras (Zona del Pacífico) entre los meses de marzo a junio de 1995, el sistema constituye el paquete de programas SEISAN (Havskov y Lindholm, 1994) el cual contiene la base de datos de UPA (central sismológica de la Universidad de Panamá). Para el estudio de atenuación anelástica, se emplea un modelo que considera a las ondas de coda como el resultado de la superposición de las ondas de volumen que interactúa con las inhomogeneidades distribuidas aleatoriamente en el medio de propagación (Aki y Chouet, 1975), para la Zona Central se encontró un valor de coda  $Q_0$  de 71 y para la Zona del Pacífico 86, mostrando esta última una baja disipación de energía en comparación con la primera, debido a que el inverso de dicho valor constituye la pérdida de energía que sufren las ondas sísmicas al propagarse por un medio dado. Basándose en la magnitud de estos eventos, se empleó el Modelo de Falla Circular (Brune, 1970) para calcular los parámetros de fuente de cada zona mediante un análisis espectral de las ondas de volumen, obteniéndose en la Zona del Pacífico, valores máximos del momento sísmico y radio de la fuente de  $1,0 \times 10^{14}$  dina cm y 0,38 km, respectivamente y

para la Zona Central:  $1,41 \times 10^{13}$  dina cm y 0,30 km, catalogando entonces a la Zona del Pacífico como una región de alto riesgo sísmico.

### INTRODUCCIÓN

La Sismología constituye una rama científica que estudia las fuentes sísmicas y la propagación de las ondas sísmicas a través del medio sólido o líquido de la tierra; la misma se ha dedicado siempre a la búsqueda de parámetros sísmicos, las causas que generan un evento y las fuentes y zonas de mayor riesgo con el fin de minimizar el número de víctimas y daños materiales.

Debido a la elevada densidad poblacional y alta actividad agroindustrial, es necesario realizar una descripción del marco geotectónico de la región suroccidental del Istmo de Panamá, que incluya una distribución tanto de las principales formaciones geológicas así como también de las fuentes sísmicas presentes en dicha región. También es importante llevar a cabo un estudio comparativo sobre la atenuación (pérdida de energía) de las ondas sísmicas de eventos con origen en la región suroccidental de Panamá, lo que permitirá evaluar mejor la amenaza sísmica de esta zona que posee una gran importancia para el país, ya que en la misma también se produce más del 65% de la energía eléctrica que consume Panamá. También es importante llevar a cabo un análisis espectral para cada uno de los eventos registrados en dicha región ya anteriormente descrita, con el

fin de calcular diferentes parámetros y así obtener mayor conocimiento sobre las características de los sismos de dicha región, lo que permitiría refinar los futuros estimados de amenaza sísmica para la región suroccidental de Panamá.

## LA REGIÓN SUROCCIDENTAL DEL ISTMO DE PANAMÁ

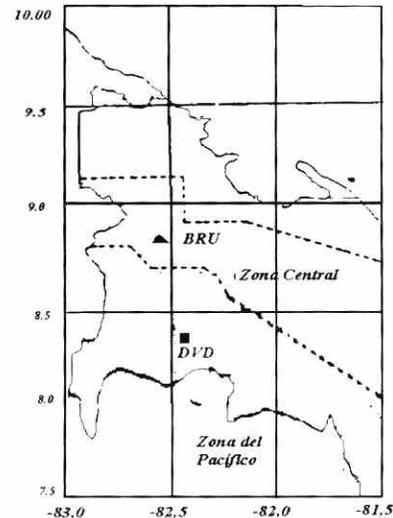
### Generalidades

El Istmo de Panamá este ubicado sobre una microplaca tectónica, la cual se conoce con el nombre de *Bloque de Panamá*. Su estructura geológica es el resultado de la interacción de cuatro placas litosféricas: La Placa de Coco al suroeste, la Placa del Caribe al norte, la Placa de Nazca al sur y la Placa Suramericana al este. Panamá se caracteriza por tener las siguientes cualidades geotectónicas: (a) Un alineamiento NW-SE ya que la mayoría de las fallas en el Istmo poseen este alineamiento (Sistema de falla de Azuero, Soná y Coiba, la falla de San Felix, Sambú, etc. (c) Un Cinturón Deformado ubicado en el sur del Istmo.

### Marco Geológico

La región suroccidental del Istmo de Panamá constituye el área ocupada por los distrito de Alanje, Barú, Boquete, Boquerón, Bugaba, Dolega, David y Gualaca. Se encuentra ubicado entre los 82°10' y los 83°03' oeste y entre los 8°01' y los 8°55' norte. Para un mejor estudio de esta región, se hace necesaria una subdivisión de la misma en dos zonas en base a la vertiente del pacífico y las tierras altas de la provincia de Chiriquí (fig. 1), estas zonas son:

*La Zona Central:* El cual esta constituido principalmente por cuerpos intrusivos con similares características de edad. Las edades de dichas estructuras oscilan entre los 32,6 millones de años. En esta zona existe evidencia de actividad volcánica del Terciario Superior y Cuaternario.



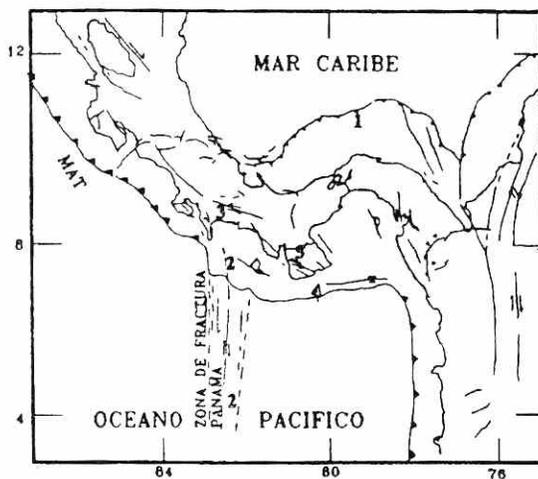
**FIGURA 1.** Zonas en que se divide a la región occidental de la provincia de Chiriquí de acuerdo a la vertiente del pacífico y las tierras altas de dicha provincia.

*La Zona del Pacífico:* El Mioceno Superior está presente en esta zona, principalmente en la formación de Charco Azul (Punta Burica). Los sedimentos que se encuentran en, la misma están constituidos por granos finos. Por otro lado, los conglomerados del Pleistoceno están ubicados a varias decenas de metros con respecto a nivel del mar, lo que indica la movilidad de esta zona, la cual es penetrada por las fallas y las frecuentes colisiones producto de los terremotos. Los materiales sedimentarios más comunes son las arcillas, limonitas, areniscas y aluviones, dichos materiales son muy comunes en la región de Punta Burica.

### Tectónica Regional

Las zonas Central y del Pacífico se encuentran influenciadas por el 1. *Cinturón Deformado del Sur de Panamá*, el cual se extiende al sur del istmo, bordeando su margen continental pacífico; en esta zona la Placa de Nazca se subduce de manera asísmica y oblicua con un ángulo muy pequeño por debajo del Bloque de Panamá, 2. *El Sistema de Fractura de Panamá* que constituye el límite

entre las placas de Coco y Nazca; aproximadamente a los 6° al norte, esta zona se divide en una serie de fallas de rumbo paralelas y dirección dextral, en este sistema de fracturas encontramos la Zona de Fractura de Panamá, la Zona de Fractura de Balboa y la Zona de Fractura de Coiba. 3. *La Zona de Azuero-Soná*, la cual se encuentra localizada en la sección sur del Bloque de Panamá y comprende las penínsulas de Azuero y Soná es posible que las fallas presentes en esta constituyan una extensión de la falla longitudinal de Costa Rica (Falla de Celmira-Ballena). 4. *El Cinturón Deformado del Norte de Panamá*, que constituye el margen norte del Istmo de Panamá, de aproximadamente 7 km de espesor. El mismo posee la forma de un arco con origen en la convergencia entre la Cuenca de Colombia y el Bloque de Panamá. 5. *El Golfo de Panamá* el cual esta localizado en el margen continental del suroeste de Panamá, en dicha zona el espesor de la corteza oscila entre los 17 y 25 km y la misma esta superpuesta por un complejo arco magnético primitivo. En la figura 2 se ilustran las regiones sismotectónicas mencionadas.



**FIGURA 2.** Principales fallas neotectónicas que influyen en la región suroccidental del Istmo de Panamá: 1- Cinturón Deformado del Norte de Panamá, 2- Sistema de Fractura de Panamá, 3- Golfo de Chiriquí, 4- Cinturón Deformado del Sur de Panamá, 5- La Zona de Azuero-Soná.

## ADQUISICION DE DATOS

Las estaciones sismológica empleadas para este estudio fueron la estación BRU en el Volcán Barú (Zona Central) y la estación DVD en David (Zona del Pacífico). Todo el análisis de distribución sismológica, incluyendo su representación gráfica y la obtención de los valores de las magnitud y la profundidad, fue llevado a cabo en el paquete de programas *SEISAN*. Con el empleo de *EPIMAP*, el cual forma parte de dicho paquete, se puede llevar a cabo la ubicación de los epicentros sobre un mapa. Los eventos sismológicos registrados desde marzo a Junio de 1995 constituyen nuestros datos de interés para llevar a cabo el análisis de atenuación anelástica y los parámetros de fuente en la región suroccidental de Panamá; el total de eventos registrados en esta región fueron 137 pero de ellos, fueron seleccionados solo 13 eventos para la Zona Central y 51 eventos para la Zona del Pacífico.

La tabla 1 y 2, y la figura 3 muestran la distribución de las estaciones empleadas para el estudio y los epicentros de los eventos elegidos.

## DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS FÍSICOS

### El Método de Coda Q

Debido a que la tierra no es un medio perfectamente elástico, las ondas sísmicas sufren, durante su propagación, una atenuación de su amplitud que por su origen se denomina anelástica. La atenuación de las ondas sísmicas es el resultado de la combinación de dos tipos de mecanismos diferentes: la absorción anelástica, el cual constituye la pérdida de energía por calor y la dispersión que constituye la deflexión y/o el modo de conversión de energía sísmica debido a la aleatoriedad de las inhomogeneidades existentes en el medio de transmisión.

Los estudios de atenuación de alta frecuencia para eventos sísmicos locales ubican el método de Coda Q como el más apropiado debido a su simplicidad y fácil

aplicación.

La necesidad de un método práctico para el tratamiento de las ondas sísmicas en un medio heterogéneo aumenta el interés en las ondas dispersadas formadas por la superposición de las ondas generadas debido a la interacción entre los dispersores (inhomogeneidades) y las ondas de volumen (Aki y Chouet, 1975). Para este modelo, el espectro de energía de las ondas de coda para una frecuencia  $f$  y un lapso temporal  $t$  medido a partir del origen del evento, puede expresarse como:

$$P(f, t) = S(f)C(f, t) \quad (1)$$

donde  $S(f)$  incluye solamente los parámetros de la fuente y  $C(f, t)$  es el efecto del área geográfica. Este modelo considera que las ondas de coda no están relacionadas con la naturaleza de la trayectoria directa; o sea, que el contenido espectral y la amplitud de un evento local registrado en diferentes estaciones, es similar.

Los trabajos llevados a cabo por Aki y Chouet fueron modificados por H. Sato en 1977 incorporando al modelo la separación existente entre la fuente y la estación. Basándose en esto la ecuación (1) puede expresarse como:

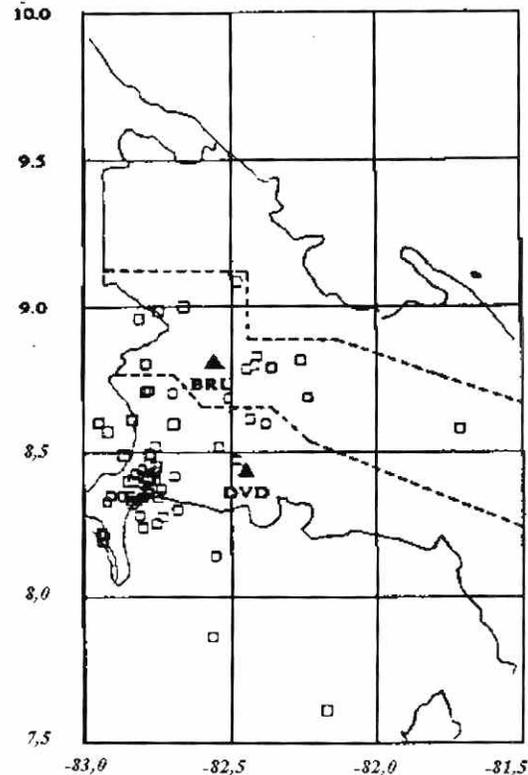
$$P(f, t, r) = S(f)t^{-\nu} \exp\left[-\frac{\pi ft}{Q}\right] k(r, \alpha) \quad (2)$$

En esta expresión,  $\nu$  es una constante que depende de la dispersión geométrica y este toma el valor de 1,0 si se consideran las ondas de volumen,  $Q$  es un parámetro que depende la frecuencia,  $k(r, \alpha)$  es una función que depende de la separación fuente-receptor y  $\alpha$ , un parámetro que está dado por  $\alpha = t/t_s$ , en donde  $t_s$  es el lapso temporal de las ondas S.

El decaimiento que sufre la amplitud de la onda sísmica cuando se propaga a través de un medio real puede expresarse a través del parámetro  $Q$  de la ecuación (2), el cual se conoce con el nombre de *factor de calidad específico*. El inverso de dicho parámetro adimensional representa la fricción interna, el cual corresponde a la fracción de energía

disipada durante la propagación de la onda sísmica a través del suelo:

$$Q^{-1} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta E}{E} \quad (3)$$



**FIGURA 3.** Distribución de los 64 eventos seleccionados para el estudio. Los triángulos indican la ubicación de las estaciones sísmológicas BRU y DVD.

Un análisis lineal de mínimos cuadrados para el logaritmo de la expresión (2), estima la mejor pendiente de una envolvente trazada mediante los valores de la amplitud positiva de un registro particular. Para promediar el valor de  $Q$ , se procede en realizar una inversión de todo el conjunto de datos de manera simultánea para una frecuencia particular:

$$\ln\left[\frac{p(f, t, r)}{k(r, \alpha)}\right] + \nu \ln t = \ln[S(f)] - \frac{\pi ft}{Q} \quad (4)$$

Para los sismogramas de filtrado pasabanda estrecha,  $S(f)$  corresponde a una

constante y mediante una regresión lineal del término izquierdo de (4) versus  $t$ ,  $Q$  puede ser

determinado a partir de la pendiente, el cual es igual a  $-\pi ft/Q$ .

**TABLA 1**  
**Localización hipocentral de los eventos de la Zona Central**

Evento	Fecha (año/mes/día)	Origen (hora/min/seg.)	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Profundidad H(Km.)	Magnitud (M <sub>s</sub> )
1A	95/03/11	02/02/55	8,79	-82,45	6,9	3,3
2A	95/03/12	01/25/15	8,69	-82,51	24,7	3,2
3A	95/03/16	05/04/12	8,83	-82,41	2,9	3,1
4A	95/03/17	07/17/27	8,69	-82,24	24,7	3,0
5A	95/03/20	08/53/31	8,80	-82,79	13,6	3,5
6A	95/03/21	16/31/21	9,08	-82,48	13,2	3,8
7A	95/03/26	15/47/24	8,58	-81,71	15,0	3,4
8A	95/04/04	14/29/55	8,80	-82,42	17,4	3,2
9A	95/04/21	12/45/28	8,98	-82,74	9,8	3,7
10A	95/04/28	13/05/19	9,00	-82,66	15,8	3,8
11A	95/05/08	08/50/58	8,81	-82,26	17,9	3,5
12A	95/05/12	09/52/59	8,79	-82,36	47,9	3,3
13A	95/05/25	02/53/22	8,96	-82,81	30,0	3,4

**Leyenda:** Tabla de los trece (13) eventos seleccionados en la Zona Central de la sección Occidental de la provincia de Chiriquí; en el mismo se especifican la posición geográfica de cada evento, la profundidad y su magnitud.

**TABLA 2**  
**Localización hipocentral de los eventos de la Zona del Pacífico**

Evento	Fecha (año/mes/día)	Origen (hora/min/seg)	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Profundidad H (km)	Magnitud (M <sub>s</sub> )
1B	95/03/01	05/52/37	8,70	-82,70	26,5	3,1
2B	95/03/01	19/32/45	8,60	-82,38	15,0	3,3
3B	95/03/05	03/03/28	8,37	-82,80	20,0	3,2
4B	95/03/09	08/51/20	8,41	-82,78	14,4	3,7
5B	95/03/11	07/31/55	7,86	-82,57	20,2	3,3
6B	95/03/11	13/19/09	8,41	-82,77	17,8	3,2
7B	95/03/12	07/14/42	8,34	-81,84	30,1	3,4
8B	95/03/25	00/18/43	8,60	-82,70	10,2	3,9
9B	95/03/27	09/13/45	8,52	-82,76	15,0	3,5
10B	95/03/28	08/44/26	8,21	-82,93	32,2	3,4
11B	95/03/29	04/32/02	8,28	-82,73	50,9	3,4
12B	95/04/02	07/08/19	8,71	-82,79	16,9	3,4
13B	95/04/04	15/14/43	8,35	-82,75	8,7	3,7
14B	95/04/06	11/05/39	8,38	-82,74	15,0	3,4
15B	95/04/08	07/45/34	8,48	-82,48	15,1	3,0
16B	95/04/10	22/37/44	8,43	-82,82	11,5	3,5
17B	95/04/11	02/26/09	8,61	-81,83	0,1	3,9
18B	95/04/13	15/59/45	8,40	-82,75	36,0	3,1
19B	95/04/13	17/26/13	8,35	-82,84	22,0	3,4
20B	95/04/14	06/17/54	8,50	-82,77	34,2	3,3

**TABLA 2**  
**Localización hipocentral de los eventos de la Zona del Pacífico (continuación)**

Evento	Fecha (año/mes/día)	Origen (hora/min/seg)	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Profundidad H (km)	Magnitud (M <sub>s</sub> )
21B	95/04/14	18/05/16	8,42	-82,69	18,2	3,2
22B	95/04/15	07/23/32	8,57	-82,92	0,1	3,9
23B	95/04/16	17/22/47	8,41	-82,78	17,5	3,5
24B	95/04/20	00/59/57	8,28	-82,81	37,6	3,4
25B	95/04/20	01/12/27	8,24	-81,80	36,8	3,5
26B	95/04/22	11/52/44	8,71	-82,78	57,8	3,3
27B	95/04/22	14/26/33	8,60	-82,95	17,8	3,5
28B	95/04/23	04/59/43	8,25	-82,75	27,8	3,4
29B	95/04/28	11/25/07	8,61	-82,44	5,4	3,4
30B	95/05/01	02/20/34	8,40	-82,83	21,2	3,6
31B	95/05/01	12/45/20	8,34	-82,82	30,0	3,4
32B	95/05/07	22/29/31	8,44	-82,80	18,3	3,2
33B	95/05/08	15/07/19	8,46	-82,78	10,1	3,7
34B	95/05/17	03/25/37	8,36	-82,78	17,8	3,5
35B	95/05/21	08/53/24	8,14	-82,56	50,4	3,3
36B	95/05/21	15/52/14	8,52	-82,54	21,0	3,3
37B	95/05/23	16/29/43	8,36	-82,79	30,0	3,3
38B	95/05/25	17/21/02	8,30	-82,68	31,7	3,5
39B	95/05/26	08/38/31	8,33	-82,92	2,6	3,1
40B	95/05/26	09/19/29	8,42	-82,80	9,2	3,8
41B	95/05/26	10/28/09	7,61	-82,18	92,5	4,0
42B	95/05/28	12/28/02	8,35	-82,91	24,0	3,3
43B	95/05/30	03/45/02	8,35	-82,80	31,1	3,2
44B	95/06/09	09/25/19	8,22	-82,94	57,2	3,4
45B	95/06/10	05/31/32	8,19	-82,94	26,8	3,3
46B	95/06/10	05/47/52	8,35	-82,87	7,1	3,3
47B	95/06/10	10/38/42	8,49	-82,86	4,4	4,2
48B	95/06/10	21/10/12	8,44	-82,76	7,9	3,4
49B	95/06/12	03/18/43	8,45	-82,76	9,8	3,8
50B	95/06/20	01/48/25	8,40	-82,85	8,8	4,0
51B	95/06/29	00/30/10	8,32	-82,83	15,1	3,6

**LEYENDA:** Tabla de los cincuenta y un (51) eventos seleccionados en la Zona del Pacífico de la sección occidental de la provincia de Chiriquí; en el mismo se especifican la posición geográfica de cada evento, la profundidad y su magnitud.

## Características Espectrales

El estudio de la física de los procesos que tienen lugar en el foco de los terremotos y la identificación de las fallas activas existentes en el terreno ha motivado a los investigadores a abandonar la imagen simplista del foco como un punto del que parten las ondas sísmicas. En lugar de esto, se han empleado modelos basados en los complejos procesos dinámicos que se producen en una fractura de ciertas dimensiones.

El modelo de Brune (1970) considera una falla circular con cierto radio, tomando en cuenta la magnitud del evento ( $m_b < 5$ ).

Las formas de onda están basadas en el movimiento de un campo debido a las ondas de volumen, y es que el arribo de dichas ondas ofrece información valiosa sobre la fuente sísmica debido a la falta de distorsión que estos poseen, producto de la propagación de las mismas. Estas formas de onda pueden representarse como:

$$\Omega_c(x, t) = \iint_{\Sigma} \Delta u(\xi, t - T_o(x, \xi)) d\Sigma \quad (5)$$

donde  $\Sigma$  es el área de ruptura,  $T_o(x, \xi)$  es un intervalo temporal de las ondas de volumen desde un punto  $\xi$  específico en  $\Sigma$  al receptor dado en un punto  $x$ .  $\Delta u$  corresponde al desplazamiento del campo y  $\Delta u'$ , la variación relativa de la velocidad.

Una transformación de Fourier para las formas de onda permitirán trabajar las mismas en el dominio frecuencial, y es en este dominio donde los sismogramas pueden proveer una valiosa información sobre las características sísmicas. Al aplicar la transformada de Fourier a la expresión 5, obtendremos un espectro de desplazamiento, cuyo valor para la frecuencia cero dará:

$$\frac{d|\Omega_c(0)|}{df} = 0 \quad (6)$$

Este resultado indica que el espectro de desplazamiento tendrá una meseta para la frecuencia cero en la banda de bajas frecuencias.

Por otro lado, las propiedades espectrales de  $\Omega_c(f)$  están determinadas por las singularidades de la función temporal  $\Omega_c(t)$ . Una discontinuidad de esta última función produce un decaimiento espectral de tipo  $f^{-1}$ . Dicha propiedad resulta de la aplicación de la Transformada de Fourier.

La frecuencia de esquina ( $f_R$ ) está definida en la intersección de las asíntotas de la meseta y el decaimiento espectral. En estos modelos sobre fuentes sísmicas circulantes, dicha frecuencia  $f_R$  y el radio de la fuente  $R$  están relacionados de acuerdo a:

$$f_R = \frac{0,35\beta}{R} \quad (7)$$

donde  $\beta$  es la velocidad de las ondas de volumen.

La Caída de esfuerzo ( $\Delta\sigma$ ) se calcula mediante:

$$\Delta\sigma = \frac{0,44 M_0}{R^3} \quad (8)$$

en donde  $M_0$ , corresponde al Momento Sísmico y la Magnitud Momento ( $M_w$ ), esta dada por:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10,73 \quad (9)$$

## PROCESAMIENTO DE LOS EVENTOS SÍSMICOS

SEISAN constituye un complejo paquete de programas, los cuales están escritos en lenguaje Fortran y C; es una base de datos destinada a analizar las fases de los eventos sísmicos a partir de datos analógicos o digitales. El sistema es capaz de localizar, editar y determinar parámetros espectrales (acimuts, momentos sísmicos y arribos desde un mínimo de tres estaciones) de los eventos sísmológicos.

### Estimación de los valores de Coda Q

El programa utilizado para llevar a cabo los cálculos del factor de calidad específico, emplea el Modelo de Dispersión Simple (Aki & Chouet, 1975). Cuando se tiene una cierta cantidad de curvas de decaimiento para una misma región, entonces todos los datos pueden someterse a una inversión de manera simultánea para obtener el valor de  $Q$  para una frecuencia dada. Con los eventos registrados por BRU, los cuales han tenido lugar en la Zona Central, se podrá encontrar el valor de Coda  $Q_o$ . Lo mismo para aquellos eventos registrados por la estación DVD que han ocurrido en la Zona el Pacifico. En el programa se han introducido ciertos parámetros como la longitud de la ventana coda, el parámetro de dispersión geométrica (ec. 2), el número de frecuencias a utilizar y algunos otros que se especifican en la figura 4. Las frecuencias empleadas para el estudio fueron de 1,0; 2,0; 3,0; 4,5; 6,0 y 9,0. Debido a que se tiene un conjunto de eventos sísmológicos para cada zona, el programa calcula el valor de  $Q_o$ , para cada una de las frecuencias dadas; luego dicho

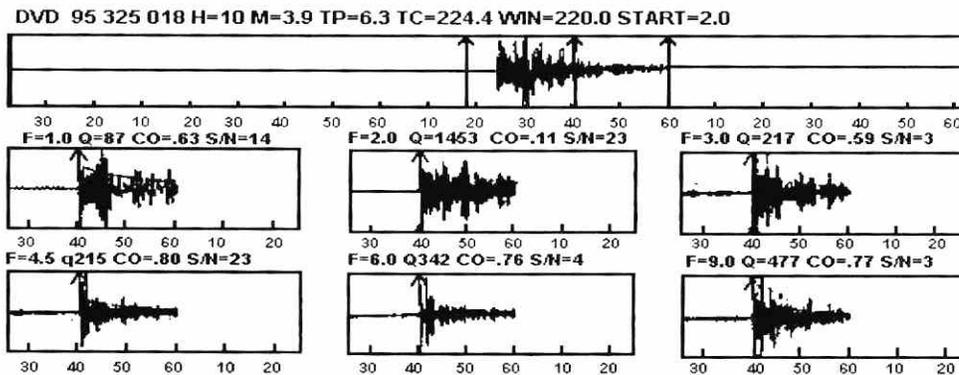
programa se encarga de promediar las  $Q_o$  obteniéndose una dependencia del mismo con la frecuencia. La figura 4 ilustra un empleo de la traza de un evento registrado por la estación DVD, en ella también se observa un ajuste para cada segmento filtrado (curva de decaimiento).

En la tabla 3 se encuentran especificados los resultados de coda  $Q_o$  para cada zona de estudio.

**Tabla 3**  
Valor de Coda  $Q_o$  para cada una de las zonas que conforman el occidente de Chiriquí

Zona de Estudio	Valor de $Q_o$	Valor de $\alpha$	No. de Valores $Q$ empleados
Central	$71 \pm 8$	$0,97 \pm 0,07$	38
Pacífico	$86 \pm 7$	$0,63 \pm 0,08$	40

En esta tabla se muestran los valores de Coda con sus respectiva dispersión, al igual que el parámetro  $\alpha$  para la expresión  $Q = Q_o f^\alpha$



**FIGURA 4.** Ejemplo de una traza filtrada para un evento ocurrido el 25 de marzo de 1995; las tres líneas verticales indican ( desde la izquierda) el tiempo de origen del evento, el tiempo inicial absoluto y el final de la ventana coda. En la parte superior de la traza se especifica el código de la estación, la identificación del evento, H que corresponde a la profundidad en km., Tc: inicio de la ventana coda medido a partir del origen del evento en segundos, START: inicio de la ventana coda en términos del tiempo de arribo de las ondas S en segundos, F: la frecuencia en Hz, CO: el coeficiente de correlación y S/N: la razón señal-ruido.

### Estimación de los parámetros de fuente

Para la obtención de los parámetros de fuente (momento sísmico, caída de esfuerzo,

frecuencia de esquina, radio de la fuente, distancia hipocentral y magnitud momento) mediante un análisis espectral, los eventos son analizados de manera individual. El espectro

de desplazamiento es obtenido a partir de la traza de un evento dado. La intersección de las asintotas que especifican la meseta (ec. 6) y el decaimiento espectral puede ser ubicada en el espectro de manera visual mediante la escogencia de tres puntos en dicho espectro. El momento sísmico  $M_0$  puede obtenerse a partir del valor de la meseta espectral ( $OM_0$ ):

$$M_0 = [4 * \pi * (\beta ** 3) * OM_0 * d] * k \quad (10)$$

$\beta$  corresponde a la velocidad de las ondas de volumen, de las distancia hipocentral y  $k$  un factor relacionado con el patrón de radiación.

Tal como se había mencionado anteriormente, con el valor de la frecuencia de esquina es posible obtener el radio de la fuente (ec. 7) y con este valor, la caída de esfuerzo (ec. 8) y la magnitud momento (ec. 9), pueden ser calculados. Los espectros de desplazamiento registrados en cada estación para un evento individual fueron analizados a fin de obtener un promedio para cada parámetro (tablas 4 y 5). En la figura 5 se ilustran algunos espectros de desplazamiento registrados en la Zona Central.

**TABLA 4**  
Promedios y dispersiones para los parámetros de fuente de la Zona Central

Evento	$\log M_0$ (Nm)	$\Delta\sigma$ (bar)	$f$ (Hz)	$R$ (km)	$M_w$	$D_H$ (km)
1A	12,40 ± 0,20	15,05 ± 0,35	13,55 ± 1,64	0,09 ± 0,01	2,2 ± 0,1	143
2A	12,05 ± 0,35	4,20 ± 0,50	11,39 ± 0,85	0,11 ± 0,01	1,9 ± 0,2	37
3A	12,10 ± 0,30	5,15 ± 2,15	11,39 ± 0,84	0,11 ± 0,01	2,0 ± 0,2	33
4A	12,1	1,3	7,69	0,16	2,0	45
5A	12,45 ± 0,05	13,45 ± 2,65	12,33 ± 0,43,	0,10	2,3 ± 0,1	28
6A	12,95 ± 0,15	35,05 ± 0,75	11,72 ± 1,04	0,10 ± 0,01	2,6 ± 0,1	34
7A	12,80 ± 0,40	15,20 ± 3,80	10,10 ± 2,30	0,13 ± 0,03	2,5 ± 0,3	98
8A	12,2	6,15 ± 0,45	12,08 ± 0,16	0,1	2,1 ± 0,1	23
9A	12,80 ± 0,10	21,8 ± 0,50	11,01 ± 0,90	0,11 ± 0,01	2,5 ± 0,1	29
IOA	13,15 ± 0,25	3,35 ± 2,55	4,17 ± 0,59	0,30 ± 0,04	2,7 ± 0,2	28
11A	11,75 ± 0,05	2,10 ± 0,70	11,75 ± 0,77	0,11 ± 0,01	1,8 ± 0,1	37
12A	12,6	14,20 ± 0,50	11,37 ± 0,07	0,11	2,4 ± 0,1	52
13A	13,15 ± 0,35	5,05 ± 0,05	5,43 ± 1,27	0,23 ± 0,05	2,7 ± 0,2	43

**Leyenda:** Los valores para la distancia hipocentral ( $D_H$ ) corresponden a la distancia entre el foco del evento sísmico y la estación sismológica de BRU.

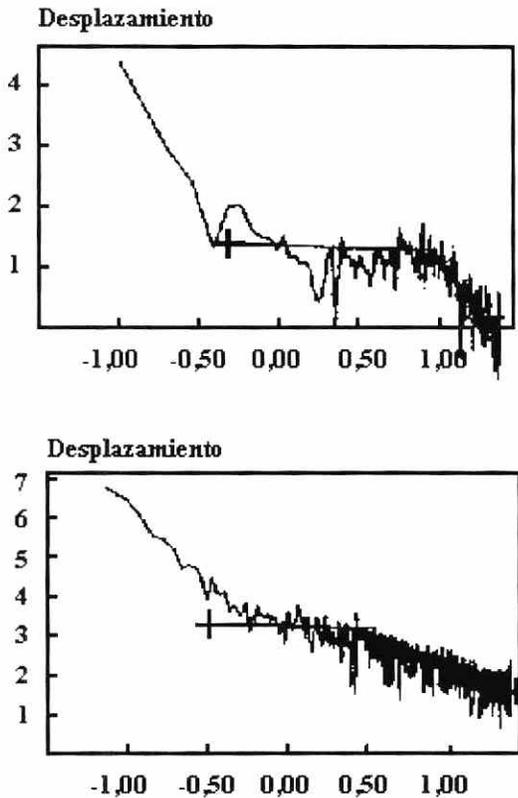
**TABLA 5**  
Promedios y dispersiones para los parámetros de fuente de la Zona del Pacífico.

Evento	$\log M_0$ (Nm)	$\Delta\sigma$ (bar)	$f$ (Hz)	$R$ (km)	$M_w$	$D_H$ (km)
IB	12,00 ± 0,10	3,70 ± 0,20	11,39 ± 0,85	0,11 ± 0,01	1,9 ± 0,1	47
2B	12,45 ± 0,15	8,60 ± 0,80	10,10 ± 0,80	0,11 ± 0,01	2,3 ± 0,1	25
3B	12,55 ± 0,15	14,00 ± 4,00	11,60 ± 0,15	0,10 ± 0,01	2,3 ± 0,1	44
4B	12,65 ± 0,50	2,10 ± 7,40	12,42 ± 0,83	0,10 ± 0,01	2,4 ± 0,1	38
5B	13,00 ± 0,20	21,95 ± 0,50	9,95 ± 1,48	0,2 ± 0,02	2,6 ± 0,1	68
6B	12,40 ± 0,20	7,95 ± 2,75	10,61 ± 0,07	0,11 ± 0,01	2,2 ± 0,1	39
7B	12,05 ± 0,25	4,90 ± 2,50	11,51 ± 0,08	0,11	1,9 ± 0,2	53
8B	13,05 ± 0,05	18,35 ± 7,55	8,62 ± 0,82	0,15 ± 0,01	2,7 ± 0,1	33

TABLA 5, Promedios y dispersiones para los parámetros de fuente de la Zona del Pacífico (contin.).

Evento	$\log M_0$ (Nm)	$\Delta\sigma$ (bar)	$f$ (Hz)	$R$ (km)	$M_W$	$D_H$ (km)
9B	12,65 ± 0,25	8,25 ± 1,35	9,42 ± 1,40	0,13 ± 0,02	2,3 ± 0,2	38
10B	12,60 ± 0,20	5,00 ± 2,90	7,44 ± 0,35	0,16 ± 0,01	2,4 ± 0,2	67
11B	12,45 ± 0,05	15,00 ± 3,90	12,98 ± 1,70	0,09 ± 0,01	2,3 ± 0,1	50
12B	11,65 ± 0,25	1,15 ± 0,25	10,30 ± 1,29	0,12 ± 0,01	1,7 ± 0,2	35
13B	13,15 ± 0,25	13,85 ± 1,15	7,46 ± 0,03	0,18 ± 0,03	2,7 ± 0,1	35
14B	12,20 ± 0,20	4,80 ± 1,20	10,39 ± 0,53	0,11 ± 0,01	2,1 ± 0,1	35
15B	11,60 ± 0,30	1,35 ± 0,05	11,60 ± 2,59	0,11 ± 0,02	1,7 ± 0,2	16
16B	13,00	6,75 ± 2,25	6,41 ± 0,87	0,19 ± 0,02	2,6	42
17B	13,20	8,60 ± 0,20	6,14 ± 0,04	0,20	2,7	46
18B	12,90 ± 0,30	4,45 ± 0,95	6,19 ± 1,08	0,20 ± 0,03	2,4 ± 0,1	46
19B	12,50 ± 0,20	9,85 ± 1,95	11,24 ± 0,99	0,11 ± 0,01	2,3 ± 0,2	49
20B	12,35 ± 0,15	2,65 ± 0,25	7,89 ± 0,90	0,16 ± 0,02	2,2 ± 0,1	49
21B	12,15 ± 0,15	5,25 ± 0,25	11,53 ± 0,85	0,10 ± 0,01	2,1 ± 0,1	32
22B	13,20 ± 0,19	2,90 ± 1,20	4,13 ± 0,03	0,29 ± 0,01	2,7 ± 0,1	54
23B	12,75 ± 0,05	8,60 ± 0,40	8,41 ± 0,28	0,11 ± 0,01	2,5 ± 0,1	40
24B	12,80 ± 0,20	6,40 ± 0,20	7,52 ± 1,17	0,16 ± 0,02	2,5 ± 0,1	57
25B	12,55 ± 0,25	5,05 ± 0,95	8,78 ± 2,34	0,15 ± 0,04	2,3 ± 0,2	57
26B	12,65 ± 0,25	8,30 ± 0,30	9,46 ± 1,97	0,13 ± 0,02	2,4 ± 0,2	74
27B	12,95 ± 0,25	18,65 ± 2,15	9,80 ± 1,33	0,12 ± 0,01	2,6 ± 0,2	60
28B	12,60 ± 0,30	3,65 ± 1,05	7,23 ± 0,79	0,17 ± 0,02	2,4 ± 0,2	47
29B	12,55 ± 0,15	16,30 ± 0,70	12,61 ± 1,62	0,10 ± 0,01	2,3 ± 0,1	20
30B	12,50 ± 0,20	4,45 ± 0,45	8,54 ± 1,16	0,15 ± 0,02	2,3 ± 0,2	47
31B	12,30 ± 0,20	4,45 ± 0,15	9,89 ± 1,54	0,13 ± 0,02	2,2 ± 0,2	51
32B	12,10 ± 0,10	3,80 ± 0,10	10,77 ± 0,66	0,11 ± 0,01	2,1 ± 0,1	43
33B	13,00 ± 0,20	16,40 ± 1,10	8,60 ± 1,11	0,15 ± 0,01	2,7 ± 0,1	37
34B	12,80 ± 0,10	12,50 ± 0,30	9,34 ± 0,76	0,13 ± 0,01	2,5 ± 0,1	41
35B	12,65 ± 0,25	6,90 ± 0,90	7,09 ± 0,29	0,17 ± 0,01	2,4 ± 0,2	61
36B	12,45 ± 0,05	5,60 ± 0,60	9,57 ± 0,13	0,13	2,2	25
37B	12,45 ± 0,15	8,75 ± 0,65	10,85 ± 0,74	0,11 ± 0,01	2,3 ± 0,1	48
38B	12,45 ± 0,25	11,90 ± 1,30	12,13 ± 1,74	0,11 ± 0,01	2,3 ± 0,1	43
39B	11,95 ± 0,25	2,60 ± 0,90	10,26 ± 0,40	0,11 ± 0,01	1,9 ± 0,2	53
40B	13,25 ± 0,05	12,55 ± 0,85	6,57 ± 0,13	0,19 ± 0,01	2,7 ± 0,1	39
41B	13,25 ± 0,05	18,55 ± 2,65	7,50 ± 0,51	0,16 ± 0,01	2,8	31
42B	11,70 ± 0,10	1,40	10,58 ± 0,47	0,11 ± 0,01	1,8 ± 0,1	56
43B	12,35 ± 0,05	2,10 ± 0,60	7,34 ± 0,35	0,17 ± 0,01	2,2 ± 0,1	49
44B	12,70 ± 0,10	9,40 ± 0,60	9,30 ± 0,40	0,13 ± 0,01	2,4 ± 0,1	82
45B	12,45 ± 0,05	7,30 ± 1,10	10,25 ± 0,14	0,12	2,2 ± 0,1	67
46B	12,40	0,80 ± 0,10	5,05 ± 0,35	0,24 ± 0,01	2,2	47
47B	14,00 ± 0,20	13,65 ± 0,95	3,18 ± 0,06	0,38 ± 0,01	3,2 ± 0,1	47
48B	12,30 ± 0,10	7,75 ± 1,75	11,51 ± 0,23	0,10 ± 0,01	2,2 ± 0,1	34
49B	13,00 ± 0,10	27,90 ± 1,70	10,42 ± 0,85	0,12 ± 0,01	2,6 ± 0,1	35
50B	13,20	28,4	9,19	0,13	2,7	44
51B	12,90	3,90	5,77	0,21	2,6	46

**Leyenda:** Los valores para la distancia hipocentral ( $D_H$ ) corresponden a la distancia entre el foco del evento sísmico y la estación sismológica de DVD.



**FIGURA 5.** Espectros de amplitud de desplazamientos de las ondas de volumen ( ondas S) de dos eventos ocurridos en la Zona Central, registrados por la estación BRU. Estos corresponden a los eventos 4A y 8A.

## DISCUSIÓN

### Marco Geotectónico y Sismicidad

El marco geotectónico analizado al inicio de este artículo (para cada zona de estudio), demuestra la existencia de una gran variabilidad de material sedimentario en la Zona del Pacífico, más aun, en la región que comprende a Punta Burica mientras que en la Zona Central abunda el material Volcánico, es decir, que esta zona se caracteriza por poseer estructuras geológicas compactas. Por otro lado, la Zona del Pacífico muestra una zona fallamiento muy marcada en comparación con la Zona Central (fig. 2); la Zona del Pacífico se encuentra influenciada por algunas regiones sismogénicas como lo son el Cinturón

Deformado del Sur de Panamá, el Sistema de Fractura de Panamá y el Golfo de Chiriquí, lo que la convierte en una zona con una alta actividad sísmica (tablas 1 y 2).

### Los resultados de Coda $Q$

Los resultados de atenuación anelástica para la Zona Central y del Pacífico (tabla 3) mostraron valores del factor de calidad diferentes;  $Q_0$  de 71 para la primera zona y 86 para la segunda, respectivamente. Como el valor de dicho factor está relacionado con la geología del medio en donde se propagan las ondas sísmicas, para diferentes valores de  $Q_0$ , se espera entonces una variabilidad en la geología del lugar. La región suroccidental de Panamá presenta una variada distribución de estructuras geológicas (tal como se mencionó en el punto anterior), y por tal razón, es de esperarse valores de atenuación anelástica diferentes.

Por otro lado, la atenuación anelástica que experimentan las ondas sísmicas en una región es inversamente proporcional al valor del factor de calidad  $Q_0$  (ec. 3), con esto presente, se deduce que las ondas sísmicas de los eventos ocurridos en la Zona Central ( $Q_0 = 71$ ) experimentarán una atenuación mayor en comparación con los eventos ocurridos en la Zona del Pacífico ( $Q_0 = 86$ ).

### La frecuencia de esquina $f_R$ .

Para investigar la variación de la frecuencia de esquina observada con la distancia hipocentral en el presente estudio, se graficaron los valores promedios de dichos parámetros que aparecen especificados en la tabla 4 para la Zona Central, 5 para la Zona del Pacífico. La figura 6 muestra una regresión simple de  $f_R$  y  $D_H$  la cual fue llevada a cabo para las dos zonas, obteniéndose para la Zona Central:

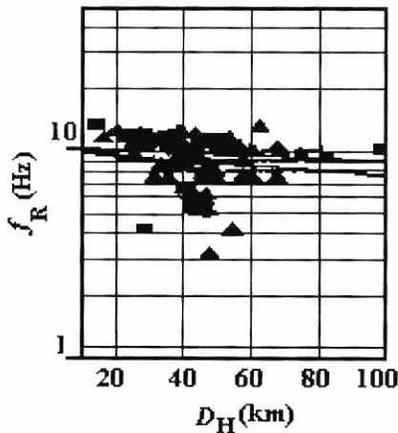
$$\log(f_R) = 1,02 - 0,00073D_H \quad (11)$$

y para la Zona del Pacífico:

$$\log(f_r) = 1,01 - 0,0013D_H \quad (12)$$

Estos resultados revelan que no existe una dependencia muy significativa entre dichos parámetros. Los resultados analizados demuestran que los eventos con magnitudes mayores poseen valores bajos para la frecuencia de esquina; esta característica se observe para ambas zonas de estudios. La relación entre el momento sísmico y la frecuencia de esquina se ilustra en la figura 7, las líneas paralelas representan la relación lineal entre el logaritmo de ambas variables, para valores de caída de esfuerzo ( $\Delta\sigma$ ) constantes de 35,1; 5,25 y 0,80 bar respectivamente. En este gráfico se observa, de manera general, una gran cantidad de eventos con caída de esfuerzo que sobrepasan los 5,25 bar, esto es, el 60,9% del total de eventos seleccionados para el estudio.

**Frecuencia de Esq. vs Distancia hipoc.**



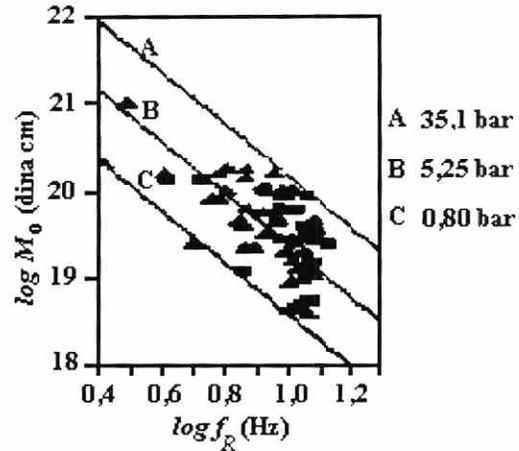
**Figura 6.** Frecuencia de esquina observada versus la distancia hipocentral para la Zona Central (cuadros) y la Zona del Pacífico (triángulos)

### Las dimensiones de la fuente

El valor del nivel espectral obtenido para cada evento es introducido en el modelo de Brune de Falla Circular para dar un estimado del radio  $R$  de la fuente (ec. 7). La figura 8 muestra la relación que existe entre el momento sísmico y el radio de la fuente; las líneas paralelas representan la relación lineal

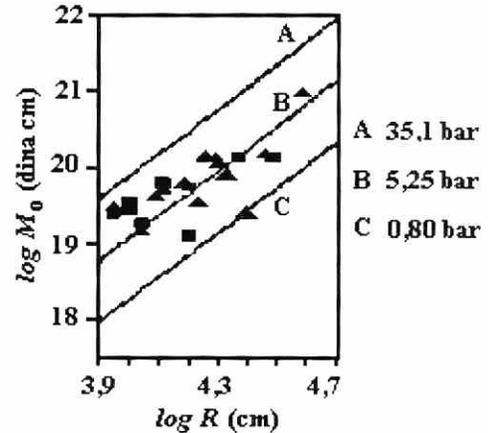
que hay entre el logaritmo de  $M$ , y el logaritmo de  $R$  con los valores constantes de 35,1; 5,25 y 0,80 bar.

**Momento sísm. vs Frec. de esquina**



**Figura 7.** Relación entre el momento sísmico y la frecuencia de esquina para la región occidental de Chiriquí. Las líneas paralelas corresponden a valores constantes de caída de esfuerzo de 35,1; 5,25 y 0,80 bar. Los cuadros representan los datos para la Zona Central y los triángulos, para la Zona del Pacífico.

**Momento sísm. vs Radio de la fuente**



**Figura 8.** Relación entre el momento sísmico y la dimensión de la fuente para la región occidental de Chiriquí. Al igual que el gráfico anterior, las líneas paralelas corresponden a valores constantes de caída de esfuerzo de 35,1; 5,25 y 0,80 bar. Para los triángulos: Zona de Pacífico y para los cuadros: Zona Central.

Estos resultados muestran un aumento en el momento sísmico con el incremento de la dimensión del radio de la fuente. En la Zona Central existen eventos sísmológicos con dimensiones del radio que van desde los 0,09 hasta los 0,30 km, y en la Zona del Pacífico, eventos con dimensiones del radio que van desde los 0,10 hasta los 0,38 km; de manera general, existe una gran cantidad de eventos con valores de los radios mayores a los 0,20 km en comparación con la Zona Central, esto indica que los eventos más grandes se registraron en la Zona del Pacífico.

Con relación al momento sísmico ( $M_0$ ), los eventos ocurridos en la Zona Central, para el intervalo temporal establecido, presentaron un rango menor en comparación con los eventos ocurridos en la Zona del Pacífico. El rango de este perímetro para la Zona Central está entre los  $5,62 \times 10^{11}$  y  $1,41 \times 10^{14}$  dina cm, mientras que para la Zona del Pacífico, el rango está dado entre los  $3,98 \times 10^{11}$  hasta  $1,0 \times 10^{14}$  dina cm, lo que demuestra que la tasa de ocurrencia de eventos grandes en la Zona del Pacífico es mayor que la tasa de la Zona Central.

## CONCLUSIONES

1. La alta actividad sísmica que presenta la Zona del Pacífico está relacionada con la geología y tectónica de la misma, ya que en ella encontramos material sedimentario (arenisca, arcilla, limonita, etc) y una gran influencia por parte de las fuentes sísmicas presentes en dicha zona. En la Zona Central, la tasa de actividad sísmica es pequeña de acuerdo al estudio de Sismicidad llevado a cabo en el intervalo temporal establecido, ya que las estructuras geológicas volcánica (rocas compactas) son las más predominantes; este hecho permite catalogar a la Zona del Pacífico como una zona de alto riesgo sísmico. Este estudio corrobora los trabajos de Tapia (1996) sobre zonificación realizada en la provincia de Chiriquí.

2. La diferencia que existe entre los valores de coda  $Q_0$ , para cada una de las zonas de estudio se debe a la variabilidad geológica que existe en toda la región. Por otra parte, la Zona del Pacífico representa una región de alto riesgo sísmico debido a que el grado de disipación de energía de las ondas sísmicas (atenuación anelástica) es menor en comparación con el de la Zona Central. Todo esto corrobora lo anteriormente expuesto y los resultados de amenaza sísmica que presenta esta zona de estudio. (Camacho et al, 1994; NORSAR 1994).
3. El estudio llevado a cabo sobre características espectrales de los eventos sísmicos ocurridos en el occidente de Chiriquí, demuestra que en la Zona del Pacífico existe un elevado número de eventos con dimensiones de ruptura y rangos de momento sísmico elevados en comparación con los de la Zona Central. Los eventos de la Zona del Pacífico sobrepasan las dimensiones de ruptura de 0,30 km., el cual corresponde al valor límite registrado en la Zona Central, lo que también permite catalogar a esta última como un zona de eventos pequeños (riesgo sísmico bajo) y a la Zona del Pacífico como una zona de amenaza muy elevada.

## BIBLIOGRAFÍA:

1. AKI, K. 1969. Analysis of the Seismic Coda of Local Earthquakes as Scattered Waves. *J. Geophys. Res.*, 74 (2), 615 - 631.
2. AKI, K. 1982. Scattering and Attenuation. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72 (6), 319 - 330.
3. AKI, K y CHOUET, B. 1975. Origin of Coda Waves: Source Attenuation and Scattering Effect. *J. Geophys. Res.*, 80 (1), 3322 - 3342.
4. AMBEH, W.B. y LYNCH, L.L. 1993. Coda Q in the Eastern Caribbean, West Indies. *Geophys. J. Int.*, 112, 507 - 516.

5. ARANDA, C. 1995. Apuntes de Sismometría, Instituto de Física de la Tierra Sólida, Universidad de Bergen. Noruega.
6. BOATWRIGHT, J. 1980. A Spectral Theory for Seismic Sources; simple estimates of Source Dimension, Dinamic Stress Drop, and Radiated Seismic Energy, *Bull. Seism. Soc. Am*, 70 (1), 1 - 27,
7. BRUNE, J.N. 1970. Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.* 75, 4997 - 5009.
8. CAMACHO, E. 1987. Cálculo de Magnitud por Duración en UPA: MD (UPA). Instituto de Geociencias, Univesidad de Panamá, Informe Interno, 42 pág.
9. CAMACHO, E. 1993. La Amenaza de Terremotos en Panamá Revista Universidad, IV Epoca, No. 49. pág. 285 - 303.
10. CAMACHO, E. 1993. Características del Peligro Sísmico en Chiriquí Occidente. *Salud Humana y Ambiental*, 1(3), 7 - 8.
11. CAMACHO, E. 1996. Earthquake Studies along the Costa Rica - Panama Border: Seismicity of the Caribbean - Coco - Nazca Triple Junction. Resultados no publicados.
12. CAMACHO, E. 1993. Estudio de las Réplicas del Terremoto del 22 de abril de 1991 en Bocas del Toro. Departamento de Física e Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá.
13. CAMACHO, E. La Red Sismológica de la Universidad de Panamá. Departamento de Física e Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá.
14. COHEN, L. 1995. Time Frecuency Analysis. Editorial Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.T. 297 pág.
15. COWAN. H., SÁNCHEZ, L., CAMACHO, E., PALACIOS, J.L., TAPIA, A., IRVING. D., ESQUIVEL, D. y LINDHOLM, C. 1995. Seismicity and Tectonics of Western Panama from New Portable Seismic Array Data. Resultados no publicados.
16. FLETCHER, J.B. 1995. Source Parameters and Crustal Q for Four Earthquakes in South Carolina. *Seimol. Res. Lett.* 66 (4), 44 - 57.
17. FLETCHER, J.B. y BOATWRIGHT, J. 1991. Source Parameters of Loma Prieta Aftershocks and Wave Propagation Characteristic along Tha San Francisco Peninsula from a Joint Inversion of Digital Seismograms. *Bull. Seism. Soc. Am*, 81 (5). 1783 - 1812.
18. FOWLER, C.M.R. 1990. The Solid Earth Canada: Cambridge Universitary Press.
19. FRANKEL, A. y WENNERBERG, L. 1987. Energy Flux Model of Seismic Coda: Separation of Scattering and Instrinsic Attenuation. *Bull. Seism. Soc. Am.* 77 (4), 1223 - 1251.
20. GONZÁLEZ, V. y PERSSON, L. 1994. Regional Coda Q in Costa Rica, Central America. *Tectonophysics* (en publicación).
21. HAVSKOV, J. y LINDHOLM, C. 1994. The SEISAN Earthquakes Analysis Software for IBM PC and SUN, Versión 4.0. Univ. Bergen, Nomay.
22. HAVSKOV, J., MALONE, S., McCLURG, D., y CROSSON, R- 1989. Coda Q for the State of Washington. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 79 (4), 1024 1038.
23. HELLWEG, M., SPUDICK P., FLETCHER, J.B. y BAKER, L.M. 1995. Stability of Coda Q in the region of Parkfield, California. *J. Geophys. Res.*, 100 (B2), 2089 - 2102.

24. HERRAIZ, M. y ESPINOSA, A.F. 1986. Scattering and Attenuation of High - Frequency Seismic Waves: Development of the Theory of Coda Waves. *U.S. Geol. Survey, Rep.* 86 - 455.
25. HUMPHREY, J.R. y ANDERSON, J.G. 1994. Seismic Source Parameters from the Guerrero Subduction Zone. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84 (6), 1754 - 1768.
26. KUCHANEK, O. 1994. Time Series Analysis, Seismological Department, Univ. Uppsala. 169 pág.
27. KVAMME, L.B. y HAVSKOV, J. 1989. Q in Southern Norway. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 79 (5), 1575 - 1588.
28. JANNAUD, L.R., ADLER, P.M. y JACQUIN, C.G. 1991. Spectral Analysis and Inversion of Coda. *J. Geophys. Res.*, 96 (B 1 1), 18215 - 1823 1.
29. LAY, T. y WALLACE, T. 1995. Modern Global Seismology. California, U.S.: Academic Press, Inc.
30. LEE, W.H.K., AKI, K., CHOUET, B., JOHNSON, S., MARKS, S., NEWBERRY, J.T., RYALL, A.S., STEWART, S.W. y TOTMGHAK D.M. 1986. A Preliminary Study of Coda Q in California and Nevada. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76 (4), 1143 - 1150.
31. LONGWELL, CH. y FLINT, R- 199 1. Geología Física. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.
32. MARTÍNEZ, E.G. 1994. Valor b y Coda Q para el Salvador utilizando datos disponibles recientes. Centro de Investigaciones Geotécnicas, El Salvador, C.4., Reporte No. I- 1 3.
33. MOORE, F. y SENDER, K.L. 1995. Fracture Zone Collision along The Southern Panama Margin. *Geol. Soc. Am.* 295, 201 - 212.
34. MONTERO, W., CAMACHO, E., ESPINOSA, A. y BOSCHIM, I. 1994. Sismicidad y Marco Neotectónico de Costa Rica y Panamá. *Rev. Geol. Amer. Central.* Vol. esp. 73 - 82.
35. RAURIAN, T. y KHAITURIN, V. 1978. The Use of the Coda for Determination of the Earthquake Source Spectrum. *Bull. Seism. Soc. Am.* 68, 923 - 948.
36. RICHARD, P. y MENKE, W. 1993. The Apparent Attenuation of a Scattering Medium. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 1005 - 1022.
37. RUSHAN, W. 1982. Attenuation of Short Period Seismic Waves due to Scattering. *Geophys. Res. Lett.*, 9 (1), 9 - 12.
38. SÁNCHEZ, L. y ATAKAN, K. 1994. Seismo Tectonics of the Azuero Peninsula, Panama. Univ. Bergen, Norway, Rep. I - 17.
39. SATO, H. y SCHERBAUM, F. 1991. Notas de la conferencia sobre el estudio de las envolventes de los sismogramas. Universidad Autónoma de México, México D.F.
40. SAUTER, F. 1989. Fundamentos de Ingeniería Sísmica - Introducción a la Sismología. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
41. SHANG, T. y GAO, L. 1988. Transportation Theory of Multiple Scattering and Its Application to Seismic Coda Waves of Impulsive Source. *Sci. Sinica Sele B.* 31, 1503 - 1514.
42. TAPIA, A. 1996. Zonificación Sísmica de la Región Occidental de la Provincia de Chiriquí. (Trabajo de graduación). Universidad de Panamá.
43. UDIAS, A. y MEZCUA, J. 1986. Fundamentos de Geofísica. España: Editorial Alhambra, S.A.

44. UDIAS, A., MUÑOZ, D. y BUFORN, E. 1985. Mecanismo de los Terremotos y Tectónica. España: Editorial de la Universidad Complutense de Madrid.
  
45. VERGARA, A. 1988. Tectonic Pattern of the Panama Block deduced from Seismicity, Gravitational data and Earthquake Mechanisms: Implications to the Seismic Hazard. *Tectonophysics.*, 154, 253 - 267.
  
46. WAHLSTROM, R. 1993. Comparison of dynamic source parameters for earthquakes in different tectonic regions of the northern Cascadia subduction zone. *Tectonophysics*, 217, 205 - 215.
  
47. WEYL, R- 1980. Geology of Central America. Alemania:Gebrüder Borntraeger Berfin - Stuttgart
  
48. ZAHRADNK J. 1994. Generation of Seismic Waves by Earthquakes Source. Seismological Department.

## RESULTADOS PRELIMINARES DEL MONITOREO DE LA RADIACIÓN UVB EN LA CIUDAD DE PANAMA

Por

Pino, Alfonso; Guerra, Sergio; Sanchez, Nestor; Maturell, Alvaro; \* Espinosa, Jorge.  
Departamento de Física

### RESUMEN:

Se presentan los resultados preliminares del monitoreo de la radiación UVB en la ciudad de Panamá, para el mes de julio de 1997. Mediante un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer, está siendo medida, a partir del 1 de julio, tanto la irradiancia UVB (280 a 315 nm) como la dosis biológicamente efectiva de la radiación UVB que se registra a nivel local. Los valores de irradiancia y de dosis, los cuales se encuentran biológicamente ponderados a través del Espectro de Acción de Eritema, se almacenan cada 5 min. en el registrador que se encuentra acoplado al detector. Los datos son enviados a una microcomputadora Packard Bell, de donde se bajan mediante un Programa de Comunicación. Las unidades de irradiancia y de dosis se encuentran expresadas en MED/h y MED (Minimun Erythema Dose), respectivamente. El MED se define como la dosis de radiación UVB capaz de causar un eritema mínimo en personas de piel blanca.

La curva de irradiancia UVB horaria media para el mes de julio es bastante simétrica, observándose un máximo a las 13:00 horas (hora local). Este máximo asciende a 3,0 MED/h, aproximadamente. Se observa, además, un rápido aumento de la irradiancia horaria media hasta alcanzar un valor máximo en horas del mediodía local. Este hecho es atribuible a la marcada dependencia existente tanto para la irradiancia como para la dosis con la altura solar. La curva de irradiancia horaria media para el mes de julio muestra una atenuación del 41% en los niveles que corresponden a un típico día claro. Por otro

lado, la curva de irradiancia horaria media para un día con cielo totalmente nublado (8 oktas) presenta una atenuación del 84% en los niveles de radiación UVB con respecto a los niveles característicos de un día claro. De lo anterior se desprende que, para nuestro clima, la nubosidad es un parámetro que incide de manera significativa en los niveles de dosis UVB.

\* Meteorólogo (Sección de Meteorología de la Comisión del Canal de Panamá)

### INTRODUCCIÓN:

El proceso de deterioro de la columna de ozono estratosférico causada fundamentalmente, por la actividad de los clorofluorocarbonos (CFC), ha generado un creciente interés a nivel mundial por el estudio y la caracterización de los niveles de radiación ultravioleta en diversas latitudes.

De acuerdo con la clasificación establecida por el congreso del Comité Internacional de Iluminación celebrado en el año 1932, la radiación ultravioleta suele subdividirse en 3 bandas de longitudes de onda: UV-C (200-280nm), UV-B (280-315nm) y UV-A (315-400nm). La radiación ultravioleta cuya longitud de onda es inferior a los 280 nm es absorbida completamente por cantidades relativamente pequeñas tanto de O<sub>3</sub> estratosférico como de O<sub>2</sub> atmosférico. Esto significa que sólo las bandas UV- B y UV- A tienen relevancia en lo concerniente a los fenómenos fotobiológicos. No obstante, de estas dos bandas, los efectos

más nocivos se manifiestan en el rango de la UV-B.

Se ha comprobado que la exposición a la radiación UV-B induce la formación de cánceres de piel (Madronich and De Grujil, 1994), así como también incide en otros fenómenos fotobiológicos tales como la interferencia en el mecanismo de fotosíntesis, daños en el DNA, etc.

A través del presente trabajo, el grupo de Física de la Atmósfera del Departamento de Física de la Universidad de Panamá presenta un resumen preliminar concerniente a los niveles tanto de irradiancia como de dosis de UV-B, monitoreados durante el mes de julio de 1997. Para llevar a cabo dicho monitoreo se está utilizando un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer manufacturado por la Solar Light Co.

## INSTRUMENTACIÓN Y MÉTODO

Para el estudio de la radiación ultravioleta B, está siendo utilizado un radiómetro de banda ancha, modelo 501 UV-Biometer, manufacturado por la Solar Light Co. El radiómetro en mención es una unidad en la que se integran un sensor para la detección de radiación UVB y un registrador de datos (data logger) que efectúa todas las funciones de control y almacenamiento de los datos. La señal del sensor es amplificada y convertida a frecuencia dentro del detector y luego, transmitida al registrador. La cubierta metálica del detector está herméticamente sellada y presurizada con un gas neutro para la protección adicional del sensor y los circuitos. El detector lleva acoplado un desecador que remueve la humedad residual y sirve como un

indicador de ésta. El sensor del detector consta de filtros de absorción, fósforo y un diodo de GaAsP. El conjunto de estos componentes suministra una respuesta espectral muy cercana a la del Espectro de Acción de Eritema. El detector del radiómetro fue instalado horizontalmente en la azotea del edificio donde se encuentra ubicado el Instituto de Geociencias cuyas coordenadas son  $8^{\circ} 58'$  de latitud norte,  $79^{\circ} 39'$  de longitud oeste y una elevación de **50 metros** sobre el nivel del mar. Las mediciones de irradiancia UVB se realizan de manera continua y los datos se almacenan

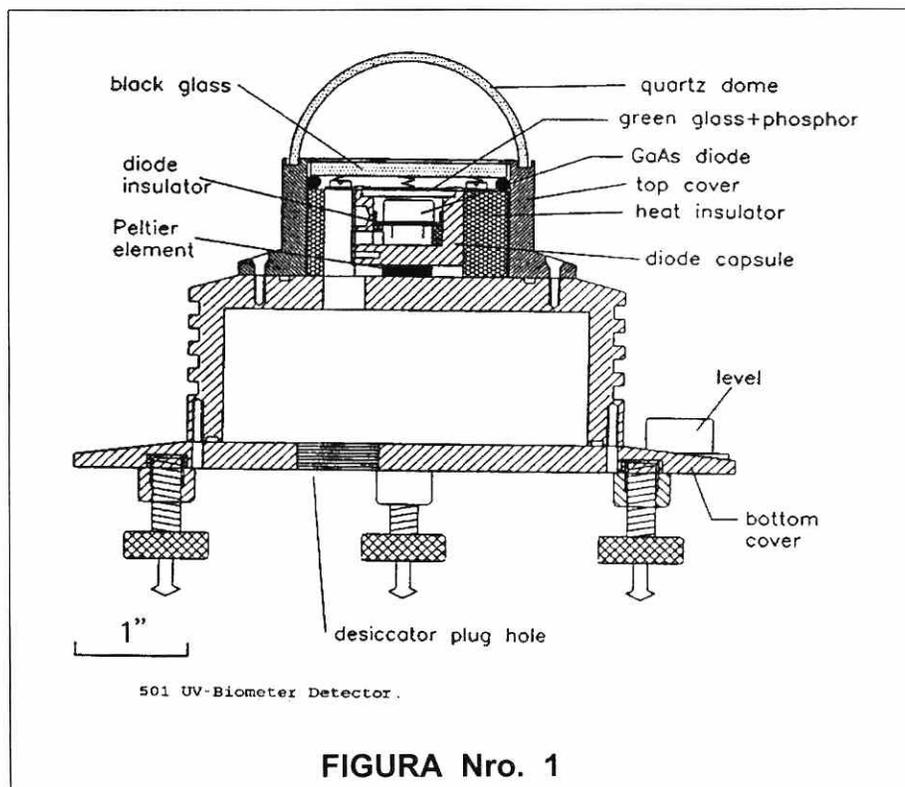


FIGURA Nro. 1

en el registrador, a intervalos de 5 minutos, entre las 6:00 AM y las 7:00 PM, todos los días. En la figura 1 se muestra el detector de la unidad.

Las lecturas de irradiancia UVB se dan en MED/Hr, en un rango entre 0 y 9.99 MED/Hr, con una resolución de 0.01 MED/Hr (Minimum Erythema Dose per Hour), en donde 1 MED se define como la **dosis de radiación UVB capaz de causar un eritema mínimo en personas de piel blanca** (Josefsson, 1996).

El equivalente de la unidad MED en el sistema internacional es el siguiente:

$$1 \text{ MED} = 210 \text{ J/m}^2$$

Los procesos fotobiológicos y fotoquímicos responden de manera distinta a diferentes zonas del espectro UV. La efectividad relativa de diferentes longitudes de onda debe ser conocida, con el objeto de cuantificar las respuestas biológicas y químicas a los cambios en la columna de ozono estratosférico. La irradiancia ultravioleta efectiva,  $E$ , o tasa de dosis (exposición), se encuentra dada por:

$$E = \int F(\lambda)B(\lambda)d\lambda$$

Donde  $B$  (es la función de ponderación, conocida también como espectro de acción para un efecto biológico o químico específico, y  $F$  (es la irradiancia espectral incidente sobre la superficie horizontal a nivel del mar (Madronich et al, 1994).

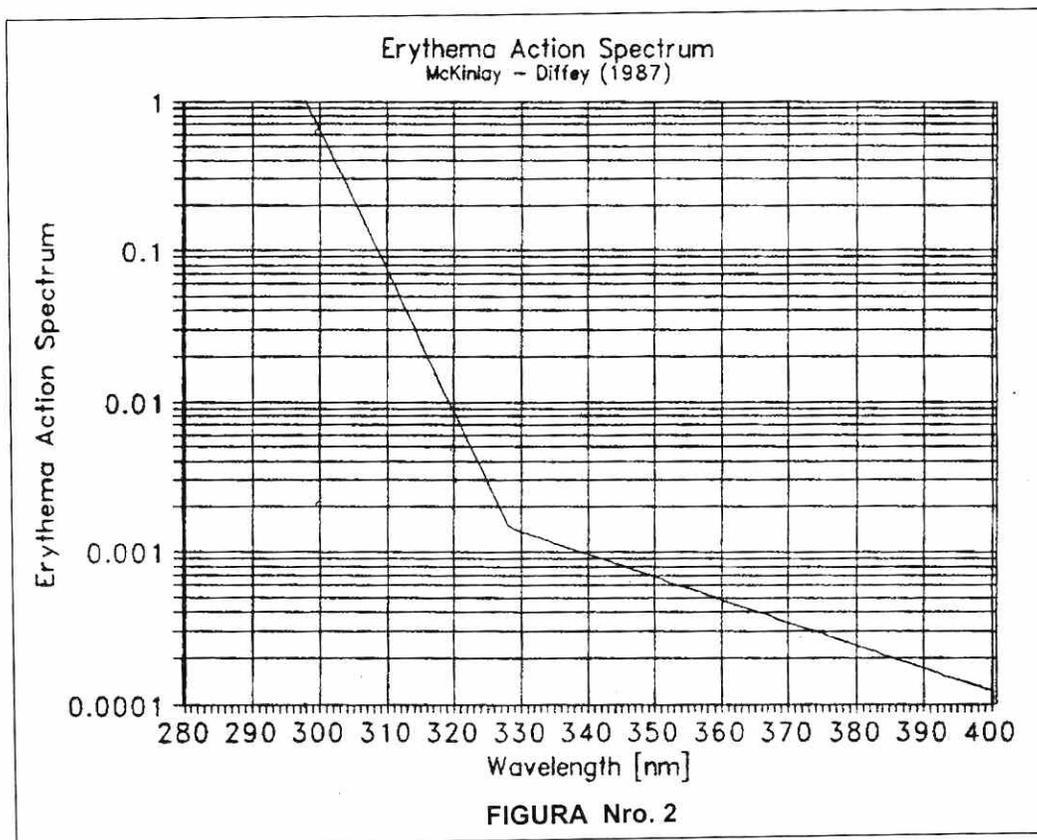
Por otro lado, la dosis UV biológica o químicamente ponderada se define como:

$$D = \int \int F(\lambda, t)B(\lambda)d\lambda dt$$

El Radiómetro 501 UV-Biometer es calibrado por el fabricante de modo tal que replique la respuesta eritémica de las personas de piel blanca. Para tal efecto, se ha recomendado internacionalmente que se utilice el **Espectro de Acción CIE**, también denominado **Espectro de Acción de Eritema** (McKinlay y Diffley, 1987).

En consecuencia, la integral de la multiplicación cruzada del flujo irradiante en  $\text{W/m}^2 \text{ nm}$  y el Espectro de Acción de Eritema corresponde a la potencia efectiva o irradiancia UVB biológicamente ponderada. En la figura 2 se presenta el **Espectro de Acción de Eritema** antes mencionado.

El registrador de datos del UV-Biometer tiene capacidad para almacenar lecturas hasta por 3.5 meses si estas lecturas se dan a intervalos de 30 minutos. También posee la capacidad para



conectarse a un computador personal mediante el puerto paralelo o el puerto serial (RS 232C), lo que permite transferir la data acumulada en el registrador de datos hacia un computador para ser procesada.

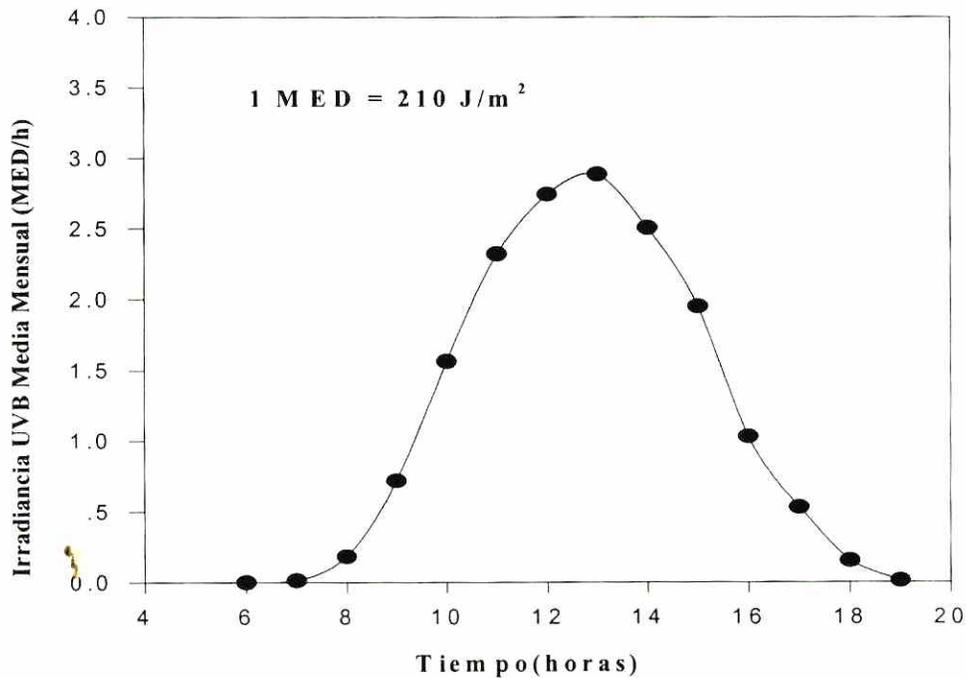
En la tabla No.1 que aparece a continuación, se presentan las especificaciones del detector del medidor de radiación ultravioleta B, o sea el UV Biometer, modelo 501.

**TABLA No. 1**

Precisión	dentro de +/- 5% del total diario
Salidas	Pulsos de +/- 5v, frecuencia dependiendo de la temperatura o de la UV -B
Consumo de potencia	10 mA/5V
Ambiente de operación	Exterior, encapsulamiento hermético
Temperatura ambiente de operación	-40 a + 50 °C
Rango de temperatura de la medición	-50 a + 100 °C
Variación térmica	$< 25 \times 10^{-3}$ (MED/Hr)/°C
Temperatura de estabilización del fósforo	25 °C
Estabilidad en temperatura	+/- 0.2 °C
Temperatura de asentamiento	< 5 minutos @ un cambio de 20 °C
Requerimientos de potencia	Aproximadamente 10 W / detector

**Irradiancia UVB Media Mensual vs Tiempo**

Julio/1997



**GRÁFICA Nro. 1**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

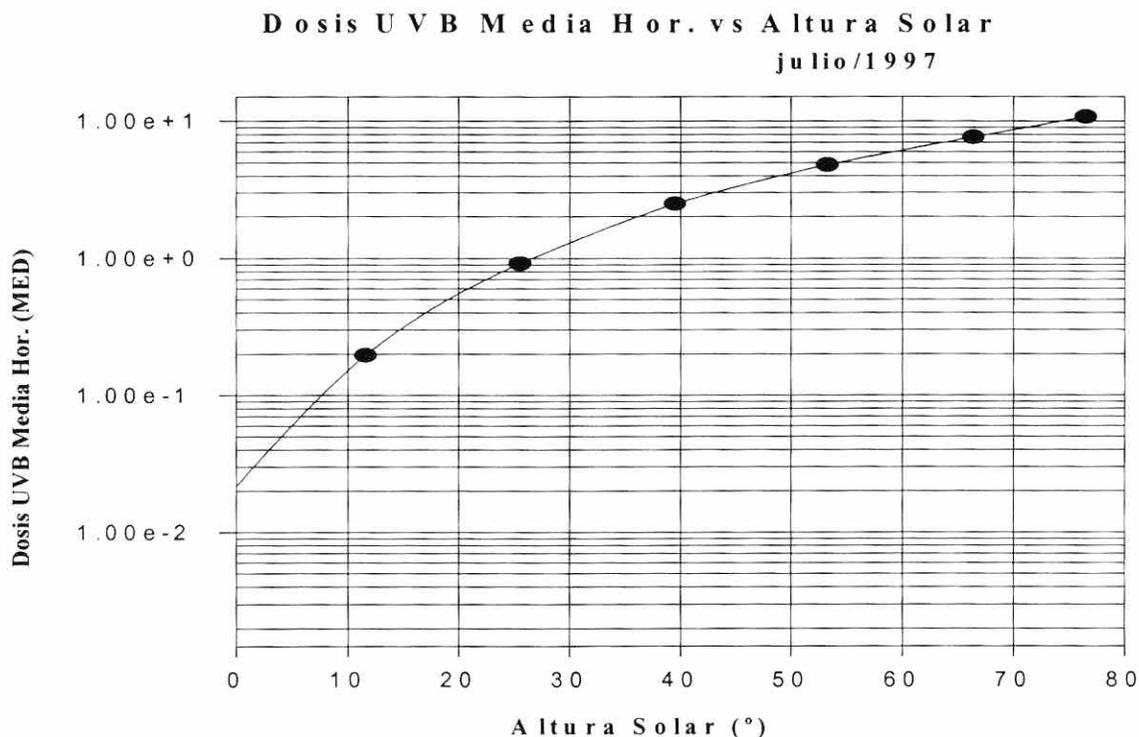
La gráfica No.1 y la tabla No. 2 muestran los valores horarios medios mensuales de la irradiancia UVB correspondientes al mes de julio. La curva de irradiancia UVB horaria media mensual es bastante simétrica registrándose el valor máximo de irradiancia horaria media a las 13:00 horas (hora local). Dicho valor asciende a 3,0 MED/h aproximadamente.

El rápido crecimiento que se observa en la curva hasta horas del medio día, es una consecuencia de que el factor más importante que afecta la dosis de radiación UVB, en días claros, lo constituye la altura solar (Josefsson, 1986).

En la gráfica No. 2 pueden observarse los valores horarios medios de dosis UVB para el mes de julio en función de la altura solar.

### TABLA No. 2

Julio de 1997	
Hora	Irrad. UVB(MED)
6.0000	0.0000
7.0000	0.0131
8.0000	0.1817
9.0000	0.7204
10.0000	1.5633
11.0000	2.3202
12.0000	2.7425
13.0000	2.8852
14.0000	2.5045
15.0000	1.9501
16.0000	1.0313
17.0000	0.5307
18.0000	0.1532
19.0000	0.0127



### GRÁFICA Nro. 2

Otro parámetro que tiene una incidencia significativa tanto en la irradiancia como en la dosis de radiación UVB es la nubosidad. Para medir este parámetro se divide la esfera celeste en ocho sectores. Cada uno de éstos recibe el nombre de **okta**. A lo largo del día deben efectuarse entre cinco a seis observaciones de la esfera celeste que permitan establecer cuántos sectores u oktas se encuentran cubiertos por algún tipo de nubosidad. En la Tabla No. 3 se observa la clasificación de nubosidad de acuerdo con la cobertura en oktas.

La gráfica No.3 muestra la superposición de curvas de irradiancia UVB horaria media correspondientes a un típico día claro (nubosidad de 2 oktas) y de la curva de irradiancia UVB horaria media mensual para el mes de julio. Ambas curvas son simétricas y

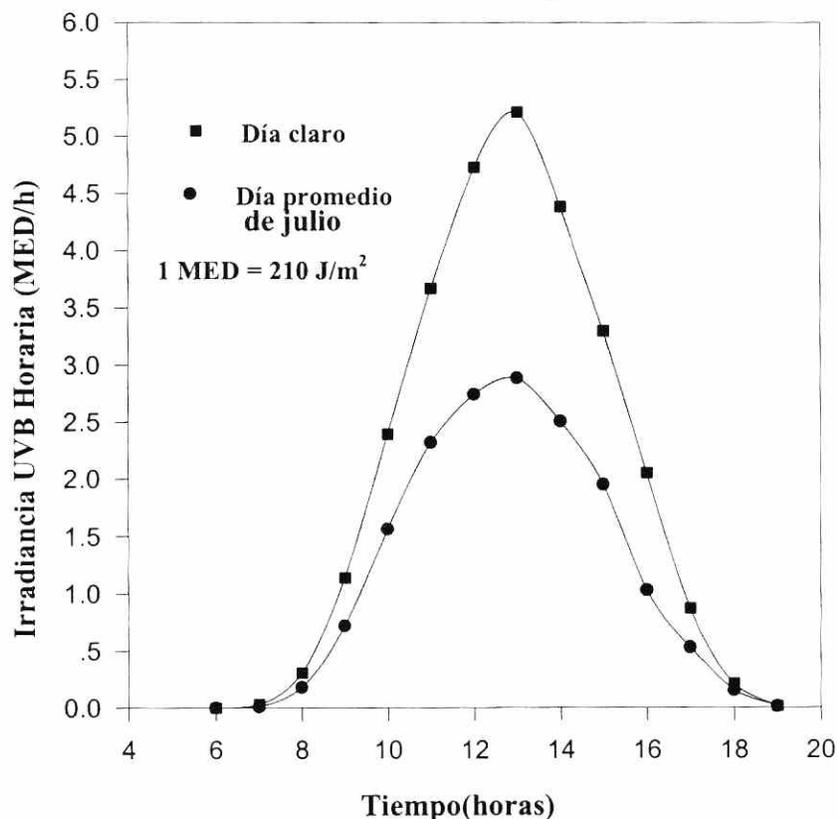
se observa que el máximo valor de irradiancia media horaria para día claro asciende a 5,3 MED/h, aproximadamente. La atenuación de los valores de irradiancia horaria media para el mes de julio en comparación con dichos valores para día claro es causada por la nubosidad registrada para el mes de julio, la cual ascendió, en promedio, a 5 oktas.

**TABLA No. 3**

<b>Cobertura (oktas)</b>	<b>Nubosidad</b>
De 0 a 2	Día claro
Más de 2 hasta un máximo de 4	Día parcialmente nublado
Más de 4 hasta un máximo de 6	Día nublado
Entre 7 y 8 oktas	Día totalmente nublado

### Irradiancia UVB Horaria vs Tiempo

julio/1997



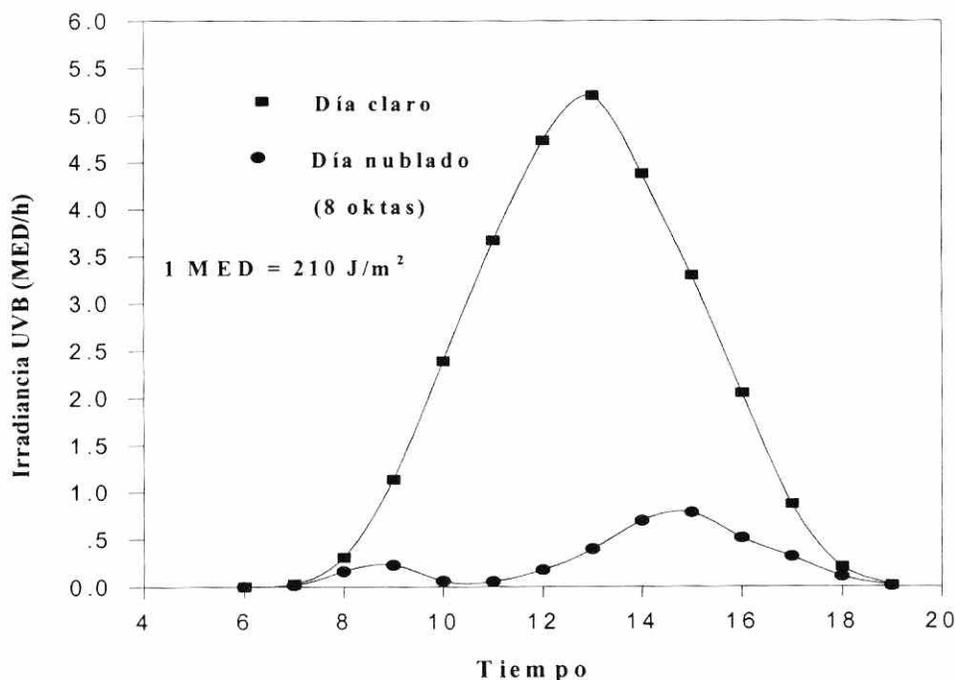
**GRÁFICA Nro. 3**

En la gráfica No.4 se observa la superposición de la curva de irradiancia horaria media correspondiente a día claro mencionado en el párrafo anterior y de la curva de irradiancia horaria media correspondiente al día 9 de julio, durante el cual, la nubosidad se caracterizó por la de cielo totalmente nublado (8 oktas) a lo largo de todo el día. Los valores sumamente bajos de irradiancia horaria media que se observan en la curva asociada al día nublado son indicativos de una alta nubosidad. El valor máximo de irradiancia horaria media para el día en cuestión se registró a las 15:00 horas (hora local) y ascendió a 0,6 MED/h, aproximadamente. Esta irradiancia es el 20% de la media horaria máxima para el mes de julio y tan solo, el 15% de la media horaria máxima para día claro. La atenuación significativa que se observa en la curva de irradiancia UVB horaria media para el 9 de julio, la cual se encuentra comprendida entre las 9:00 y las 12:00 horas (hora local) podría ser atribuida a la precipitación pluvial que se

produjo durante las horas de la mañana del día en cuestión.

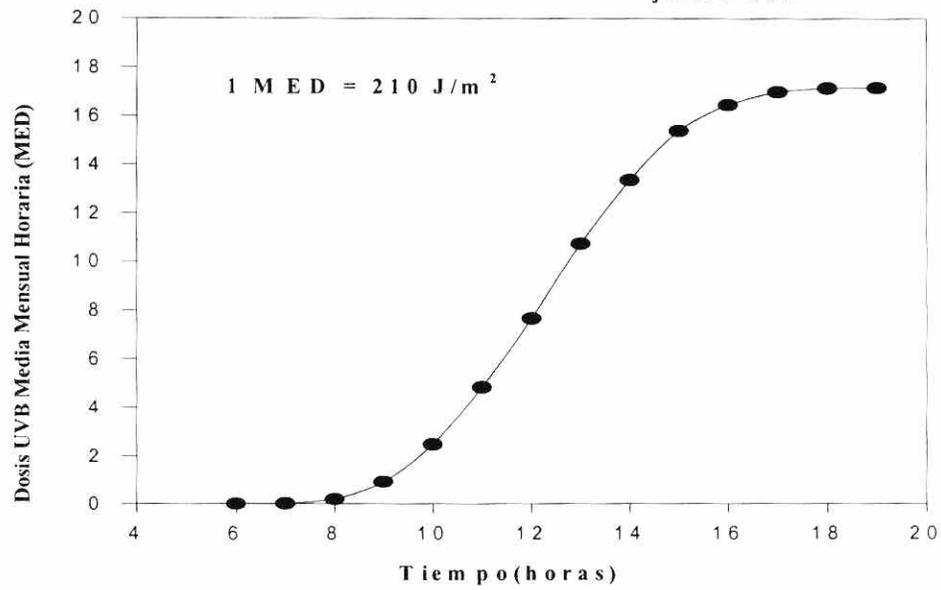
El área bajo la curva de irradiancia UVB horaria media equivale a la dosis UVB ponderada mediante el Espectro de Acción de Eritema y se encuentra expresada en MED. Las gráficas No. 5 y No.6 presentan las curvas de Dosis Horarias Medias Mensuales vs Tiempo correspondientes al mes de julio y al día claro antes aludido, respectivamente. Tal como puede apreciarse, para el mes de julio, la Dosis horaria media ascendió, aproximadamente, a 16,2 MED, para todo el día, mientras que para el día típicamente claro ascendió a 28,3 MED, aproximadamente. Ambas curvas indican que las variaciones más altas de dosis se registran entre las 10:00y las 14:00 horas. El análisis de tales curvas indican que el aumento de dosis entre dichas horas asciende, para el mes de julio a 10,6 MED y para el día claro, a 17 MED.

Irradiancia UVB vs Tiempo



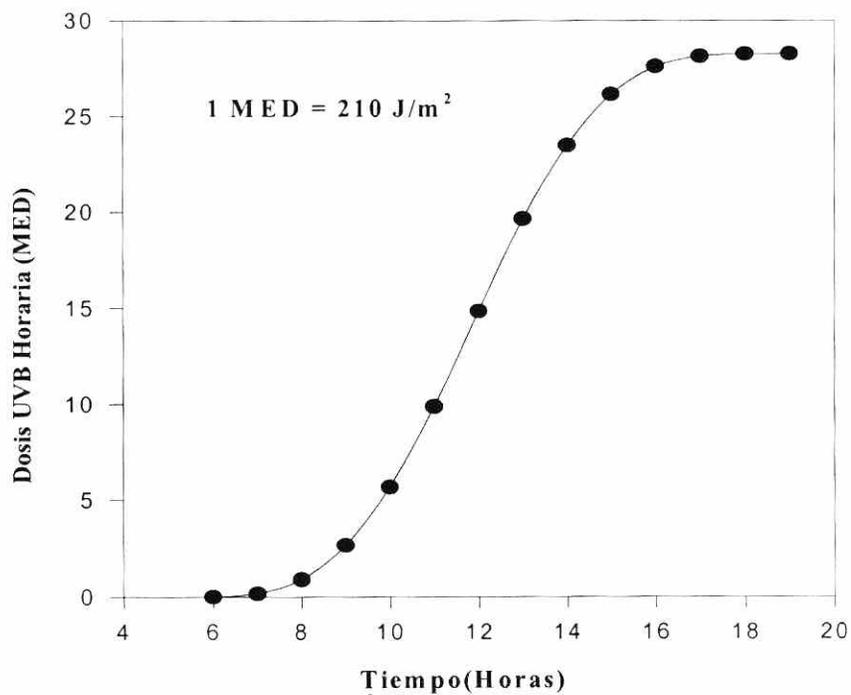
GRÁFICA Nro. 4

Dosis Media Mensual Hor. vs Tiempo  
julio/1997



GRÁFICA Nro. 5

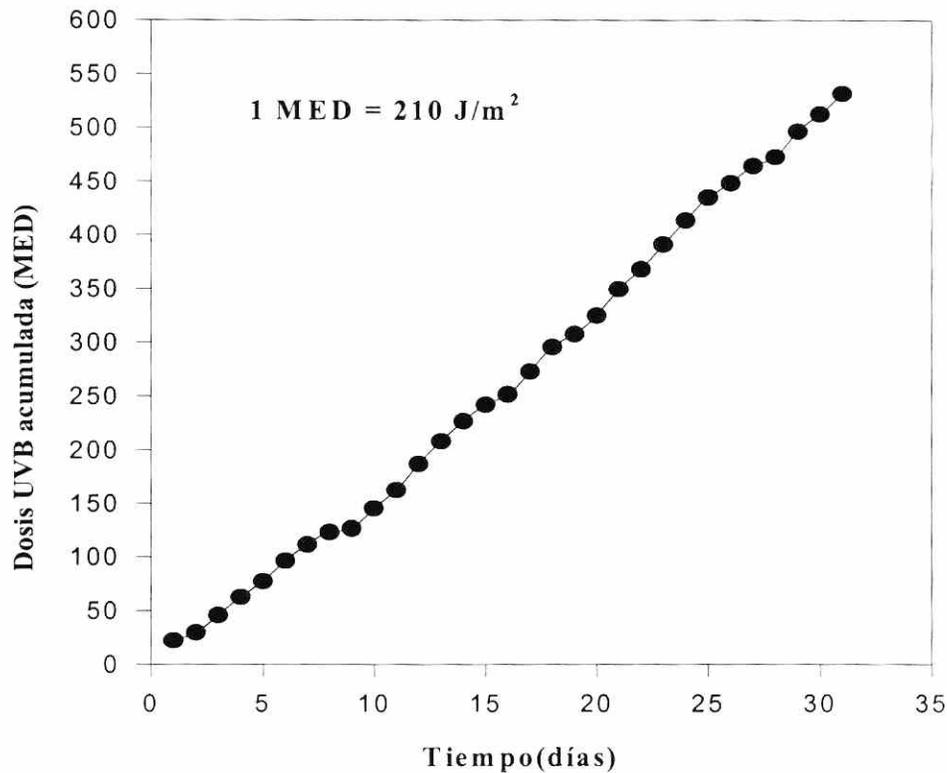
Dosis UVB Horaria vs Tiempo  
Día claro



GRÁFICA Nro. 6

### Dosis UVB acumulada vs Tiempo

julio/1997



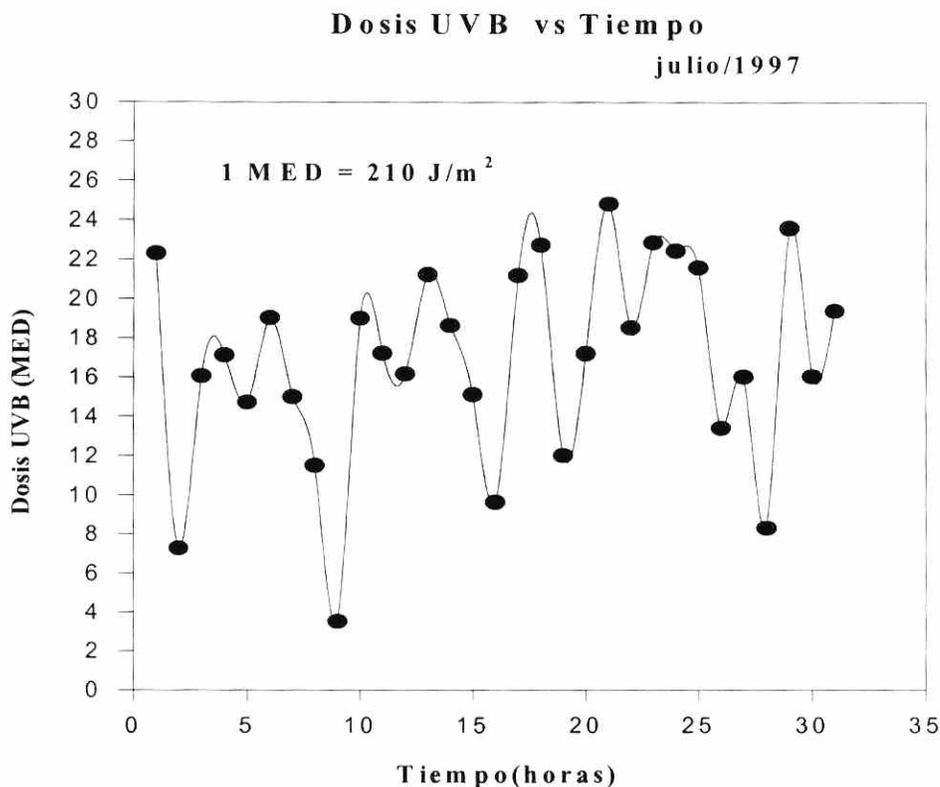
GRÁFICA Nro. 7

Como se recordará la unidad MED se define como la dosis UVB que se requiere para producir un eritema mínimo en personas de piel blanca. En consecuencia, los altos niveles de dosis que se detectan entre las 10:00 y las 14:00 horas señalan que la exposición a la radiación UVB durante este intervalo constituye un alto riesgo en lo concerniente a la inducción de cánceres de piel.

En la gráfica No. 7 se registra el valor de dosis de UVB acumulada para todo el mes de julio. Tal como puede apreciarse, la dosis total de UVB correspondiente al mes de julio ascendió a 550 MED o  $1,155 \times 10^5$  J/m<sup>2</sup> para el área de la ciudad capital.

La gráfica No.8 indica cómo varía la dosis UVB media diaria para todo el mes de julio.

En dicha gráfica se observa que el valor mínimo de dosis se registró el 9 de julio. Este hecho puede atribuirse a la nubosidad extremadamente alta que se registró durante el día en cuestión (8 oktas). Se observan otros mínimos los días 16, 19 y 28 de julio. En cada una de estas fechas se registró una nubosidad acumulada que osciló entre 6 y 8 oktas.



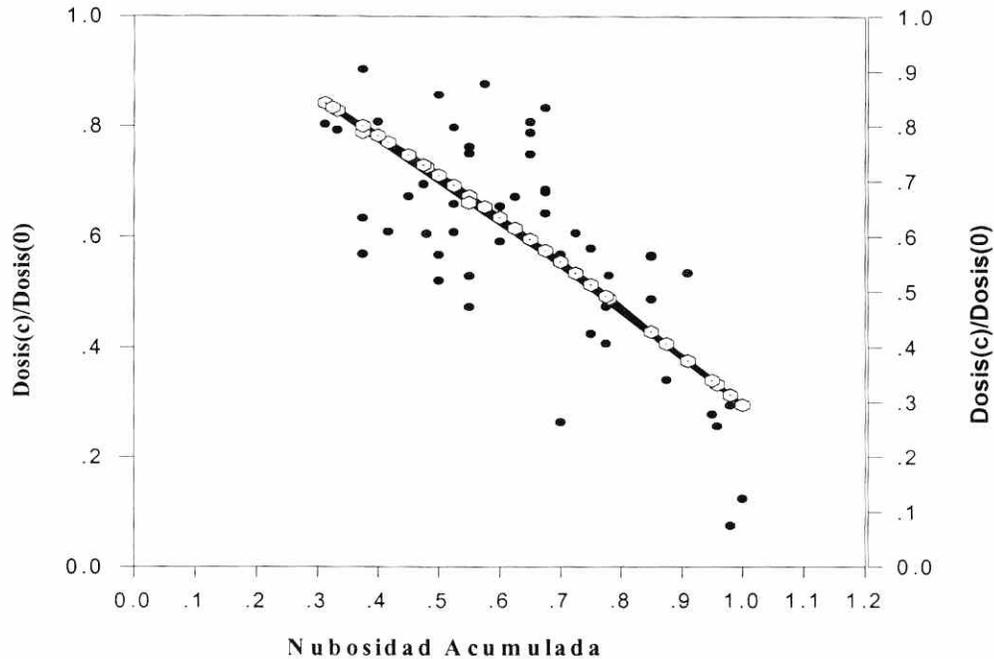
GRÁFICA Nro. 8

Otro aspecto que está siendo estudiado dentro del Proyecto de Investigación es la influencia que ejerce la nubosidad en la atenuación de la radiación UVB. Para tal efecto se han estado llevando a cabo 5 observaciones diarias de la nubosidad a las horas siguientes: 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00. Con esta información se ha calculado la nubosidad acumulada, que se define como la suma de las nubosidades parciales evaluadas a lo largo del día. Ello ha permitido graficar la dosis UVB relativa diaria vs la nubosidad acumulada. La dosis relativa diaria se define como el cociente entre dosis diaria correspondiente a un día nublado y la dosis diaria correspondiente a un día claro. La gráfica No. 9 muestra tanto los puntos experimentales como la curva ajustada de dosis UVB relativa vs Nubosidad Acumulada. Aun cuando la dispersión es relativamente alta debido a que no se cuenta todavía con suficientes datos, puede apreciarse que

parece existir una correlación negativa entre la Dosis Relativa y la Nubosidad Acumulada, tal como es de esperarse. No obstante, se requiere de un mayor número de observaciones de nubosidad acumulada y de mediciones de dosis relativa para encontrar la ecuación correspondiente a la curva de ajuste.

La obtención de dicha ecuación sería una contribución de gran relevancia a nivel local, en virtud del hecho de que, para el clima característico de la ciudad de Panamá, que, de acuerdo con la clasificación de Köppen (Critchfield, H., 1974) es del tipo **Aw** (clima tropical de sabana), la nubosidad es un parámetro que parece incidir, de manera significativa, en la atenuación de la radiación UVB. Una ecuación de esta índole permitiría efectuar predicciones de dosis de radiación UVB, a condición de que se conociese la nubosidad estimada para días subsiguientes.

### Dosis UVB Relativas vs Nubosidad Acumulada



GRÁFICA Nro. 9

### CONCLUSIONES

En la curva de irradiancia UVB Horaria Media para el mes de julio (gráfica No.1) se observa un máximo a las 13:00 h, aproximadamente, cuyo valor asciende a 2,88 MED/h mientras que en la curva de irradiancia UVB Horaria Media para un día claro (gráfica No.3), a dicho máximo le corresponde un valor de 5,3 MED/h. Puesto que el mes de julio se caracterizó por ser bastante nublado (nubosidad media de 5 oktas), es de esperarse que durante los meses de estación seca, caracterizados por un alto porcentaje de días claros (nubosidad entre 0 y 2 oktas), se registren irradiancias máximas entre 5 y 6 MED/h.

Por otro lado, las curvas de Dosis UVB Horaria (gráficas No. 5 y No. 6) muestran un crecimiento de la dosis, sumamente rápido, entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m. Para un día claro, el crecimiento de dosis

correspondiente al intervalo antes mencionado asciende a 17 MED, aproximadamente. Este crecimiento se atenúa de manera significativa para un día con cielo totalmente nublado (nubosidad entre 7 y 8 oktas). Puesto que 1 MED se define como la dosis capaz de generar un eritema mínimo en personas de piel blanca, la exposición a la radiación solar entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m. durante días claros, representa la absorción de una dosis casi 20 veces más alta que la máxima permisible. Este hecho indica que la exposición a la radiación UVB en el intervalo antes mencionado constituye un factor de alto riesgo en lo concerniente a la inducción de cánceres de piel. Cabe señalar que, siendo la dosis una función del tiempo, los efectos nocivos de la radiación UVB son acumulativos.

La nubosidad incide, de manera significativa, en la atenuación de la radiación UVB, tal como se observa en la gráfica No. 4. Hasta el momento se ha podido observar que

la atenuación de la irradiancia UVB que se registra en días con cielo totalmente nublado (8 oktas) asciende a un 85%, aproximadamente, tomando como referencia el nivel de irradiancia correspondiente a un día con cielo despejado (0 a 2 oktas). Este hecho concuerda con lo que, sobre este particular, han reportado otros investigadores (Bais, F., Zerefos, C., Meleti, C., Ziomas, Y. y Tourpali, K., 1993). En virtud de lo anterior, deberá efectuarse un estudio a largo plazo de la nubosidad acumulada diariamente, a objeto de establecer la posible correlación entre dicho parámetro y la dosis de radiación UVB.

### AGRADECIMIENTO

La investigación que se encuentra en proceso de implementación por el Grupo de Física de la Atmósfera está siendo patrocinada por UNIPAN-BID y cuenta con la colaboración del INSTITUTO DE GEOCIENCIAS. Agradecemos a ambas instituciones por el caluroso apoyo que nos han brindado desde el inicio de este Proyecto de Investigación.

### BIBLIOGRAFÍA:

1. BAIS, F., ZEREFOS, C., MELETI, C., ZIOMAS, I., y TOURPALI, K., 1993. Spectral Measurements of Solar UVB Radiation and its Relations to Total Ozone, SO<sub>2</sub>, and Clouds. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 98, No. D3, 5199-5204.
2. CALDWELL, M. M., CAMP, L. B., WARNER, C. W. y FLINT, 1986. Action Spectra and their key role in assesing biological consequences of solar UVB radiation chance; Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant Life, Springer - Verlag, 87 - 111, Berlin, Germany.
3. CRITCHFIELD, HOWARD J., 1974. *General Climatology*, p. 446. Prentice - Hall International, Inc., London, Third Edition.
4. JOSEFSSON, WEINE, 1986. Solar Ultraviolet Radiation in Sweden; Reports in Meteorology and Climatology, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, No. 53, Norrköping, Sweden.
5. JOSEFSSON, WEINE, 1996. Five Years of Solar UV - Radiation Monitoring in Sweden; Reports in Meteorological and Hydrological Institute, No. 71, Norrköping, Sweden.
6. MADRONICH, S. y DE GRUIJL, F., 1994. Stratospheric Ozone Depletion Between 1979 and 1992: Implications for Biologically Active Ultraviolet - B Radiation and Non - Melanoma Skin Cancer Incidence; *Photochemistry and Photobiology*, Vol. 59, No. 5, 541 - 546, United States.
7. MADRONICH, S., MCKENZIE, M. M., CALDWELL y BJORN, L. O., 1994. Changes in Ultraviolet Radiation Reaching the Earth's Surface, United Nation Environment Programme (UNEP), Chapter 1, Nairobi, Kenya.
8. MCKINLAY, A. y DIFFEY, B. L., 1987. A Reference Action Spectrum for Ultra-violet induced erythema in human skin. In *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations* (Editado por W. F. Passchier y B. F. M. Bosnjakovic), p. 83 - 87, Elsevier, Amsterdam.

## LOS ACEROS MICROALEADOS DE MEDIO CARBONO

Por

E. Flores\*, A. Al Omar\*\*, J.M. Cabrera\*\* y J.M. Prado\*\*

\* CITEN, Dep. de Física, Universidad de Panamá.

\*\* Dep. de Ciencia de Materiales e Ing. Met., Univ. Politécnica de Catalunya.

### RESUMEN.

En este artículo se revisan las características, propiedades mecánicas y mejoras en la implantación industrial de los aceros microaleados de medio carbono. Esta comunicación está basada en resultados de trabajos realizados en España entorno a dichos aceros durante los últimos 10 años.

### ABSTRACT.

In this article, the characteristics, mechanical properties and industrial improvements of medium carbon microalloyed steels are reviewed. This communication is based on results of research projects carried out during the last 10 years in Spain.

### 1. INTRODUCCIÓN.

En la década del 60 se desarrollaron en Gran Bretaña los primeros aceros microaleados (también denominados HSLA, *High Strength Low Alloy*) con el objeto de elaborar aceros de bajo contenido de carbono que, aparte de sus buenas características de soldabilidad, tuviesen un límite elástico elevado. A inicios de los 70 apareció en Alemania uno de los primeros aceros microaleados de medio carbono de amplia aplicación, de denominación simbólica 49MnVS3. A finales de los 80, la empresa ACENOR (hoy SIDENOR) inicia la fabricación del primer acero microaleado para forja en caliente español, denominado Micro. En los últimos años hay un aumento en la utilización de aceros microaleados, tanto de bajo carbono

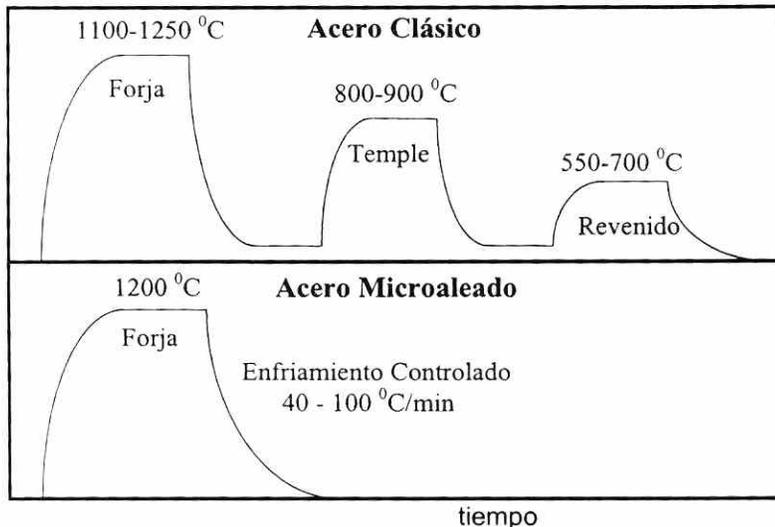
como de medio carbono. El grupo SIDENOR, produce actualmente alrededor de 3 500 Tm al año de este tipo de aceros [1].

Se entiende por acero microaleado un acero al carbono aleado con Mn y Si, con bajas cantidades de S y P (generalmente próximos a 0,03 %), que se caracterizan por tener concentraciones inferiores a 0,15 % de Nb, Ti, V y/o Al. Estos últimos elementos en conjunción con el N y el C, forman unos microconstituyentes extraordinariamente eficaces (carburos, nitruros y/o carbonitruros) en el control de las propiedades mecánicas y de la microestructura a través del afino de grano y del endurecimiento por precipitación. La precipitación puede producirse durante la austenización, durante el cambio alotrópico de la austenita a ferrita, o directamente durante el enfriamiento en la fase ferrítica.

Entre las ventajas económicas de los aceros microaleados destacan el ahorro de energía producida por la supresión o simplificación de las operaciones de tratamientos térmicos y el ahorro de materias primas por la eliminación de varios elementos de aleación considerados estratégicos. Si se compara el proceso de elaboración por forja de un acero microaleado con el de un acero convencional de bonificación, se tiene que mientras con el microaleado la pieza se obtiene en un ciclo térmico, en el otro acero se necesitarán tres ciclos térmicos (Fig. 1). La sustitución de los aceros para temple y revenido por aceros microaleados representa cerca de un 15 % de ahorro de costos del valor de la pieza forjada y tratada térmicamente [1]. La optimización simultánea de la resistencia, tenacidad y soldabilidad, sin necesidad de

tratamiento térmico, es la característica esencial de los aceros microaleados.

En el campo de la construcción mecánica, y en especial de la industria del automóvil, una de



**Figura 1.** Comparación de los procesos de conformado para un acero clásico y para un acero microaleado.

las aplicaciones más interesantes de estos aceros es la fabricación de piezas forjadas en caliente, mediante la cual se pueden obtener directamente elevadas propiedades de resistencia.

En función de las características mecánicas que poseen los diversos tipos de aceros microaleados, son utilizados para las siguientes aplicaciones: bielas, manivelas, cigüeñales, pernos, manguetas, palancas, barras estabilizadoras, antiperaltos de automóviles, ejes, rodamientos, puentes, edificios, navíos, plataformas marinas, recipientes a presión y tubos, entre otras.

Se estima que los aceros microaleados representan en la actualidad cerca del 8 % en peso del total de materiales que se utilizan en la fabricación de un automóvil. Todo apunta que para los años venideros este porcentaje irá en aumento, lo que implica una disminución del peso de vehículo, es decir, un ahorro de combustible [2].

## 2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS MICROALEADOS DE MEDIO CARBONO

### 2.1. En Función de su Aparición.

En función de su aparición histórica, los aceros microaleados de medio carbono se clasifican en tres generaciones.

#### Primera generación:

Fueron los primeros aceros microaleados y contenían sólo V y/o Nb. Poseían un límite elástico y tenacidad baja y la temperatura de transición dúctil-frágil estaba alrededor de los 15 °C.

#### Segunda generación:

Aparecieron posteriormente y tienen como elementos microaleantes Ti y V y/o Nb. En estos aceros se redujo el porcentaje de C y se aumentó el de Mn y Si. Se consiguió incrementar límite elástico y la tenacidad, a la vez que la temperatura de transición dúctil-frágil se disminuyó significativamente.

#### Tercera generación:

Estos aceros microaleados tienen un contenido mayor de Mn, además de Mo. Las piezas (generalmente masivas) son sometidas a un enfriamiento rápido, lo que unido a las relativas altas temperaturas de transformación martensítica (próximas a 200 °C) produce un efecto de autorevenido dando como resultado buena dureza y tenacidad.

### 2.2. En Función de la Resistencia

#### **Mecánica.**

Los aceros microaleados también pueden clasificarse en tres tipos atendiendo a su resistencia mecánica:

#### Resistencia mecánica inferior a 1100 MPa:

Son aceros de estructura ferrítica-perlítica obtenida directamente en el estado bruto de

laminación. Su composición general, además de los elementos microaleantes, está indicada en la siguiente tabla.

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)
0,15 - 0,40	0,10 - 0,40	1,5 - 2,0	< 0,030

En este tipo de aceros se pueden distinguir tres subgrupos:

1. Con contenido de S limitados a 0,015 - 0,020 %. Tienen buena ductilidad en frío.
2. Aceros resulfurados, con 0,020 - 0,040 % S. Para resistencia de 850 MPa se obtienen resiliencias de 40 a 60 J/cm<sup>2</sup> (KCU).
3. Aceros de maquinabilidad mejorada con contenidos de S más elevadas (0,070 - 0,250 %), y en ciertos casos con adición de Pb entre 0,15 - 0,25 %. Alcanzan resiliencias de 40 - 60 J/cm<sup>2</sup> (KCU) para niveles de resistencia de 1000 MPa.

### **Resistencia mecánica entre 1100 y 2000**

#### **MPa:**

Estos aceros tienen importantes adiciones de Cu y Ni. La estructura en estado bruto de laminación es de tipo martensítica, mostrándose bastante compleja y con tamaño de grano muy fino. Su composición general está comprendida entre los siguientes límites:

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)
0,15 - 0,45	0,5 - 0,9	1,5 - 2,0	< 0,030

S (%)	Cu (%)	Ni (%)
< 0,030	1,5 - 2,0	1,0 - 1,5

Estos aceros poseen límites de fatiga elevados y su resiliencia es de 35- 40 J/cm<sup>2</sup> para resistencias de 1100 MPa. Para niveles máximos de resistencia la resiliencia puede disminuir hasta valores de 10 J/cm<sup>2</sup> (KCU).

### **3. ELEMENTOS MICROALEANTES.**

Se denomina microaleante a las pequeñas cantidades de elementos que permanecen en solución en el acero por encima de una

determinada temperatura durante la fase austenítica y que precipitan al ser enfriados, combinándose con otros elementos del acero, una vez alcanzados sus límites de solubilidad. Los precipitados actúan como obstáculos al movimiento de las dislocaciones y contribuyen a aumentar la resistencia del acero.

#### **3.1. Titanio.**

El titanio puede formar óxidos, sulfuros, carburos y nitruros. La estructura cristalina de sus carburos y nitruros es cúbica centradas en las caras y los parámetros de red típicos son 4,246 Å para el nitruro de titanio (TiN) y 4,313 Å para el carburo de titanio (TiC). Durante el enfriamiento, los precipitados TiN son los primeros que se forman, sirviendo como centro de nucleación para el TiC. En estas condiciones, la difusión entre ambos precipitados da lugar a la aparición de carbonitruros de composición química variada. Los nitruros de titanio son buenos afinadores del grano austenítico, pero presentan el inconveniente de tener un efecto negativo sobre la maquinabilidad. El titanio posee la menor constante de difusión en la austenita y su valor es de  $1,5 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. La energía de activación para la migración de átomos de titanio en la austenita es de 250 000 J/mol. La densidad del titanio a 20 °C es de 4,51 g/cm<sup>3</sup>.

#### **3.2. Niobio.**

El niobio es capaz de formar carbonitruros que endurecen por precipitación al acero. Durante la laminación, el niobio en solución precipita parcialmente en la austenita en forma de carburos, nitruros o carbonitruros (precipitación inducida por deformación). El carburo de niobio (NbC) tiene estructura cúbica con parámetros de red de 4,47 Å, mientras que el nitruro de niobio (NbN) tiene estructura hexagonal con parámetros de red  $a = 2,968$  Å y  $c = 5,535$  Å. La constante de difusión del niobio en la austenita es de  $7,5 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. La energía de activación para la migración de átomos de niobio en la austenita es de 264 000 J/mol. El niobio y el vanadio poseen la mayor energía de

activación. La densidad del niobio a 20 °C es de 8,57 g/cm<sup>3</sup>, siendo el microaleante más denso.

### 3.3. Vanadio.

El vanadio es el elemento microaleante con mayor solubilidad a las temperaturas de tratamiento termomecánico, por lo que eleva el valor del límite elástico sin afectar substancialmente la ductilidad hasta concentraciones de cercanas a 0,15 %. El vanadio precipita bajo forma de carburos, nitruros o carbonitruros. Los carbonitruros de vanadio son de tamaño relativamente pequeño y coherentes con la matriz, jugando un papel de endurecedor de la matriz por precipitación a más bajas temperaturas que los restantes microaleantes. Los nitruros de vanadio (VN) y carburos de vanadio (VC) tienen estructuras cúbicas con parámetros de red 4,13 y 4,36 Å respectivamente. El vanadio al igual que el niobio posee una constante de difusión en la austenita de  $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . La energía de activación para la migración de átomos de vanadio en la austenita es de 264 000 J/mol. La densidad del vanadio a 20 °C es de 6,10 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.4. Aluminio.

El aluminio precipita en forma de nitruros. Su disolución se inicia a alta temperatura. Por razones de costos y por su buena propiedad de controlador del grano austenítico es muy utilizado. Los nitruros de aluminio (AlN) poseen estructuras hexagonales con parámetros de red  $a = 3,110 \text{ Å}$  y  $c = 4,975 \text{ Å}$ . De los cuatro elementos microaleantes, el aluminio es el de mayor constante de difusión en la austenita ( $18,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ). La energía de activación para la migración de átomos de aluminio en la austenita es la menor, (228 000 J/mol). La densidad del aluminio a 20 °C es de 2,70 g/cm<sup>3</sup>, siendo el microaleante menos denso.

## 4. SOLUBILIDAD DE LOS MICROALEANTES.

A partir de una temperatura dada los elementos microaleantes permanecen en solución en la fase austenítica. En el enfriamiento posterior, cuando alcanzan sus límites de solubilidad, precipitan en forma de carburos, nitruros y/o carbonitruros. En términos generales los nitruros de los elementos microaleantes tienen una solubilidad en la austenita inferior a la de sus carburos.

Los nitruros de Ti, por su menor solubilidad en la austenita, son los primeros en precipitar, mientras que los carburos de V son los últimos, llegando a estar disueltos en la austenita a temperaturas bajas (cerca de 900 °C).

En la ferrita los productos de solubilidad son menores, hasta en un orden de magnitud, con respecto a los que corresponden a la austenita. Esto significa que durante la transformación alotrópica, la ferrita se sobresatura y promueve la precipitación.

A medida que se aumenta el contenido de C o N en un acero microaleado, aumenta la temperatura de solubilización de los nitruros y carburos. En los aceros microaleados al Ti, a igual contenido de Mn, la precipitación de Ti(CN) se acelera a medida que aumenta el contenido de C, y si se mantiene constante el C, entonces la cinética de precipitación se retrasa a medida que aumenta el contenido de Mn. En los aceros microaleados al V, a igual contenido de C, la precipitación también se retrasa a medida que aumenta el contenido de Mn [5].

Los precipitados de V no ofrecen prácticamente resistencia al engrosamiento del grano austenítico, ya que a las temperaturas habituales de austenización casi todo el V está disuelto en la austenita.

En la Tabla I se presentan los productos de disolución en la austenita para los nitruros, carburos y carbonitruros de Ti, Nb, V y Al, según diferentes autores.

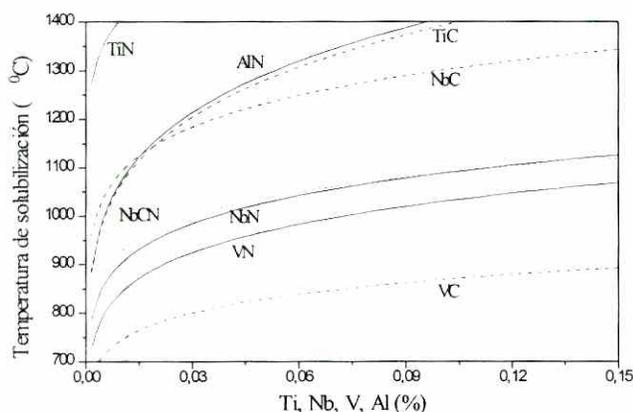
En la Fig. 2 se aprecia como varía la temperatura de solubilización de los nitruros, carburos y carbonitruros de Ti, Nb, V y Al con el porcentaje de elemento microaleante, para una

composición habitual de un acero microaleado de medio carbono.

**Tabla I**

Productos de solubilidad para los carburos, nitruros y carbonitruros de Ti, Nb, V y Al.

Tipo	Producto de Solubilidad	Fuente
TiN	$-15\ 790 / T + 5,40$	Turkdogan, 1989
NbN	$-8\ 700 / T + 3,39$	Turkdogan, 1989
VN	$-7\ 840 / T + 3,02$	Roberts, 1985
AlN	$-6\ 770 / T + 1,03$	Gladman, 1977
TiC	$-6\ 880 / T + 2,53$	Chamont, 1984
NbC	$-10\ 337 / T + 4,97$	Ríos, 1984
VC	$-9\ 500 / T + 6,72$	Narita, 1975
NbCN	$-10\ 400 / T + 4,04$	Perosanz, 1988



**Figura 2.** Variación de la temperatura de solubilización de los nitruros y carburos de Ti, Nb, V y Al para un acero microaleado con 0,29% de C y 0,01% de N.

En esta gráfica se puede observar que a concentraciones menores a 0,02 % de Ti, los carburos de Ti se disuelven antes que los carburos de Nb en la austenita, pero a mayores concentraciones los carburos de Nb solubilizarán primero.

## 5. RECRISTALIZACIÓN.

### 5.1. Estática.

La recristalización estática es el proceso de nucleación y crecimiento de nuevos granos que

ocurre una vez terminada la deformación tanto en frío como en caliente del material. Los aceros microaleados presentan una energía de activación para este tipo de recristalización mayor que los aceros sin microaleantes, es decir, los microaleantes en solución o precipitados producen un efecto retardador sobre la recristalización.

El Ti retarda la recristalización estática de la austenita. Este efecto es menor que el del Nb pero más acusado que el del V y Al, salvo si la temperatura de deformación es menor de 950 °C, ya que los carburos de V que se forman son más finos que los nitruros de Ti y ejercen un mayor bloqueo sobre la recristalización estática [14].

El Nb es el elemento que más influye en el aumento de la energía de activación, por lo que es el microaleante que más retarda la recristalización tanto estática como dinámica de la austenita [7]. Ningún otro elemento microaleante es tan efectivo como el Nb para elevar la temperatura a la que finaliza la recristalización de la austenita, efecto que es más pronunciado a mayores contenido de C. El Nb bloquea la recristalización estática a temperaturas más altas que el Ti y el V, debido a la baja solubilidad de los carbonitruros en la austenita y al menor tamaño de los mismos.

En los aceros microaleados al Nb, existe una temperatura crítica en la laminación en caliente (especialmente en el tren de bandas) por debajo de la cual sólo se produce una recristalización parcial, prácticamente despreciable si se tiene en cuenta el tiempo transcurrido entre pasada y pasada [4].

Cuando la precipitación es anterior a la recristalización, el efecto del Al llega incluso a favorecer la recristalización. Ello es debido al engrosamiento rápido de los precipitados de AlN que promueven la recristalización en lugar de dificultarla. Este efecto no se ha observado en aceros microaleados con Nb y/o V [5].

La adición de Ti incrementa el valor de la energía de activación aparente de los aceros con contenidos medios de C cercanos a 0,35 %. Este incremento alcanza un máximo para valores cercanos a 0,15 % de Ti [6].

A temperaturas inferiores a la temperatura crítica de recristalización, la energía de

activación de los aceros microaleados no es constante y crece rápidamente con el descenso de la temperatura, alcanzándose valores enormemente grandes que se corresponden con el bloqueo de la recrystalización.

Después de un proceso de laminación, los aceros microaleados usualmente muestran un tamaño de grano ferrítico menor que el de los aceros al C-Mn, debido a la deformación sufrida por la austenita. La deformación producida por los procesos de laminación y el retraso de la recrystalización, hacen que se obtenga granos muy deformados y una intensa nucleación de la posterior transformación alotrópica, lo cual lleva al afino de grano ferrítico-perlítico.

## 5.2. Dinámica.

La recrystalización dinámica es el proceso de nucleación y crecimiento de nuevos granos que ocurre simultáneamente con la deformación a alta temperatura. Además, la deformación plástica adelanta apreciablemente la precipitación de carburos, carbonitruros y nitruros de Nb, V, Ti y Al.

Bajo las mismas condiciones de temperatura, rapidez de deformación y tamaño de grano inicial, la deformación crítica, a partir de la cual aparecen los primeros granos recrystalizados dinámicamente, es menor en los aceros de construcción que en los aceros microaleados. Como esta deformación equivale por término medio a un 30 % de reducción del espesor en la laminación en un sólo paso, la recrystalización dinámica no ocurre generalmente en la laminación en caliente en los aceros microaleados [4].

Cabe mencionar que a altas rapidezces de deformación ( $\dot{\epsilon} > 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) la diferencia entre la deformación crítica para la aparición de la recrystalización dinámica de un acero microaleado y otro al C tiende a disminuir, debido a que no ha habido tiempo para que

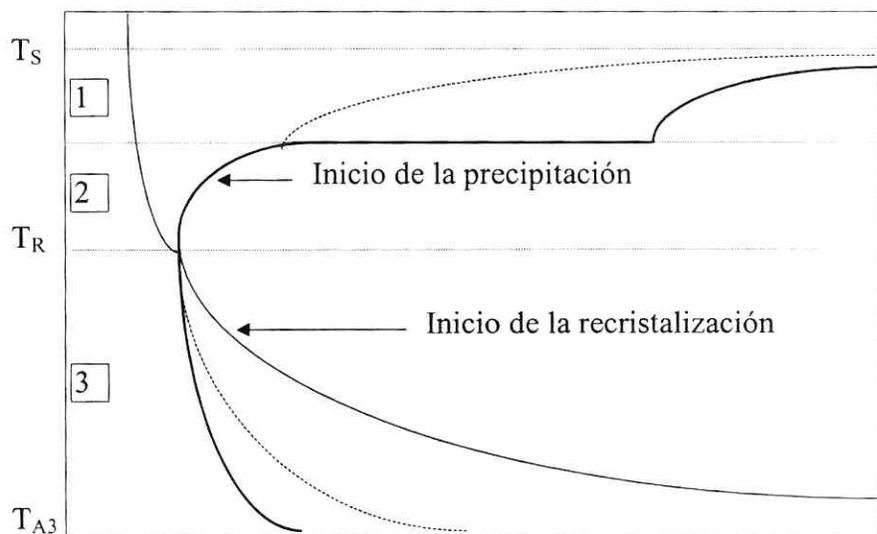
precipiten las partículas. Los elementos microaleantes disueltos durante la recrystalización, retrasan solamente el crecimiento de los nuevos granos mediante un mecanismo de arrastre de soluto relativamente débil [5].

En la interacción recrystalización-precipitación de los aceros microaleados (ver Fig. 3), se pueden distinguir tres estadios por encima de la temperatura de transformación de la austenita a la ferrita ( $T_{A3}$ ).

**Rango 1:** Por debajo de  $T_S$  (temperatura de solubilidad del carbonitruro), la recrystalización dinámica precede a la precipitación. Ésta se retarda porque la recrystalización elimina lugares potenciales de nucleación.

**Rango 2:** El límite inferior es  $T_R$  (temperatura por debajo de la cual la recrystalización no ocurre en corto tiempo). La recrystalización todavía precede a la precipitación, pero es incompleta antes de que esta se inicie en la austenita no recrystalizada.

**Rango 3:** Entre  $T_R$  y  $T_{A3}$ , la precipitación se inicia antes que la recrystalización, retrasando marcadamente su inicio y dificultando su progreso [5].



**Figura 3.** Diagrama de recrystalización-precipitación para los aceros microaleados.

Los aceros al C-Mn poseen una energía de activación para la recrystalización dinámica menor que los aceros microaleados y por tanto una cinética de recrystalización más rápida cuando la deformación se efectúa en las mismas condiciones [7].

Finalmente cabe comentar que cuando la rapidez de deformación es baja y la temperatura es alta, la curva tensión verdadera - deformación verdadera, puede presentar picos cíclicos de recrystalización dinámica.

Los presentes autores han estudiado un aceros de medio carbono microaleado al vanadio mediante ensayos de compresión en caliente a rapidezces de deformación constantes y diferentes temperaturas de austenización. Este acero será utilizado para ilustrar algunas propiedades de los microaleados en diferentes secciones de este trabajo. La composición química de dicho acero en porcentaje en masa se presenta en la Tabla II.

**Tabla II**

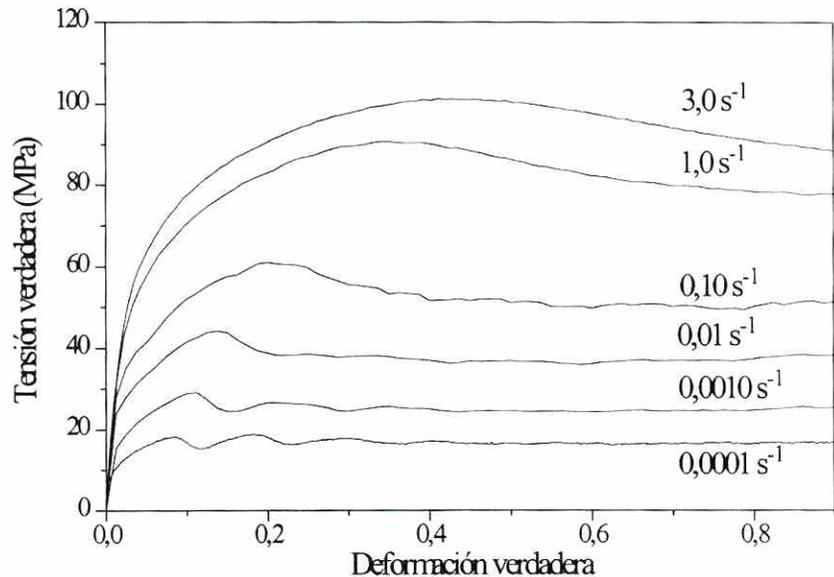
Composición química del acero microaleado estudiado en este trabajo.

C	Mn	Si	V	Ti	Al
0,290	1,190	0,190	0,090	0,001	0,011

S	P	Ni	Cu	Mo	N <sub>ppm</sub>
0,025	0,013	0,091	0,161	0,031	131

A continuación se muestran las curvas de tensión verdadera - deformación verdadera para el acero mencionado anteriormente (Fig. 3). Estas gráficas representan el comportamiento a diferentes rapidezces de deformación con temperatura de ensayo de 1100 °C, tiempo de calentamiento 30 minutos y diámetro medio de grano inicial de 118  $\mu\text{m}$ .

En este gráfico se puede apreciar que bajo las condiciones del estudio la recrystalización dinámica cíclica o periódica no empieza a



**Figura 4.** Curvas tensión verdadera - deformación verdadera a  $T=1100^{\circ}\text{C}$  y diferentes rapidezces de deformación.

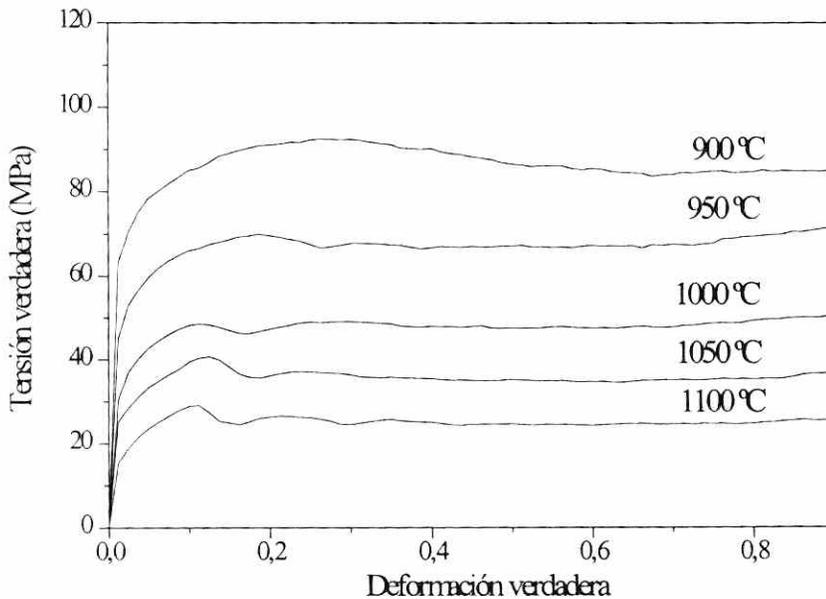
aparecer, sino a rapidezces de deformación menores o próximas a  $0,001\text{ s}^{-1}$ .

También es de interés mostrar la aparición de la recrystalización cíclica, en el acero microaleado estudiado, cuando se mantiene constante la rapidez de deformación a  $0,001\text{ s}^{-1}$ , y el ensayo se efectúa a diferentes temperaturas (Fig. 5). El tiempo de austenización a cada temperatura fue de 30 minutos. Se puede apreciar que la recrystalización dinámica cíclica aparece cuando la temperatura de ensayo sobrepasa los  $1050^{\circ}\text{C}$ .

En un ensayo de deformación en caliente la tensión máxima o de pico ( $\sigma_p$ ) y su deformación asociada  $\varepsilon_p$ , aumentan a medida que aumenta la rapidez de deformación cuando la temperatura del ensayo se mantiene constante. Del mismo modo  $\sigma_p$  y  $\varepsilon_p$  aumentan cuando la temperatura disminuye si la rapidez de deformación se mantiene constante [8].

## 6. AFINO DE GRANO.

Uno de los factores más importantes para mejorar las propiedades mecánicas de los aceros microaleados es la reducción de los tamaños de grano ferrítico y de las colonias de perlita. A su vez, estos dos factores están

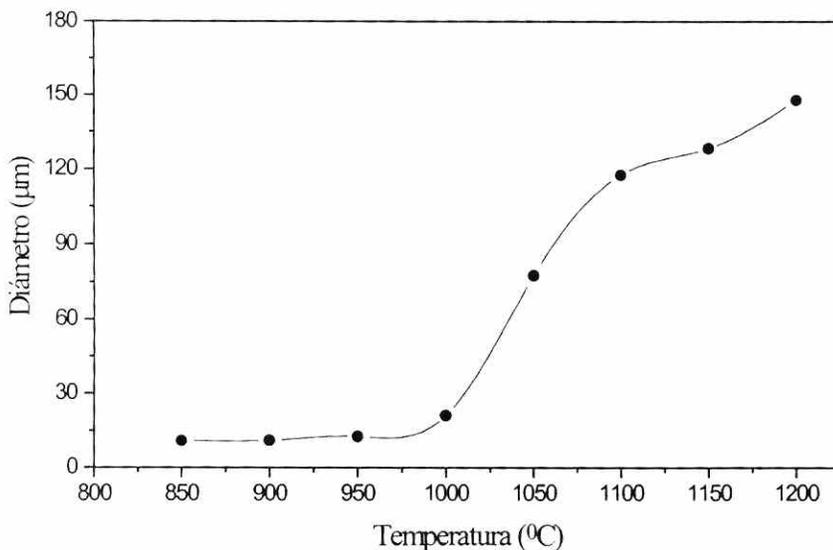


**Figura 5.** Curvas tensión verdadera – deformación verdadera a  $\dot{\epsilon} = 0,0010 \text{ s}^{-1}$  y diferentes temperaturas.

relacionados con el tamaño de grano austenítico, que depende de la temperatura de austenización y del proceso de conformado.

Las condiciones que debe cumplir un buen agente afinador de grano son:

1. Que las partículas tengan baja solubilidad para mantener fracciones de volumen elevadas a temperaturas altas.
2. Que el contenido de soluto en equilibrio en



**Figura 6.** Evolución del tamaño de grano con la temperatura de austenización manteniendo constante el tiempo de calentamiento de 30 minutos.

la matriz sea bajo para restringir la disolución de soluto a las partículas que están creciendo.

En la Fig. 6 se presenta la evolución del tamaño medio de grano austenítico con la temperatura para el acero microaleado al V estudiado. El tiempo de permanencia de las muestras a todas las temperaturas fue de 30 minutos.

La temperatura en que se inicia el aumento de la pendiente (próxima a  $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) señala el inicio de la disolución de los precipitados de V, lo cual coincide con la observación experimental de crecimiento anormal de grano. Esta temperatura de disolución coincide con la de los nitruros de V, para una concentración de V de 0,09 % (ver Fig. 2).

Para este mismo acero, se presentan ahora los resultados obtenidos en la evolución del tamaño medio de grano austenítico en función del tiempo (Fig. 7). La temperatura de calentamiento a todo el tiempo fue de  $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A esta temperatura se observó crecimiento anormal de granos hasta los 15 minutos, transcurrido el cual el crecimiento de los granos fue normal.

Una austenita deformada antes de la transformación alotrópica austenita  $\rightarrow$  ferrita ejerce un mayor efecto sobre el tamaño de grano ferrítico final, con una influencia cada vez menor del tamaño de grano austenítico inicial. Por otro lado, la disminución de la temperatura de transformación austenita-ferrita produce en efecto positivo en el afino de grano.

Por tener el Ti la temperatura de disolución más alta, su poder afinador es mayor que el Nb y V a temperaturas de austenización altas (arriba de  $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo al utilizar concentraciones de Ti

relativamente altas se corre el riesgo de producir por coalescencia, precipitados muy grandes que no inhiban el crecimiento del grano [9]. En aceros microaleados con contenidos próximos a 0,29 % de C, 0,09 % de V y 0,04 % de Al, el porcentaje en peso de Ti que se debe añadir para obtener un buen control en el crecimiento del grano es cercano a 0,02 %. En este acero microaleado el aumento del porcentaje de Ti desplaza el diagrama de enfriamiento continuo hacia la derecha [10].

El B reduce los efectos del Ti como inhibidor del crecimiento de grano [11]. Por otro lado, la adición de este elemento a los aceros microaleados con V y Ti permite obtener estructuras bainíticas con cierta facilidad [12]. En los aceros al V con contenidos menores a 0,007

% de N, no se produce un afino apreciable de grano [3]. La utilización de Nb en cantidades tan pequeñas como 0,02 %, llevan a una laminación controlada del acero con obtención de estructuras ferríticas finas, en estado bruto de laminación [13].

Mientras más baja sea la temperatura final de forja y mayor la deformación durante la misma, tanto menor será el tamaño del grano de la austenita, debido al prolongado efecto de la fragmentación del grano a bajas temperaturas, lo cual aumenta los núcleos de posibles granos recrystalizados. Se recomienda utilizar más de un inhibidor en la composición del acero para conseguir un control efectivo sobre el crecimiento de grano.

## 7 PROPIEDADES MECÁNICAS.

En los aceros microaleados, las propiedades mecánicas se verán favorecidas a medida que tanto el tamaño de grano como el de precipitado disminuya y la fracción volumétrica de este último aumente [14].

### 7.1 Endurecimiento.

Los elementos microaleantes actúan sobre el endurecimiento de la matriz (dureza, límite elástico) bien por precipitación de los compuestos

formados por estos elementos, bien por estar en solución sólida. El primer efecto está provocado por la presencia en la ferrita de partículas de carburos, nitruros y/o carbonitruros de Nb, V, Ti y/o Al, cuyo tamaño, cantidad, distribución y coherencia son tales que afectan

la posibilidades de deformación plástica. Mientras más pequeñas y numerosas sean estas partículas, mayor será el endurecimiento producido por ellas. Para conseguir un efecto endurecedor notable, los precipitados deben tener un tamaño máximo no superior a 100 Å [15].

Para obtener precipitados de tamaño adecuado la rapidez de enfriamiento entre 1000 y 600 °C debe estar comprendida entre 40 y 100 °C/min. Con este rango de rapidez de enfriamiento se evita la aparición de estructuras intermedias (bainita y/o martensita) [15].

El efecto endurecedor de los microaleados y otros elementos en solución sólida (v.g. Mn, Si, Cu) se debe entre otros factores a la dilatación de la red del hierro por elementos que poseen radios atómicos diferentes. Sin embargo el efecto de la diferencia de tamaño

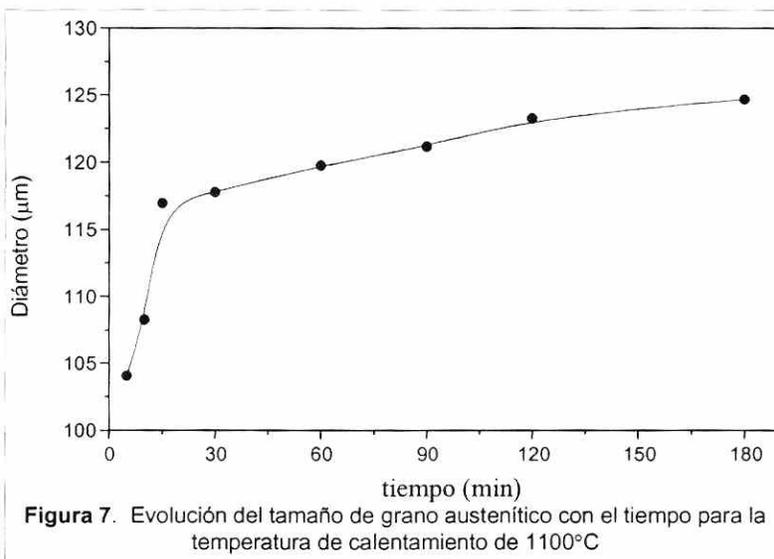


Figura 7. Evolución del tamaño de grano austenítico con el tiempo para la temperatura de calentamiento de 1100°C

no es el único elemento que actúa sobre el endurecimiento en solución sólida, ya que hay que considerar además, la diferencia en estructuras electrónicas del elemento con respecto al hierro (como en el caso del Si) [30]. En la Tabla III se aprecia la diferencia de tamaños de los elementos endurecedores con respecto a la ferrita y austenita (el radio atómico del hierro ferrítico es 1,24 Å y del hierro austenítico es 1,27 Å).

**Tabla III**

Diferencia de radio atómico de diferentes elementos con respecto al radio atómico del hierro en la estructura ferrítica y austenítica.

Elemento	Radio atómico (Å)	Diferencia de tamaño con respecto a la ferrita (%)	Diferencia de tamaño con respecto a la austenita (%)
Ti	1,45	17	14
Nb	1,43	15	13
Al	1,43	15	13
V	1,32	6	4
Cu	1,28	3	1
Mn	1,12	-10	-12
Si	1,12	-10	-12

## 7.2 Límite Elástico.

La disminución del tamaño de grano medio final aumenta el límite elástico, tal como predice la ecuación de Hall-Petch. Además, en los aceros microaleados una reducción de la distancia interlamina de la perlita favorece el límite elástico y disminuye la temperatura de transición dúctil-frágil.

Como ya se ha comentado, el V es el microaleante de mayor solubilidad en la austenita y, por consiguiente, sus precipitados se forman a más bajas temperaturas fundamentalmente en fase ferrítica, lo que favorece la formación de precipitados muy pequeños que elevan notablemente el límite elástico. Sin embargo, el Nb aumenta el límite elástico del acero conjuntamente por afino de grano y endurecimiento por precipitación. El

titanio afina el grano austenítico durante la laminación en caliente y tiene un reducido efecto como endurecedor en solución sólida. Lo planteado anteriormente se ilustra en la Fig. 8 [13].

## 7.3 Resistencia Mecánica.

Para obtener mejoras en la resistencia mecánica y en la tenacidad de los aceros microaleados de medio carbono, se recomienda que la temperatura de calentamiento no sobrepase los 1230 °C, al igual que la temperatura al final de la forja y el cizallado no debe exceder los 1050 °C [17]. Así para el caso de un acero microaleado con contenidos próximos a 0,37 % de C, 0,12 % de V, 0,03 % de Al y 0,003 % de Ti, la resistencia a la rotura medida en un ensayo de tracción convencional disminuye al reducir la temperatura final de forja hasta llegar a estabilizarse a los 950 °C en 900 MPa [18].

El Mn aumenta el contenido de perlita y hace más fina la estructura de la misma al reducir la temperatura de transformación, lo cual redundará en un aumento de la resistencia mecánica.

En los aceros microaleados se obtienen buenas propiedades de resistencia y tenacidad cuando la estructura ferrítica-perlítica es lo más fina posible. En microaleados al Nb con contenidos de 0,10 % de C, 0,018 % de Nb y 0,046 % de Al, la estructura ferrítica-perlítica confiere buenas propiedades cuando la temperatura final de laminación está próxima a 885 °C y la de bobinado a 660 °C [19].

En aceros microaleados con contenidos próximos a 0,28 % de C, 0,01 % de V, y 0,02 % Al, una disminución de los contenidos de C, N y S va acompañada de una reducción en la resistencia mecánica, pero aumenta la ductilidad y tenacidad [18].

Evitando la recristalización dinámica se promueve la formación de estructuras ferrítico-perlíticas finas. En aceros microaleados al Nb con contenidos próximos a 0,06 % de C y 0,06 % de Nb, a una deformación de 0,20 y a una rapidez de deformación de 3,0 s<sup>-1</sup>, la recristalización se inhibe a temperaturas del orden de 1050 °C. En aceros microaleados al

V con contenidos próximos a 0,12 % de C y 0,06 % de V, deformados 0,40 a una rapidez de deformación de  $0,40 \text{ s}^{-1}$ , la recrystalización se inhibe a temperaturas del orden de  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  [20].

**7.4 Resistencia a la Fatiga.**

La resistencia a la fatiga de los aceros microaleados es equivalente a la de aceros convencionales templados, revenidos y nitrurados

[15]. Los procesos de mecanizado y nitruración suave aumentan la resistencia a fatiga de los aceros microaleados.

Aceros microaleados al V con contenidos próximos a 0,41 % de C, 0,10 % de V y 0,013 % de Al presentan límites de fatiga en flexión rotativa superiores a los de aceros al carbono con similar resistencias mecánicas [21].

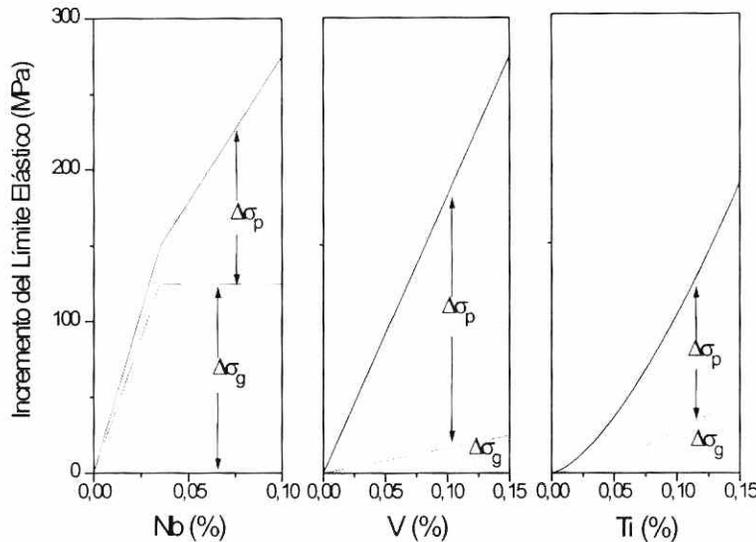


Fig 8. Contribución por afino de grano ( $\Delta\sigma_g$ ) y por precipitación ( $\Delta\sigma_p$ )

perlita, lo cual mejora la tenacidad y ductilidad del material [23].

Una estructura de ferrita-perlita relativamente basta, constituye uno de los factores negativos en la resistencia al impacto en los aceros microaleados. La tenacidad óptima se logra cuando se obtiene un espaciado interlaminar muy fino y laminillas de carburos muy delgadas en la perlita. Esta estructura ferrítico perlítica fina impide la propagación frágil de grieta, dando lugar a un

comportamiento dúctil del material [24].

El Ti y el Al juegan un papel favorable en el aumento de la tenacidad y ductilidad en los aceros microaleados, debido a que controlan el tamaño de grano durante la forja.

Si se aumenta la rapidez de deformación aumenta también la ductilidad ya

que ello estimula la recrystalización dinámica de pico simple, es decir, la aparición de grano fino. Aunque a rapideces muy altas puede tener lugar la restauración dinámica únicamente.

En un acero microaleado al V con contenidos alrededor de 0,38 % de C, 0,11 % de V y 0,02 % de Al, la resiliencia aumenta sensiblemente al disminuir la temperatura final de forja. Ello se justifica por la disminución del tamaño de grano y por el aumento en el contenido de ferrita alotrópica [7].

En el acero microaleado al V-Ti con contenidos próximos a 0,37 % de C, 0,11 % de V, 0,015 % de Ti y 0,024 % de Al, la tenacidad del acero con microestructura de ferrita acicular es mayor que la que se obtiene con el mismo acero cuando la microestructura es ferrita-perlita [24].

En aceros microaleados al V-Ti con contenidos próximos a 0,30 % de C, 0,11 % de V, 0,020 % de Ti y 0,038 % de Al, se alcanza un máximo relativo en la ductilidad, cuando la temperatura de la forja en semicaliente es cercana a los 775 °C [25]. En estos aceros las mejores propiedades de ductilidad corresponden para 0,10 % de V, 0,09 % de Ti [26].

En los aceros microaleados al Nb normalizados con contenidos próximos a 0,17 % de C, 0,042 % de Nb y 0,031 % de Al, si la temperatura de final de conformado es demasiado elevada y la rapidez de enfriamiento es alta (más de 150 °C/min), pueden aparecer constituyentes bainíticos, la cual elevan la temperatura de transición dúctil-frágil [27].

Cuanto más pequeño sea el tamaño del grano medio final y el de las colonias perlíticas y menor el espesor de las laminillas, menor será la temperatura de transición (ecuación de Cottrell-Petch). El Mn y Ni en solución sólida en la ferrita disminuyen la temperatura de transición dúctil-frágil.

### 7.6 Maquinabilidad.

La maquinabilidad de los aceros microaleados para forja es incluso mejor que la de los aceros convencionales bonificados. La distribución, forma y tamaño de las inclusiones no metálicas (MnS) juegan un papel fundamental en la maquinabilidad de los aceros microaleados [29]. Para que estos sulfuros tengan la menor incidencia negativa sobre las características mecánicas, el acero microaleado puede ser sometido a un proceso de globulización. Para el caso de los microaleados al V con contenidos próximos a 0,37 % de C, 0,11 % de V y 0,024 % de Al, el Te (en cantidades cercanas a 0,008 %) favorece ligeramente el proceso de globulización de los MnS [17].

Los aceros microaleados con una estructura ferrítica-perlítica fina producen unos índices más bajos de desgaste de las herramientas y una mayor duración en servicio, que los aceros convencionales templados y revenidos con niveles similares de resistencia

[15]. Por último los precipitados grandes de Ti afectan negativamente la maquinabilidad.

### 8. COMENTARIOS FINALES.

Por términos generales la suma de los contenidos de los elementos microaleados (V + Nb + Ti + Al) no debe exceder el 0,15 %. Para un buen efecto afinador de grano se recomienda utilizar por lo menos dos elementos microaleantes.

Los porcentajes de elementos microaleantes varían con las características del acero microaleado. Sin embargo la cantidad de V suele estar próximo a 0,10, la de Nb entre 0,02 y 0,09, la de Ti entre 0,02 y de 0,09 y la de Al próximo a 0,02.

Para que el afino de grano producto de los nitruros o carbonitruros sea apreciable, la concentración de N debe ser superior a 70 ppm. Por otro lado el B reduce el efecto afinador de grano del Ti.

El rango de composición de otros elementos de aleación que juegan un papel importante en las propiedades de los aceros microaleado es: Si (0,1 - 0,9 %), Mn (1,1 - 2,0 %), Cu (0,1 - 2,0 %) y Ni (0,1 - 1,5 %).

La temperatura de calentamiento para la forja no debe de exceder los 1230 °C, mientras que la temperatura de final de forja debe estar entre 950 y 1050 °C. Por último, se recomienda que la rapidez de enfriamiento debe regularse entre 40 y 100 °C/min.

### BIBLIOGRAFÍA.

1. A. Herrero, J. M. Cabrera, J. M. Prado. Memorias del V Congreso Nacional y I Iberoamericano de Tratamientos Térmicos, pp. 269-286. Barcelona, (1992).
2. E.V. Arnaiz. Editorial UNESID, pp 127. Valencia, (1985).
3. C. García, M.P. De Andrés, S.F. Medina y M. Carsí. Memorias de la Jornada Nacional

- de Calidad en Siderurgia, pp. 449-463. Valencia, (1985).
4. S.F. Medina, P. Fabregué y V. López. Rev. Metal. Madrid, 25 (4), pp. 238-246, (1989).
  5. J.M. Prado. *Trabajo monográfico: Recristalización y Precipitación Dinámica en Aceros Microaleados. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, UPC. Barcelona, (1991).*
  6. F. Peñalba y M. Carsí. Memorias del IV Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos, pp. 181-185. Vitoria, (1994).
  7. S.F. Medina y P. Fabregué. Deformación Metálica. 169, pp 35-41. Madrid, (1990).
  8. A. Al Omar, J.M. Cabrera, E. Flores y J.M. Prado. Propiedades Mecánicas de Sólidos, pp. 194-199. CPDA. Barcelona, (1996).
  9. J.M. Cabrera, A. Al Omar, A. Herrero, J.M. Prado. Memorias del VI Congreso Nacional De Tratamientos Térmicos y de Superficie, pp. 225-232. San Sebastián, (1995).
  10. F. Peñalba, C. García de Andrés, M. Carsí y F. Zapirain. Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Metalúrgica, pp. 97-106. Madrid, (1990).
  11. F. Peñalba, I. Gutiérrez, S. Barroso, M.T. Larrea y M. Carsí. Propiedades Mecánicas de Sólidos, pp. 326-331. CPDA. Barcelona, (1996).
  12. F. Peñalba, C. García y M. Carsí. Memorias del VI Congreso Nacional De Tratamientos Térmicos y de Superficie, pp. 309-316. San Sebastián, (1995).
  13. J. Asensio, J.I. Verdeja y J.A. Perosanz. Técnica Metalúrgica. 301, pp. 12-18. Barcelona, (1990).
  14. C.A. Hernández, S.F. Medina, J.E. Mancilla y V. Blázquez. Rev. Metal. Madrid, 28 (6), pp. 369-382, (1992).
  15. A. Herrero. *Trabajo monográfico: Utilización de Piezas Forjadas de Aceros Microaleados. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, UPC. Barcelona, (1988).*
  16. J.M. Prado y A. Herrero. Anales de Mecánica de la Fractura. Aiguablava, pp. 266-272, (1992).
  17. A. Herrero y J.M. Prado. Técnica Metalúrgica, 296, pp. 20-27. Barcelona, (1990).
  18. J.M. Prado, A. Herrero, M. Anglada y J.M. Cabrera. Memorias del IV Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos, pp. 105-116. Zaragoza, (1990).
  19. J.I. Larduru, F. Peñalba, F. Zapirain y M. Carsí. Memorias del VI Congreso Nacional De Tratamientos Térmicos y de Superficie, pp. 259-264. San Sebastián, (1995).
  20. S.F. Medina, J.E. Mancilla y C.A. Hernández. Memorias del V Congreso Nacional y I Iberoamericano de Tratamientos Térmicos, pp. 305-317. Barcelona, (1992).
  21. A. Herrero, J.M. Prado y S. Areste. Técnica Metalúrgica, 281, pp. 4-15. Barcelona, (1987).
  22. M. Anglada, A. Herrero, L. Iturgoyen y J.M. Prado. Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Metalúrgica, pp. 115-124. Madrid, (1990).
  23. A. Herrero. *Trabajo monográfico: Aspectos Metalúrgicos de los Aceros Microaleados. Departamento de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, UPC. Barcelona, (1989).*
  24. M.A. Linaza, J.L. Romero, J.M. Rodríguez Ibabe y J.J. Urcola. Anales de Mecánica de la Fractura. pp. 56-63. Mérida, (1993).
  25. F. Peñalba, M. Carsí, C. García de Andrés, M.P. De Andrés y F. Zapirain. Memorias del V Congreso Nacional y I Iberoamericano

- de Tratamientos Térmicos, pp. 111-125. Barcelona, (1992).
26. F. Peñalba, M. Carsí, C. García de Andrés y F. Zapiain. Memorias del IV Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos, pp. 291-309. Zaragoza, (1990).
27. M.A. Huerta, J.I. Verdeja y J.A. Perosanz. Técnica Metalúrgica, 301, pp. 4-11. Barcelona (1990).
28. J.M. Ruiz y I. Aldayturriaga. Técnica Metalúrgica, 294, pp. 18-23. Barcelona (1989).
29. J.M. Prado y A. Herrero. Anales de Ingeniería Mecánica. Año 7, **Vol 3**, pp. 7-11. Barcelona, (1989).
30. A. Al Omar. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, 1996.

## HISTOFISIOLOGIA DEL OPERCULO DEL GUAPOTE, *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837). ADAPTADO AL AGUA DULCE Y DE MAR.

Por

Omar A. Dupuy L. y César A. Villarreal.

Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal

### RESUMEN

La estructura microscópica del epitelio opercular del guapote (*Dormitator latifrons*, R.), es descrita por vez primera en el trabajo presente. Igualmente se reportan las respuestas de las células de cloro (CC) y de moco (CM) de este órgano, al ser sometido el guapote al agua de mar (AM) y dulce (AD). El resultado más importante es el de que las CC son escasas en el epitelio opercular, contrastando en este respecto, con las correspondientes del epitelio branquial, en donde son muy abundantes. Adicionalmente, observamos que las CM, son más activas en AD que en AM, ya que su número, diámetro y tintorialidad es más marcada en el primer medio que en el segundo. Finalmente se discute en forma pormenorizada las respuestas citológicas de las CM al ser expuestas a medios de diferente salinidad.

### PALABRAS CLAVES:

*Dormitator latifrons*, epitelio opercular, opérculo, células de moco, células de cloro, mucocitos, ionocitos, osmorregulación, ionosmorregulación.

### INTRODUCCION

El epitelio opercular de los peces ha sido sometido a un estudio cuidadoso desde la década de los ochenta, cuando se demostró que constituye uno de sus tejidos osmorreguladores y de excreción más importantes (Karnaky, 1980). La primera evidencia en este sentido fue aportada por Burns y Copeland, quienes en 1950, demostraron que el epitelio opercular de

*Fundulus heteroclitus* posee células de cloro (CC) o ionocitos. Más tarde se comprobó que en este epitelio: (a) el número de CC aumenta con la salinidad del medio y que (b) las CC del mismo, son el único elemento electrogénico y conductivo aquí presente (Foskett y Scheffey, 1982; Zadunaisky, 1984a). Los atributos fisiológicos e histológicos de este tejido han sido extendidos a la tilapia (*Oreochromis mossambicus*); el gobio (*Gillichthys mirabilis*) y el killifish (*F. grandis*) (Foskett y Scheffey, 1982; Zadunaisky, 1984a). Las características mencionadas, son enormemente apreciadas por los fisiólogos, toda vez que permiten estudiar segmentos dermales del opérculo en la cámara de Ussing (Ussing y Zerahn, 1951) con el propósito de conocer las propiedades conductivas de las CC, tanto como de otras características de los tejidos secretores (Karnaky, 1980; Zadunaisky, 1984 a y b).

Histológicamente el opérculo consiste de un tejido conectivo vascularizado, fibras de colágeno, células pigmentadas y fibras musculares estriadas que mueven los radios branquiostélicos (Karnaky, 1980). A éstos se suma un epitelio estratificado que incluye células no diferenciadas, pavimentosas, y las secretoras de cloro (CC) y moco (CM) o mucocitos (Karnaky y Kinter, 1977; Karnaky *et al.*, 1977). Por otro lado, trabajos independientes han llevado a concluir que las CM y CC operculares están relacionadas con funciones osmorreguladoras (Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978; Avella *et al.*, 1987; Hwang, 1988; Perry y Laurent, 1989).

El *Dormitator latifrons* (R.) es capaz de osmorregular en forma altamente eficiente en medios hiperosmóticos (Chang, 1984; Villarreal *et al.* 1986, 1993). El órgano osmorregulador por excelencia en este pez es la branquia, ya que el *D. latifrons* adaptado al agua de mar (**AM**) presenta en sus branquias **CC** más grandes y más numerosas que los adaptados al agua dulce (**AD**). En tanto que las **CM** disminuyen en tamaño y número una vez que la branquia es adaptada a **AM** (Katsudas, 1994; Dupuy y Villarreal, 1997).

El propósito de este trabajo es presentar una visión panorámica de la histología del opérculo del *D. latifrons* desde la perspectiva de las diferencias encontradas en los guapotes adaptados a **AD** y a **AM**; ampliando de esta forma las propiedades osmorreguladoras de la branquia a este tejido. Tal conocimiento, hará viable el estudio de las propiedades ionorreguladoras y secretoras del opérculo en forma aislada, tanto como de su capacidad para generar potencial transepitelial. Esta última posibilidad, permitirá el uso del epitelio opercular del guapote como modelo de membrana para el estudio de sus propiedades bioeléctricas, mediante el uso de la cámara de Ussing (Ussing y Zerahn, 1951).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Método de Captura:

Se capturaron 32 ejemplares machos y 24 hembras de *D. latifrons* ( $99,4 \pm 4,0$  g. de peso y  $15,8 \pm 0,2$  cm. de longitud estandar), en la localidad Puente de la Reina de Panamá Viejo, Provincia de Panamá ( $9^{\circ} 1' 6,6''N$ ;  $79^{\circ} 28' 37''W$ ). Los peces colectados fueron trasladados al Lab. Dr. Erich Graetz del Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal, en donde se realizaron los experimentos.

### Aclimatación:

Para la aclimatación de los peces se siguieron los procedimientos descritos por Dupuy y Villarreal (1997). Una vez aclimatados, los peces fueron transferidos a 4 peceras de

75,7 L., en número de 14 peces en cada una. Se tuvo el cuidado de asegurar que la distribución por sexo fuera lo más homogénea posible. Dos tanques fueron llenados con agua de grifo declorinada, aquí definida como agua dulce **AD** (Control). Los otros dos tanques fueron colmados con agua de mar 32,0 ‰ (**AM**).

Al inicio de la transferencia ( $t=0$ ) a los diferentes tanques se muestrearon 4 peces, de allí en adelante se tomaron 3 peces diario por tanque durante 7 días y muestras similares el día 15 del experimento. Los peces fueron sacrificados mediante sobreenestesia con etil-*m*-aminobenzoato (MS 222) a una concentración de 180 mg/L (Villarreal y Valdés, 1995); finalmente, se extraían los opérculos.

### Tratamiento histológico para microscopia óptica (MO):

Los opérculos fueron fijados en solución de Bouin por un período no mayor de 72 h, al término del cual se obtuvieron trozos del área central del opérculo izquierdo, los cuales fueron posteriormente lavados bajo flujo continuo de agua de grifo por 48 h. Las muestras, seguidamente, fueron descalcificadas con  $HNO_3$  10% por 2 h, deshidratadas con etanol en grado creciente, aclaradas en xilol e incluidas en parafina. Con el propósito de examinar ambas superficies del opérculo, la capa mucosa interna (pared de la boca) y la capa mucosa externa (epitelio), se realizaron cortes transversales del opérculo a  $3 \mu m$  de espesor. A continuación los cortes fueron teñidos con el **Método de Cain** para mitocondria (Luna, 1968).

### Mediciones morfométricas:

El estado del opérculo de *D. latifrons* fue estimado cualitativa y cuantitativamente. En el último caso, la evaluación se realizó mediante la medición de los índices celulares (**IC**) denominados densidad y diámetro celular. La **densidad celular** comprende el número de células por unidad de área, mientras que el **diámetro celular (DC)** consiste en dividir entre dos la suma de la longitud y el ancho celular, y expresado por la ecuación

**DC** = Longitud máxima+Ancho máximo/2 (Villarreal *et al.* 1996).

La determinación del diámetro celular se realizó con la ayuda de un micrómetro ocular, en 5 células de cloro y 25 de moco nucleadas presentes en un corte transversal del opérculo por cada pez. Para la determinación de la densidad celular se contaron el número de células de cloro y moco presente en un área de  $5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$  de epitelio opercular. No obstante, el número de **CC** era tan exiguamente pequeño que la determinación de la densidad celular de ellas se hizo imposible.

La actividad secretora fue evaluada subjetivamente mediante la determinación del grado de tintorialidad de las células de moco del opérculo. Con este fin, a las células de moco, se le asignaron dos categorías de celeste, a saber: (a) **intenso**, (b) **claro**. Seguidamente se determinó el porcentaje correspondiente de cada categoría del total de células de moco.

#### **Análisis estadístico de la data:**

Se emplearon las pruebas **no paramétricas**: Chi cuadrado, Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney (Sokal y Rohlf, 1979). Para tal efecto se hizo uso del programa blando **True Epistat**. Los resultados se expresan como **promedio ± ES**.

## **RESULTADOS**

### **Histoquímica del opérculo**

Las reacciones químicas entre la tinción para mitocondrias de Cain y los diferentes componentes celulares del tejido opercular de *D. latifrons* son similares a las de sus homólogos en branquias. Para una descripción detallada de las mismas ver Dupuy (1995) y Dupuy y Villarreal (1997).

### **Histología del opérculo:**

El opérculo del *D. latifrons*, *in toto* se sienta en un lecho de tejido conectivo vascularizado, fibras de colágeno y fibras musculares

estriadas. La capa mucosa externa está constituida de un epitelio plano estratificado en el que se observan en abundancia las **CM**, mientras que sorprendentemente las **CC** son escasas. En agua dulce las **CM** conforman una capa compacta de células. Entre tanto, en los guapotes adaptados a **AM**, las **CM** están disgregadas a todo lo largo del epitelio. Las **CC** son ovaladas, con núcleo excéntrico y su citoplasma se tiñe diferencialmente de rojo (reacción de Cain). El número de **CC** operculares, a diferencia de la branquia, fue tan exiguo en ambos tratamientos, que no fue posible un análisis estadístico de esta población celular. Circundantes a las **CM** y **CC** se encuentran las células no diferenciadas, las cuales se continúan más hacia el interior del tejido opercular (Figs. 1 y 2A y B).

### **Diámetro del mucocito opercular adaptado a AD y AM:**

Las **CM** de *D. latifrons* adaptado a **AD** incrementan significativamente ( $p < 0,05$ ) su tamaño luego de las primeras 24 h con respecto a la de los peces habituados a **AM**, desde un diámetro de  $8,733 \pm 0,295 \mu\text{m}$  hasta un valor máximo de  $15,013 \pm 0,387 \mu\text{m}$  a las 120 h. Mientras los guapotes adaptados a **AM** mantenían inalterado su tamaño con excepción al correspondiente a las 48 h cuando su diámetro fue significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor que en **AD**. De las 120 h en adelante el diámetro de los mucocitos de los guapotes adaptados a **AD** disminuyó en forma variable alcanzando el valor **AM** a las 360 h (Fig. 3).

### **Densidad del mucocito opercular adaptado a AD y AM:**

La divergencia entre el número de mucocitos en los opérculos de los peces adaptados **AD** fue significativamente ( $p < 0,001$ ) diferente al de los opérculos de los peces en **AM** después de las primeras 48 h cuando la densidad celular en los peces de **AD** aumentó notablemente hasta alcanzar un valor máximo de  $2,61 \times 10^5 \pm 0,15 \text{ células/cm}^2$  a las

120 h. Seguidamente el número de células de moco en los opérculos de estos peces disminuyó hasta  $0,71 \times 10^5 \pm 0,076$  células/cm<sup>2</sup> a las 168 h para luego aumentar a  $1,49 \times 10^5 \pm 0,17$  células/cm<sup>2</sup> a las 360 h. Mientras que en los peces de **AM** decreció de un valor de  $1,04 \times 10^5 \pm 0,12$  células/cm<sup>2</sup> a las 48 h hasta uno de  $0,05 \times 10^5 \pm 0,02$  células/cm<sup>2</sup> a las 360 h (Fig. 4).

### Tintorialidad de los mucocitos operculares:

El porcentaje de **CM**, intensamente teñidas de celeste, en los peces expuestos a **AD** se incrementó paulatinamente hasta alcanzar un valor de  $92,0 \pm 0,92$  % a las 144 h luego disminuyó en las horas subsiguientes hasta un  $73,33 \pm 2,67$  %. Los peces sometidos a **AM**, mientras tanto, mantuvieron el porcentaje de tintorialidad celular significativamente ( $p < 0,05$ ) por debajo de los correspondientes en **AD**, con excepción de las 168 h cuando lo inverso fue cierto (Fig. 5 y Cuadro 1). Los mucocitos de los opérculos de los guapotes sometidos a **AM** describieron el mismo patrón que los sometidos a **AD**, aunque con un ligero desplazamiento temporal, y como se indicó anteriormente la tintorialidad para cada hora fue significativamente inferior ( $p < 0,05$ ) a la correspondiente a **AD**. El porcentaje más bajo de tintorialidad para estos peces fue de  $7,69 \pm 2,81$  % mucocitos celeste intenso a las 360 h de tratamiento.

### Variación en los IC y tintorialidad en cada tratamiento:

Al analizar el comportamiento de los **IC** y de la densidad celular dentro de cada tratamiento (**AD** y **AM**) para cada hora la variación fue altamente significativa ( $p < 0,005$ ) en cada uno de ellos (Cuadro 2).

## DISCUSION

### Significado funcional de las variaciones citológicas:

El incremento en diámetro y tintorialidad celular es corrientemente interpretado como el resultado de tres eventos celulares: síntesis, almacenamiento y secreción de productos metabólicos (Follénus *et al.*, 1978; Villarreal, 1983). El aumento en diámetro celular (hipertrofia) será el resultado de una alta actividad sintética y de almacenamiento, asociada a una secreción moderada de productos. Tal evento vendrá corroborado por un incremento en tintorialidad (almacenamiento de productos). Por otra parte, un incremento en densidad celular es representativo de un proceso de proliferación celular (hiperplasia) (Villarreal *et al.*, 1996). Los resultados del presente escrito son consistentes con esta interpretación como se hará evidente más adelante. No obstante, la metodología utilizada para demostrar tales respuestas no es inequívoca, toda vez que nosotros observamos que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0,005$ ) dentro de los tratamientos (**AD** y **AM**) para cada hora (Cuadro 2). Diferencias éstas, que no pueden ser adscritas a la influencia del medio externo (salinidad), sino a error de muestreo. En un trabajo, no muy bien valorado, Clancy y Herlihy (1979), demostraron que la metodología aquí usada, incrementa significativamente la varianza, cuando se la compara con aquella que cuantifica directamente el diámetro celular. Dicho error, sin embargo, puede aminorarse cuando se miden células que presentan núcleo central (Foucher y Beamish, 1980; Rob, 1982). En el presente trabajo se midió células nucleadas, mientras que Katsudas (1994), midiendo directamente el diámetro celular en la branquia del guapote sometido a **AM** y **AD**, a microscopía electrónica encontró resultados similares y comparables por los reportados aquí, por nosotros. Finalmente las células sometidas a **AM** presentaron consistentemente valores de **IC** significativamente menores ( $p < 0,05$ ), a los correspondientes a **AD**.

### La importancia de los ionocitos operculares:

La inferencia más importante derivada de este trabajo está representada por el hecho de que el tejido opercular del *Dormitator latifrons* (R.), no muestra gran abundancia de ionocitos o **CC**, esta característica le distancia del otro gobioido eurihalino mejor estudiado, el chupaboca (*Gillichthys mirabilis*) (Karnaky, 1980; Zadunaisky, 1984a). Uno de los propósitos de la presente investigación era el de determinar si el tejido opercular del guapote era adecuado para el estudio bioeléctrico mediante el uso de la cámara de Ussing (Ussing y Zerahn, 1951). Tal estudio permitiría conocer indirectamente las capacidades electrogénicas de los ionocitos (Karnaky, 1980, Zadunaisky, 1984a, 1984b; Zadunaisky *et al.*, 1988). La ausencia de **CC** en el opérculo del guapote le descalifica como tejido apropiado para estudios de ionoosmorregulación.

### El comportamiento de los mucocitos operculares:

Los mucocitos, a diferencia de las **CC**, son extremadamente abundantes en el tejido opercular y son capaces de responder a variaciones en la presión osmótica del medio (Figs. 1 y 2A y B). En efecto, la **CM** guardan una relación inversa con la presión osmótica, toda vez que al aumentar esta última, el diámetro, densidad y tintorialidad de las primeras disminuyen en forma significativa ( $p < 0.05$ ) (Figs. 3, 4 y 5). Estos resultados coinciden con aquellos reportados independientemente por Dupuy y Villarreal (1997), para la branquia del guapote. Así tenemos, que estos investigadores comunican que los mucocitos disminuyen en tamaño y número, al adaptarse la branquia del *D. latifrons* a **AM**. Una conducta similar ha sido reportada para la branquia de los peces eurihalinos, espino de tres espinas (*Gasterosteus aculeatus*) y el coto cuernos de alce (*Leptocottus armatus*); tanto como para el pez estenohalino *Carassius auratus* (pececito

dorado) (Araya y Mugita, 1974; Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978).

### Papel de los mucocitos en la adaptación hiperosmótica:

La respuesta tintorial de las **CM** del epitelio opercular puede ser interpretada en el sentido de que los mucocitos del opérculo adaptado a **AD** sintetizan y secretan más moco que cuando están adaptados a **AM**. Pues para casi todas las horas estudiadas la tintorialidad de las **CM** fue significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en **AD** que en **AM** (Fig. 5 y Cuadro 1). Esta respuesta contrasta ligeramente con aquella reportada para la branquia del guapote que presenta mucocitos con mayor grado de tintorialidad en los peces adaptados a **AD** durante las primeras 120 h de adaptación, de allí en adelante la relación se invierte. Esto es, que los mucocitos adaptados a **AM**, después de este instante, presentan mayor tintorialidad que los adaptados a **AD** (Dupuy y Villarreal, 1997). Estos autores explicaron sus resultados sugiriendo que esta respuesta de la branquia reflejaba un compromiso entre las funciones hiperosmorreguladoras adscritas a los mucocitos y sus funciones protectoras a saber, inmunitaria, antifriccional y antitóxicas (Marshall, 1976; Mallatt, 1985). El presente trabajo sugiere una explicación adicional para la respuesta antes reseñada. Así tenemos, que los mucocitos operculares se encuentran más apiñados y poseen diámetros celulares mayores que los correspondientes a los mucocitos branquiales. Estas dos observaciones indican que las mediciones obtenidas en la población celular opercular son más precisas y por ende menos sujetas a error de muestreo que las correspondientes a la branquia. Concluimos entonces, que la función de los mucocitos del opérculo tanto como los de la branquia de *D. latifrons* es la de participar en los procesos de hiperosmorregulación, al producir una cubierta mucosa que actúa como barrera protectora en medios hipoosmóticos (Burden, 1956; Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978). Esta interpretación se ve confirmada por el hecho de que en ambos tejidos, tanto el diámetro como el número de

estas células aumenta en **AD** (ver figuras 6b y 7b en Dupuy y Villarreal, 1997). Consistente con esta interpretación, Wendelaar Bonga (1978) ha demostrado, al menos en la tilapia, que el número y tamaño de los mucocitos está inversamente relacionado con la concentración de calcio y como el mucus de los peces contiene proteínas secuestradoras de calcio (Jagoe y Haines, 1990), es muy probable que la cubierta mucosa aumente la concentración de calcio en la superficie del integumento. A su vez, esta situación permitiría una disminución de la tasa de permeabilidad al agua y a los iones, incluso en medios con bajo nivel de calcio. Todos estos resultados son coherentes con la afirmación de Villarreal *et al.* (1993) en el sentido de que el guapote posee mecanismos dermales pasivos, como el arriba descrito, que le permiten resistir variaciones rápidas de osmolaridad, antes de poner en juego dispositivos osmorreguladores más radicales.

## AGRADECIMIENTO

Al Dr. Alfredo Soler, a los Licenciados María Pérez y Edilberto Aguilar, por facilitarnos y asesorarnos en el uso del equipo fotográfico de microscopía óptica.

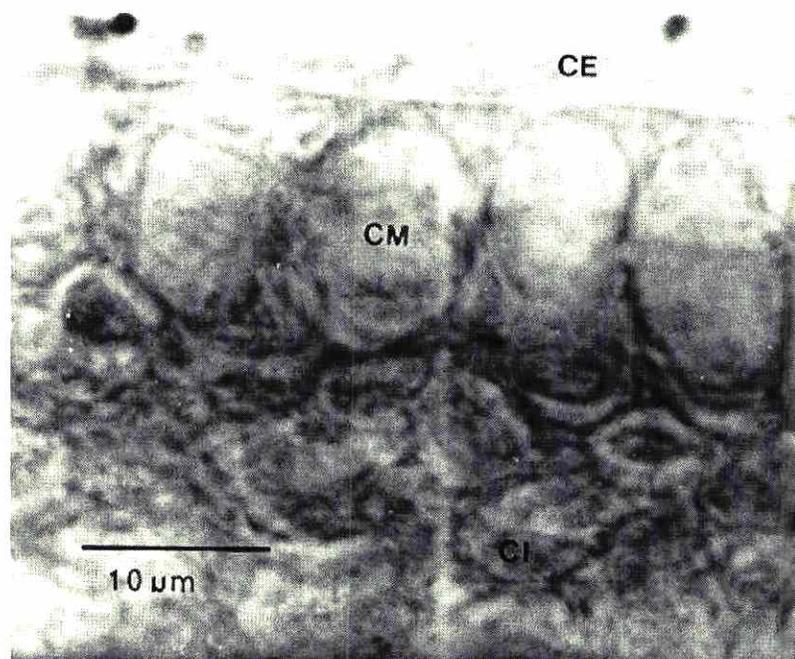
**CUADRO 1. Anova Simple de los Datos de Tintorialidad de las Células de Moco entre Tratamientos.**

T(h)	Valores de F
0	---
24	8,185 *** p < 0,05
48	236,308 *** p < 0,005
72	25,825 *** p < 0,01
96	26,692 *** p < 0,01
120	251,281 *** p < 0,005
144	128,180 *** p < 0,005
168	7,420 ** p < 0,1
360	994,295 *** p < 0,005

**CUADRO 2. Anova Simple de los Datos de Diámetro, Densidad y Tintorialidad para cada Tratamiento.**

Índice Celular	Valores de F	
	AD	AM
Diámetro	106,539 ***	36,821 ***
Densidad	61,275 ***	40,354 ***
Tintorialidad	412,834 ***	130,698 ***

**FIGURA 1.** Sección transversal del epitelio opercular del guapote adaptado por 144 h a AD. CM: Células de moco. CI: Células indiferenciadas. CE: Células epiteliales. Método de Cain (MC). 500X.



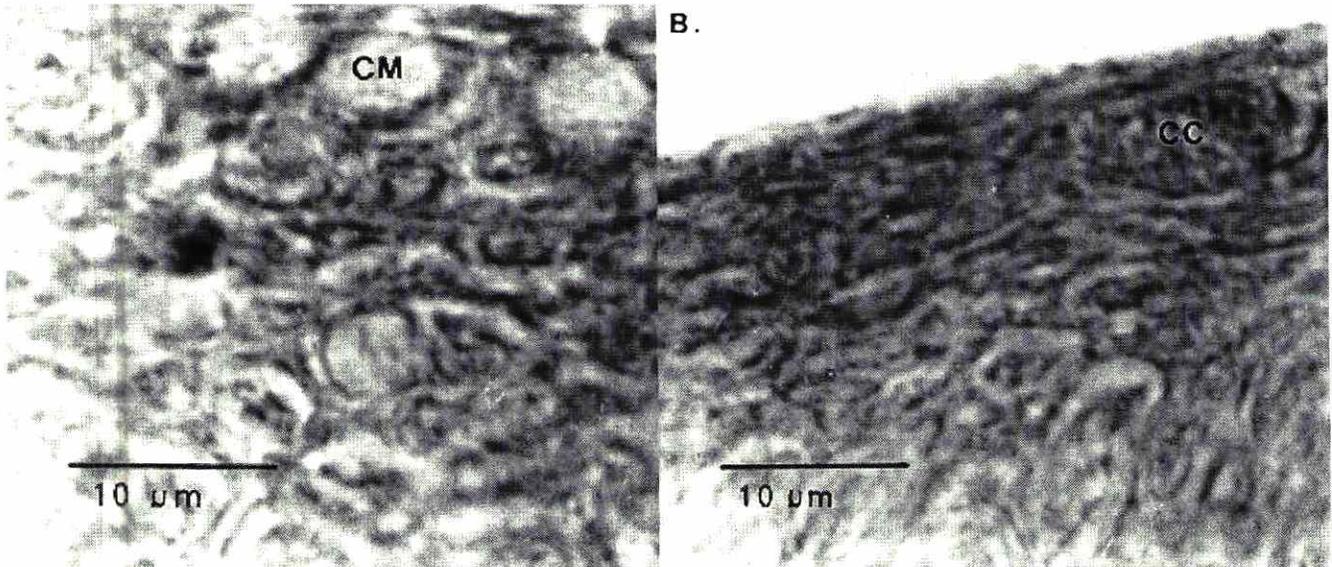


FIGURA 2. Sección transversal del epitelio opercular del guapote adaptado por 144 h a AM. MC. 500X. (A.) CM: Células de moco. (B.) CC: Célula de cloro.

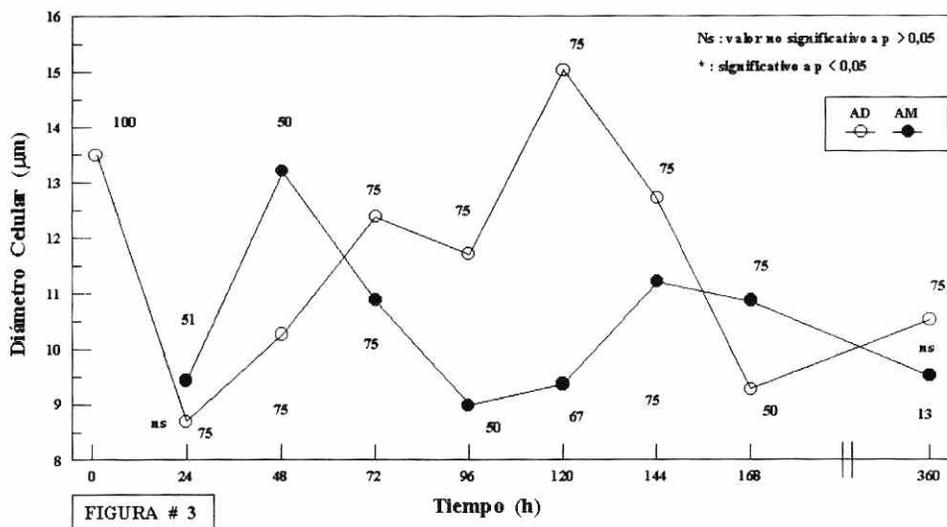


FIGURA 3. Variación en el diámetro celular (µm) de las células de moco o mucocito del epitelio opercular de guapotes sometidos a AM (experimental) y a AD (control). Promedio ± ES. N: número de células. \* p < 0,05. ns: no significativo.

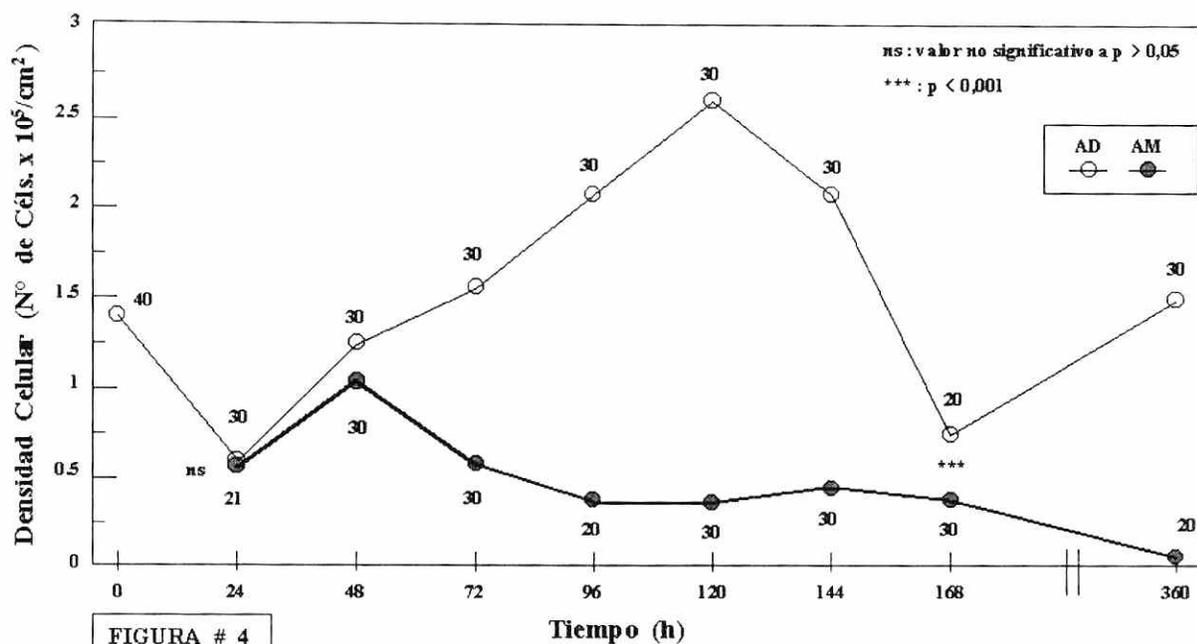


FIGURA 4. Variación en densidad celular (No. de células x 10<sup>5</sup>/cm<sup>2</sup>) de las células de moco o mucocitos del epitelio opercular de guapotes sometidos a AM y a AD. Promedio  $\pm$  ES. N: número de células. \*\*\*  $p < 0,001$ . ns: no significativo.

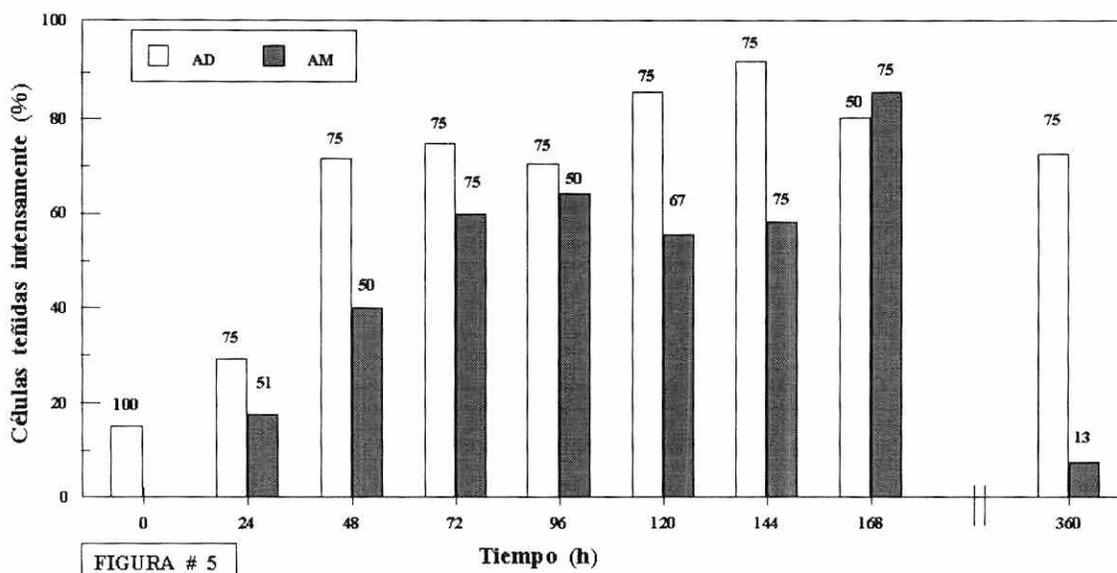


FIGURA 5. Variación en la intensidad de tintorialidad de las células de moco o mucocitos (celeste intenso.) del epitelio opercular de guapotes sometidos a AM y AD. Promedio  $\pm$  ES. Barras en negro AM. y las barras en blanco AD.

## BIBLIOGRAFÍA:

1. ARAYA, K. y MUGIYA, Y. 1974. Effects of calcium removal from dilute sea water on salinity tolerance and blood constituents levels of goldfish with a note of mucus release from the gills. **Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.** 25, 200-210.
2. AVELLA, M., MASON, A., BORNANCIN, M. y MAYER-GOSTAN, N. 1987. Gill morphology and sodium influx in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) acclimated to artificial freshwater environments. **J. Exp. Zool.** 241, 159-169.
3. BURNS, J. y COPELAND, D.E. 1950. Chloride excretion in the head region of *Fundulus heteroclitus*. **Biol. Bull. Woods Hole Mass.** 99, 381-385.
4. BURDEN, C.E. 1956. The failure of hypophysectomized *Fundulus heteroclitus* to survive in fresh water. **Biol. Bull.** 110, 8-28.
5. CHANG, B.D. 1984. Tolerances to salinity and air exposure of *Dormitator latifrons* (Pisces: Eleotridae). **Rev. Biol. Trop.** 32, 155-158.
6. CLANCY, M.J. y HERLIHY, P.D. 1979. Muscle fibre size and their frequency distributions. **Manuscrito**. Meeting of the Society for Experimental Biology. The Queen's Univ. Belfast. July 4-6.
7. DUPUY L., O. 1995. **Estructura Histológica y Adaptación Hipoosmótica de la Región Operculo-branquial del guapote *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837)**. Tesis de Licenciatura. Dep. de Fisiol. y Comp. Animal. Universidad de Panamá. 100 pp.
8. DUPUY L., O. y VILLARREAL, C.A. 1997. Respuestas del epitelio branquial del guapote, *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837) durante adaptación osmótica. **Scientia (Panamá): en prensa.**
9. FOLLÉNIUS, E., DOERR-SCHOTT, J. y DUBOIS, M.P. 1978. Immunocytology of pituitary cells from teleost fishes. **Int. Rev. Cytol.** 54, 193-223.
10. FOSKETT, J.K. y SCHEFFEY, C. 1982. The chloride cell: Definitive identification as the salt-secretory cell in teleosts. **Science** 215, 164-166.
11. FOUCHER, R.P. y BEAMISH, R.J. 1980. Production of nonviable oocytes by Pacific hake (*Merluccius productus*). **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 37, 41-48.
12. HWANG, P-P. 1988. Multicellular complex of chloride cells in the gills of freshwater teleosts. **J. Morphol.** 196, 15-22.
13. JAGOE, C.H. y HAINES, T.A. 1990. Morphometric effects of low pH and lime water on the gills of Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 47, 2451-2460.
14. KARNAKY, K.J. 1980. Ion-secreting epithelia: Chloride cells in the head region of *Fundulus heteroclitus*. **Am. J. Physiol.** 238, R185-R198.
15. KARNAKY, K.J., DEGNAN, K.J. Y ZADUNAISKY, J.A. 1977. Chloride transport across isolated opercular epithelium of killifish: A membrane rich in chloride cells. **Science.** 195, 203-205.
16. KARNAKY, K.J. Y KINTER, W.B. 1977. Killifish opercular skin: a flat epithelium with a high density of chloride cells. **J. Exp. Zool.** 199, 355-364.
17. KATSUDAS, L.M. 1994. **Cambios en la estructura fina de las células de cloro y prolactina en *Dormitator latifrons* R. (Pisces: Eleotridae) durante adaptación osmótica**. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica, San José. 185 pp.
18. LUNA, L.G. 1968. **Manual of histologic staining methods of the Armed Force**

- Institute of Pathology**. 3 Edición. Auklan: McGraw-Hill. 258 pp.
19. MARSHALL, W.S. 1976. Effects of hypophysectomy and ovine prolactin on the epithelial mucus-secreting cells of the Pacific staghorn sculpin, *Leptocottus armatus* (Teleostei: Cottidae). **Can. J. Zool.** 54, 1604-1609.
  20. MALLATT, J. 1985. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: A statistical review. **Can. J. Fish. Aquat. Sci.** 42, 630-648.
  21. PERRY, S.F. y LAURENT, P. 1989. Adaptational responses of rainbow trout to lowered external NaCl concentration: Contribution of the branchial chloride cell. **J. exp. Biol.** 147, 147-168.
  22. ROB, A.P. 1982. Histological observation on the reproductive biology of haddock, *Malanogrammus aeglefinus* (L.) **J. Fish Biol.** 20, 397-408.
  23. SOKAL, R.R. y ROHLF, F.J. 1979. **Biometría**. 1ra. Edición. Madrid: H. Blume Ediciones. 832 pp.
  24. USSING, H.H. y ZERAHN, K. 1951. Active transport of sodium as source of electric current in the short-circuited isolated frog skin. **Acta Physiol. Scand.** 23, 110-127.
  25. VILLARREAL, C.A. 1983. **The role of light and endocrine factors in the development of bimodality of growth in the juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.)**. Tesis Doctoral. Departamento de Biología. Universidad de Stirling, Escocia.
  26. VILLARREAL, C.A., KATSUDAS, L.M. y HERRERA, M.E.. 1996. Histofisiología de la adenohipofisis del guapote, *Dormitator latifrons* (Pisces: Eleotridae): Estudio microscópico. **Scientia (Panamá)** 11 (2), 187-226.
  27. VILLARREAL, C.A., LÓPEZ, M.A., DE VINCENTTI, F., FANILLA, E. DE y BERROCAL, D.G. 1986. Adaptación osmótica del góbido eurihalino *Dormitator latifrons* (Richardson). **Scientia (Panamá)** 1, 9-15.
  28. VILLARREAL, C.A., LÓPEZ, M.A. DE, VALDÉS, E.A., BERROCAL, D.G. y HERRERA, M.E. 1993. Respuestas osmoadaptativas de guapote, *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837) durante la transferencia directa hacia y desde agua de mar. **Revista Universidad IV Epoca** No.48, 69-78.
  29. VILLARREAL, C.A. y VALDÉS, E. 1995. Efecto estresante del metanosulfonato de tricaina (MS-222) en estudios fisiológicos del *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837). **Informe Final VIP**. Universidad de Panamá, Panamá. 42 pp.
  30. WENDELAAR BONGA, S.E. 1978. The effects of change in external, sodium, calcium and magnesium concentrations on prolactin cells, skin, and plasma electrolytes of *Gasterosteus aculeatus*. **Gen. Comp. Endocrinol.** 34, 265-275.
  31. ZADUNAISKY, J.A. 1984a. The chloride cell: The active transport of chloride and the paracellular pathways. **En: Fish Physiology**. Eds: W.S. Hoar y D.J. Randall. Vol. 10B, p. 129-172. New York: Academic Press.
  32. ZADUNAISKY, J.A. 1984b. Chloride secretion by chloride cells of the isolated opercular epithelium of marine fish. **En: Lectures Notes on Coastal and Estuarine Studies**. Eds: R. T. Barber, Ch. N. K. Mooers, M. J. Bowman y B. Zeitzschel. Vol 9. (Osmoregulation in Estuarine and Marine Animals) pp. 51-65.
  33. ZADUNAISKY, J.A., CURCI, S., SCHETTINO, T., Y SCHEIDE, J.I. 1988. Intracellular voltage recordings in the opercular epithelium of *Fundulus heteroclitus*. **J. Exp. Zool.** 247, 126-130.

## DINÁMICA DE CRECIMIENTO (II PARTE)

Por:

**Aurelio Aparicio N.**

Departamento de Matemática

### RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del análisis de algunos casos de interacción entre dos especies en un sistema ecológico.

Se trataron en particular la depredación y la competición entre dos especies, y a partir de los modelos matemáticos que rigen estos tipos de interacciones, procedimos con el análisis cualitativo de las ecuaciones planteadas.

### PALABRAS CLAVES

Amensalismo, exclusión competitiva, capacidad de porte, potencial biótico.

### INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este trabajo consiste en destacar la importancia del análisis cualitativo de los sistemas no lineales de ecuaciones diferenciales y sus aplicaciones a los problemas ecológicos.

En la primera parte de nuestro trabajo presentamos el caso de interacción entre dos especies pro depredación y planteamos además, que existen otros tipos de acción recíproca entre dos especies que habitan en un mismo sistema ecológico tales como el **Neutralismo**, **Competición**, **Amensalismo**, **Parasitismo** entre otras. Lo cierto es que en el ecosistema, todos los tipos de interacción entre dos especies pueden ser consideradas como acciones recíprocas "**positivas**" o "**negativas**", lo que constituye a nuestro parecer una réplica de la "**Ley de Acción y Reacción**" dentro del mundo de las especies. Lo extraordinario de todo esto es que a fin de lograr la supervivencia, las

especies se organizan de alguna manera para reducir a la mínima expresión las interacciones negativas.

### COMPETICIÓN ENTRE ESPECIES

Cuando dos o más especies habitan en un mismo sistema ecológico, es de esperarse que surja entre ellos una competición que afecte directa o indirectamente el crecimiento y la supervivencia de una de las especies.

La interacción competitiva puede ser por espacio, alimentos, luz o cualquier recurso común o bien puede ser, por inhibición directa de cada especie por la otra.

Cuando la competición es tal que produce la separación ecológica de dos especies similares, entonces se tiene el PRINCIPIO DE EXCLUSIÓN COMPETITIVA o *principio de Gause*.

La competición en un sistema ecológico cerrado, donde cada población tiene una capacidad de parte  $K_1$  y  $K_2$  definida, se expresa mediante el modelo matemático.

$$(1) \quad \begin{cases} N_1 = \frac{r_1 N_1}{K_1} (K_1 - N_1 - \alpha N_2) \\ N_2 = \frac{r_2 N_2}{K_2} (K_2 - \beta N_1) \end{cases}$$

en donde

$r_1$  y  $r_2$  representan los índices de crecimiento de las poblaciones  $N_1$  y  $N_2$  respectivamente. Por otro lado,  $\alpha$  y  $\beta$  son los coeficientes de competición que reflejan el grado de influencia

de una especie sobre la otra. Así,  $\alpha$  cuantifica el efecto inhibitor de la especie  $E_2$  sobre la especie  $E_1$  y  $\beta$  el efecto inhibitor de la especie  $E_1$  sobre la especie  $E_2$ .

Cabe destacar que el producto  $\alpha N_2$  en la ecuación (1) representa el número total de sitios de hábitat de la especie  $E_1$  que son ocupados por miembros de la especie  $E_2$ , y el producto  $\beta N_1$  es el número total de sitios del hábitat de la especie  $E_2$  que son ocupados por miembros de la especie  $E_1$ .

De lo anterior se deduce lo siguiente:

- Si dos especies ocupan nichos ecológicos diferentes, entonces  $\alpha = \beta = 0$  y por lo tanto el crecimiento de las poblaciones se ven afectadas por el autohacinamiento de cada una de ellas y no por los efectos perjudiciales entre las dos especies.
- Si dos especies son similares (organismos con hábitos y forma de vida similares) y reclaman el mismo nicho ecológico, entonces  $\alpha = \beta = 1$  y se obtiene el modelo matemático

$$(2) \quad \begin{cases} \dot{N}_1 = \frac{r_1 N_1}{K_1} (K_1 - N_1 - \alpha N_2) \\ \dot{N}_2 = \frac{r_2 N_2}{K_2} (K_2 - N_1 - N_2) \end{cases}$$

Efectuando las integraciones indicadas

$$\frac{K_1}{r_1} \int_{t_0} \frac{dN_1}{N_1} - \frac{K_2}{r_2} \int_{t_0} \frac{dN_2}{N_2} = \int_{t_0} (K_1 - K_2) dt$$

y luego asumiendo que  $t_0 = 0$  se tiene que

$$(3) \quad N_2(t) = N_2(0) \left[ \frac{N_1(t)}{N_1(0)} \right]^{\frac{K_1 r_2}{r_1 K_2}} e^{\frac{r_2}{K_2} (K_2 - K_1) t}$$

De la ecuación (3) se deduce que si  $K_1 > K_2$  entonces,

$N_2(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} K_1$ . Por otro lado, demostramos en la primera parte de nuestro trabajo que

$$N_1(t) = \frac{K_1(0)}{N_1(0) + [K_1 - N_1(0)] e^{-r_1 t}} ; \quad N_2(t) = 0$$

es una solución de (2)

y en consecuencia  $N_1(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} K_1$ , independientemente del valor de  $N_1(0)$ .

De lo anterior se deduce que si dos especies  $E_1$  y  $E_2$  son similares y la **capacidad de parte** de la especie  $E_1$  es **mayor que la capacidad de parte** de la especie  $E_2$ , entonces la especie  $E_2$  terminará por extinguirse.

Sin embargo, de acuerdo a estudios realizados por Slobodkin\*, las dos especies podrían coexistir si se logra que  $\alpha \ll \frac{K_1}{K_2}$  y  $\beta \ll \frac{K_2}{K_1}$  en el sistema de ecuaciones diferenciales (1).

En términos matemáticos esto significa que todas las soluciones  $N_1(t)$  y  $N_2(t)$  de (1) tienden a la solución de equilibrio

$$N_1 = \frac{K_1 - \alpha K_2}{1 - \alpha\beta} \quad \text{y} \quad N_2 = \frac{K_2 - \beta K_1}{1 - \alpha\beta}$$

cuando  $\alpha < \frac{K_1}{K_2}$  y  $\beta < \frac{K_2}{K_1}$  \*

Cabe destacar que un gran número de especies similares comparten recursos comunes en sistemas abiertos de la naturaleza.

## DISCUSIÓN

Considerando que en el crecimiento de población interviene una gran cantidad de parámetros o características propias de la

\* Odum, Eugene P. *Ecología*. Tercera Edición, pág. 239.

\* Esto se logra haciendo  $N_1 = 0$ ,  $N_2 = 0$  en la ecuación (1).

población tales como: densidad, natalidad, mortalidad, edad, distribución, potencial biótico, dispersión y otras propiedades genéticas, quizás surja la pregunta ¿cuál será el grado de efectividad de los modelos matemáticos obtenidos? Aceptamos que todos los atributos de la población no podrán ser medidos con precisión y mucho menos en un sistema ecológico abierto.

Sin embargo, en la práctica no es necesario medirlos todos a fin de obtener una idea lo suficientemente aceptable del crecimiento de la población estudiada, ya que existe una estrecha relación entre características de la población, y en consecuencia, una de ellas puede ser calculada a partir de otra.

Además, para garantizar la efectividad del modelo matemático disponemos ahora de nuevos instrumentos formales, y poderosos aparatos electrónicos que mejoran significativamente el realismo, precisión y generalidad del modelo, mejorando así la predicción de cambio con respecto al tiempo.

## CONCLUSIONES

1. La competencia entre dos especies puede ser directa o indirecta dependiendo de las causas que la producen. En el caso de una interacción competitiva directa las dos poblaciones se cohiben mutuamente, mientras que, en la indirecta cada población perjudica a la otra en la lucha por un recurso común.
2. El índice de crecimiento de población de dos especies que comparten el mismo ecosistema, contemplan tres aspectos fundamentales que son: índice de crecimiento no limitado, efectos de autohacinamiento y efectos perjudiciales de otras especies.
3. En el análisis de la interacción competitiva debemos considerar además de los atributos de las poblaciones, los coeficientes de competencia, ya que de ellos depende en gran parte que se logre la coexistencia entre las especies o bien que se produzca la exclusión competitiva.
4. Dos especies podrían coexistir, si los coeficientes de competencia son muy pequeños respecto a las razones de las capacidades de porte.
5. En la naturaleza, las especies similares suelen ocupar áreas geográficas distintas sin embargo, se puede dar el caso de que habiten en lugares diferentes dentro de la misma área.
6. Si dos especies habitan en lugares diferentes dentro de una misma área, las mismas realizan un proceso de adaptación a fin de minimizar los efectos de competencia estableciendo diferencias en sus actividades cotidianas y en materia de la adquisición y consumo de alimentos, en este caso, las especies podrían sufrir algunos cambios morfológicos. Cabe señalar que cuando las especies se ven amenazadas por la presencia de un depredador, las mismas se unen para combatir a fin de conservar la supervivencia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. SUTTON, DAVID, B. -1994- "Fundamentos de Ecología" Limusa, W. México.
2. BROUN, MARTIN -1990- "Ecuaciones Diferenciales y sus Aplicaciones". Edición Original en Inglés.
3. ODUM, EUGENE, P. -1985- "Fundamentos de Ecología". Interamericana México.
4. SOBERON, MONTEIRO, JORGE. -1989- "Ecología de Poblaciones" Sep, Fondo de Cultura Económica México.
5. RABINOVICH, JORGE -1978- "Ecología de Poblaciones" Washington.
6. APARICIO, AURELIO. Dinámica de Crecimiento, TECNOCENCIA-1997. Revista Científica de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología - Editorial Universitaria.



## SOBRE LA CARDINALIDAD DE LOS AUTÓMATAS FINITOS

Por

**Julio A. Vallarino R.**

Departamento de Matemática.

### RESUMEN

En el presente artículo se desarrolla una expresión que permite establecer el número de autómatas finitos deterministas con conjunto de estados  $S$  y alfabeto  $\Sigma$

**Palabras claves:** Autómatas finitos deterministas, Cardinalidad, Principio de conteo.

Sea  $M$  la familia de autónomas finitos deterministas con conjunto de estados  $S$  (o  $S$ -conjunto de estados) y alfabeto  $\Sigma$  (o  $\Sigma$ -alfabeto).

Ahora bien, cada autómata de la familia  $M$  podemos caracterizarlo unívocamente por dos de sus elementos constitutivos a saber:

1. Su  $F$ -conjunto de estados de aceptación.
2. Su  $\delta$ -función de transiciones. (ó su  $T$ -diagrama de transiciones)

Así, el cardinal de  $M$  resultará ser el producto del cardinal de la familia de los  $F$ -conjuntos de estados de aceptación por el cardinal de la familia de  $T$ -diagramas de transiciones de los autómatas finitos deterministas de  $M$ .

Para calcular el cardinal de la familia de los  $F$ -conjuntos de estados de aceptación de los autómatas finitos deterministas de  $M$ , recordemos que todo  $F$ -conjunto de estados de aceptación es un subconjunto del  $S$ -conjunto de los estados, esto es  $F \subseteq S$  y además,  $\Phi \subseteq S$  no es un  $F$ -conjunto de

estados de aceptación de ningún autómata finito determinista.

Luego, el cardinal de la familia de los  $F$ -conjuntos de estados de aceptación de los autómatas finitos deterministas de  $M$  es:

$$\text{card } [P(S)]-1$$

Para calcular el cardinal de la familia de  $T$ -diagramas de transiciones de los autómatas deterministas de  $M$ , bastará examinar el número posible de rutas que se pueden definir en un autómata finito determinista con  $\text{card}(\Sigma)$ -estados, cada uno de los cuales deberá ser origen de  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos.

Como el número posible de trayectorias simultaneas de los  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos es igual para cada estado de  $S$ , sólo necesitamos calcular este número en un estado particular (el estado inicial por ejemplo) con lo que, el número de rutas (o  $T$ -diagramas de transiciones) será  $\text{card}(S)$ -potencia de ese valor.

Ahora bien, ubicados en un estado fijo particular (el estado inicial por ejemplo) y considerándolo como origen de cada uno de los  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos, observemos que cada uno de ellos posee a todos los estados del autómata finito determinista como potencial destino, entonces, cada uno de los  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos posee  $\text{card}(S)$ -trayectorias posibles.

Como quiera que las trayectorias de arcos diferentes son independientes entre sí, entonces, el número posible de trayectorias

para los  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos simultáneamente en un estado fijo es:

$$\underbrace{\text{card}(S) \text{ card}(S) \dots \text{card}(S)}_{\text{card}(\Sigma)\text{-factores}} = \text{card}(S)^{\text{card}(\Sigma)}$$

Luego, el número de rutas (o T-diagramas de transiciones) que podemos definir en autómatas finitos deterministas con  $\text{card}(S)$ -estados y  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos es:

$$[\text{card}(S)^{\text{card}(\Sigma)}]^{\text{card}(S)} = \text{card}(S)^{\text{card}(\Sigma)\text{card}(S)}$$

Finalmente, el número de autómatas finitos deterministas con  $\text{card}(S)$ -estados y  $\text{card}(\Sigma)$ -arcos, esto es,  $\text{card}(M)$  es:

$$\text{Card}(M) = [\text{card}[P(S)] - 1] \times \text{card}(S)^{\text{card}(\Sigma)\text{card}(S)}$$

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Brookshear, J. Glenn-1993.** "Lenguajes formales, autómatas y complejidad". Addison-Wesley Iberoamérica.
2. **Alfonseca, Manuel. Et al-1990.** "Teoría de Lenguajes, Gramáticas y Autómatas". Ediciones Universidad y Cultura.

## ACTIVIDAD DE LA OVIPOSTURA DE LOS CALLIPHORIDAE Y SARCOPHAGIDAE (DIPTERA) ASOCIADAS A CADAVERES DE RATONES

Por:

**Percis A. Garcés, Reinier Castro, Raúl Sanjur**

Departamento de Zoología

### RESUMEN

Con la finalidad de determinar la actividad de ovipostura de Sarcophagidae y Calliphoridae, así como la sucesión en la que aparecen, se realizó el presente trabajo de investigación en el Parque Natural Metropolitano, que consistió en colocar cuerpos de ratones *Mus musculus* (Linnaeus) con heridas y sin heridas en una zona de bosque húmedo tropical.

Los Díptera que principalmente acudieron a depositar sus larvas fueron *Ravinia* sp. (*Robineau-Desvoidy*), (Sarcophagidae); y sus huevos *Chrysomya megacephala* (*Fabricius*) y *Chrysomya rufifacies* (*Macquart*) (Calliphoridae).

La *Ravinia* sp. (R-D) mostró una mayor dinámica de ovipostura que las *C. megacephala* (F.) y *C. rufifacies* (M.), evidenciando que su estrategia de localización y colonización de un cadáver fresco es superior al de las Calliphoridae, cuando se trata de una carroña pequeña.

**PALABRAS CLAVES:** Ovipostura, Carroña, Calliphoridae, Sarcophagidae, Estados de descomposición.

### INTRODUCCIÓN

Con el propósito de establecer el orden en que aparece la fauna cadavérica centramos nuestra investigación en los Díptera, el cual es el primer grupo de insectos que arriban sobre un animal al momento de su muerte y muchas veces pueden ser su más importante consumidor (Smith, 1986 en; De Jong, 1994;

Nourteva, 1987; Baumgartner y Greenberg, 1985; Keh, 1985). Lane (1975), Denno y Cothran (1975), sostienen que los Calliphoridae y Sarcophagidae, son de particular importancia en las investigaciones forenses, debido a que son los indicadores más activos de los estados iniciales de la descomposición.

Debido a razones prácticas y lo imposible de utilizar cadáveres humanos para nuestra investigación empleamos como sustrato ratones blancos, los cuales atraerían a las moscas en los estados iniciales de descomposición y con ello podríamos suponer cuales serían los Díptera que arriban sobre un cadáver humano, para con ello, determinar el posible período de postmortem. Con este fin, los cadáveres se colocaron en una zona boscosa del Parque Natural Metropolitano.

Conservamos la esperanza de que esta investigación pueda brindar una orientación para el esclarecimiento de muertes de naturaleza violenta, accidental y natural en nuestro país, por lo cual la ponemos al servicio de la sociedad y del personal forense del Ministerio Público.

### Materiales y métodos

El área de estudio incluyó una zona boscosa localizada en el Parque Natural Metropolitano, Corregimiento de Ancón, distrito de Panamá, el cual posee una extensión de 266 Ha de las cuales 192 están compuestas por bosques sub-perennifolios tropicales de tierras bajas. El área boscosa es muy heterogénea, con un dosel alto relativamente continuo de 30 a 35 m, dominado por "Cuipo"

*Cavanillesia platanifolia* (H. y B.) H.B.K. ,roble *Tabebuia rosea* (Bertol.),corotú *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq. Griseb) y espavé *Anacardium excelsum* (Bert. y Balb.)Skeel. La zona presenta una precipitación promedio anual de 1500 a 2000 mm y una temperatura promedio de 28°C(Desplegado del Parque Natural Metropolitano).

Se utilizaron "ratones blancos" *Mus musculus* (L.) de ambos sexos, con un peso promedio de 460 mg, los cuales se sacrificaron por medio de asfixia para evitar que la utilización de químicos interfiera con la normal ovipostura de los Díptera y la explotación de los cadáveres por parte de las larvas. Para cada ensayo se emplearon doce ratones, separados en dos grupos de seis individuos cada uno, los cuales fueron colocados a una distancia de aproximadamente seis metros uno del otro.

Al primer grupo de ratones se les ocasionaron heridas en la región abdominal y facial del cuerpo para tratar de que se produjeran emanaciones de fluido sanguíneo, simultáneamente se colocó un segundo grupo de ratones a los cuales no se les ocasionó heridas para poder comparar ambos grupos, a fin de determinar el tiempo inicial de ovipostura para los dos grupos.

Como medida de protección contra vertebrados carroñeros, cada ratón fue introducido en una celda de malla de alambre de 2,5 cm por hilo, con una dimensión de 24 x 18 x 18 cm a un metro de altura del nivel del suelo. También se protegieron los cuerpos contra la entrada de escarabajos, utilizando una malla fina de alambre de 0.32 cm por hilo.

Posteriormente se retiró uno de cada grupo por día, los cuales fueron pesados e introducidos en una hielera previamente enfriada, a una temperatura aproximada de 5°C por unos 30 minutos, para tratar de disminuir la actividad de las larvas, con lo cual se facilitó la extracción de las mismas. Las larvas extraídas cada día fueron preservadas en la solución Pampel's: formalina, alcohol etílico, ácido acético glacial, agua destilada (6:15:2:30) (Smith, 1986).

Posteriormente se tomaron 20 larvas al azar de cada uno de los grupos separados y se procedió a medir su tamaño para determinar su intervalo de crecimiento. Cuando el número de

larvas extraídas por especie era bajo, se utilizó un número de cuatro larvas.

Los datos obtenidos fueron analizados por medio de los métodos estadísticos Anova Trifactorial y Correlación Lineal.

La presente investigación tuvo una duración de ocho meses, que comprendieron de mayo a diciembre de 1994 e incluyó un total de seis bioensayos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### A. Caracterización de los Estados de Descomposición:

La descomposición de un cuerpo es un proceso continuo, sin embargo, para su mejor comprensión varios autores han sugerido dividirla en distintos estados de acuerdo a los cambios que se observan durante los mismos, atendiendo a su aspecto físico y a las características de la fauna asociada (Payne, 1965; Lane, 1975; McKinnerney, 1978; Lord y Burger, 1984; Tullis y Goff, 1987; Ellison, 1990).

La duración y velocidad de cada estado en el proceso de descomposición se ve afectada por diversos factores como lo son las actividades de los insectos necrófagos, la exposición de la carroña, la temperatura del ambiente (Smith, 1986;en Ellison, 1990), así como el tamaño de la carroña (Hanski, 1984).

En la presente investigación caracterizamos cuatro estados de descomposición en los cuerpos de ratones blancos: frescos, hinchazón, pudrición y restos. De acuerdo con nuestras observaciones a pesar de haber colocado todos los cuerpos en iguales condiciones y al mismo tiempo, la descomposición no ocurrió de manera similar en todos los cuerpos, lo cual hace que unos alcancen un estado más prontamente que otros. Esto trae como resultado que el inicio y finalización de los tres primeros estados se sobreexpongan marcadamente. Así, se agruparon y se establecieron los intervalos promedios de los estados de descomposición de acuerdo a los cambios morfológicos que presentaron los distintos cuerpos.

## B. Fauna Asociada a los Estados de Descomposición

El hallazgo de un cadáver por un Díptera parece depender de un sinnúmero de factores que han sido estudiados y sustentados por diferentes investigadores en diferentes épocas. Con la finalidad de tratar de esclarecer el orden en que aparecen los Díptera sobre un cadáver de rata se presenta la siguiente asociación:

Estado Fresco (0-24 h): Una vez que se colocaron ambos grupos de ratones a la intemperie, se observó el primer arribo de las moscas sobre los cuerpos a los diez minutos de exposición. Las primeras moscas en arribar fueron las "verde-azules" (Calliphoridae) y luego las "grises" (Sarcophagidae). Según Kentner y Streit (1990) las Calliphoridae y Sarcophagidae son los colonizadores típicos de las carroñas frescas. Igual resultado se ha obtenido en investigaciones llevadas a cabo por otros autores, los cuales señalan que las Calliphoridae son las primeras en arribar a una carroña (Lord y Burger, 1984; Tullis y Goff, 1984; Kentner y Streit, 1990; Keh, 1985 y Smith, 1986 en De Jong, 1994); aunque otros autores han identificado a las Sarcophagidae como las primeras en llegar a la carroña (Payne, 1965). Según Keh (1985) el arribo inicial de las moscas y su comportamiento depende del tamaño y la especie de animal utilizado.

La versatilidad que demuestran algunas especies de Díptera en arribar y colonizar una carroña fresca pudiera estar asociada a la distribución de las moscas en el espacio o a la coincidencia en el sitio donde se colocan las carroñas.

Estudios como los de Denno y Cothran (1975) sostienen que el pionerismo de las moscas depende probablemente de la habilidad diferencial de cada especie de percibir el nitrógeno y el sulfuro proveniente de las proteínas degradadas. Según Ives (1991), las moscas carroñeras encuentran las carroñas por el olfato; Hamack (1987 en Ives 1991), expresa que el mecanismo por el cual las moscas encuentran su fuente de alimento depende de la actividad metabólica de una bacteria específica localizada en su cuerpo. Kneidell (1984), sostiene que el olor que cubre

un área parece depender del tamaño de la carroña.

En los ratones sin herida, tanto las Calliphoridae como las Sarcophagidae tienden a explorar los orificios naturales del cuerpo, boca, nariz, oído, ojos, ano y área urogenital. De acuerdo con nuestras observaciones, sitios como la base del pelo, regiones interdigitales, cuartos traseros y el cuello son utilizados por los Díptera para depositar sus huevos en las primeras 24 horas de exposición. De acuerdo con Kamal (1958); Kneidell (1984) en Ives (1991), existe una preferencia por parte de las moscas Calliphoridae por depositar sus huevos en estas superficies, mientras que las Sarcophagidae depositan larvas directamente sobre las carroñas, aunque ocasionalmente también pueden depositar huevos, los cuales son infértiles.

Al transcurrir las primeras 24 horas de infestación, las larvas se encontraban en mayor cantidad en la boca, nariz, cámara ocular, oído, ano y región urogenital, así mismo aunque en menor cantidad en las áreas interdigitales y en el pelaje del cuello de los ratones sin herida. Hobson (1932 en Jirón y Cartín 1981), señala que durante el estado inicial los tejidos de la carroña son ácidos y no es un alimento adecuado para larvas de moscas, las cuales tienden a alimentarse de los líquidos presentes en las fibras musculares hasta que los tejidos se vuelven alcalinos y pueden ser consumidos por las larvas.

El número promedio de larvas de *Ravinia* sp. (R-D) colectadas en los ratones sin herida fue de 38,5, el cual correspondió al 75,8% de las larvas colectadas. Es importante destacar que la colecta mínima que se obtuvo en uno de los seis bioensayos transcurridas las primeras 24 horas fue de 1 larva, y la máxima de 181 larvas. El tamaño promedio obtenido para estas larvas fue de  $4,1 \pm 0,5$  mm a las 24 horas.

También se reportó un número promedio de 12.3 larvas que corresponden a larvas de *Chrysomya megacephala* (F.), representando un 24,2% del total de larvas, con una colecta máxima de 74 larvas el tamaño promedio oscila entre  $2,6 \pm 0,1$  mm (Cuadros 1 y 2).

CUADRO 1. PROMEDIO DE LARVAS COLECTADAS VS TIEMPO (R.S.H.)

Estado de Descomposición	Tiempo (h)	Ravinia sp.				Chrysomya megacephala				Chrysomya ruffacies			
		Prom Ind.	%	min	max	Prom Ind.	%	min	max	Prom Ind.	%	min	max
Fresco	24	38,5	75,8	0	181	12,3	24,2	0	74	-	-	-	-
Hinchazón	48	77	23,1	0	171	256,2	76,9	0	984	-	-	-	-
	72	214,2	33,7	60	403	383,8	60,3	0	629	38,5	6,0	218	0
Putrefacción	96	332,7	82,6	93	901	69,7	17,3	15	181	0,5	0,1	0	3
	120	301,8	71,7	44	559	95,2	22,6	5	280	23,8	5,7	0	143
Restos	144	253,7	94,9	147	638	0,2	0,1	0	1	13,5	5,0	0	76

Prom. Ind. = Promedio de Individuos  
 % = Porcentaje colectada  
 min = Número mínimo de individuos colectados  
 max = Número máximo de individuos colectados

CUADRO 2. TAMAÑO PROMEDIO DE LAS LARVAS COLECTADAS VS TIEMPO (R.S.H.).

Estado de Descomposición	TAMAÑO DE LA LARVA (mm)			
	Tiempo (h)	Ravinia sp.* (mm)	Chrysomya megacephala (mm)	Chrysomya ruffacies* (mm)
Fresco	24	4,1 ± 0,5	2,6 ± 0,1	---
Hinchazón	48	7,2 ± 2,7	5,4 ± 3,9	---
	72	14,3 ± 3,8	10,2 ± 0,9	6,4 ± 1,14
Putrefacción	96	16,8 ± 4,7	10,2 ± 1,6	9,4 ± 1,0
	120	16,0 ± 4,7	10,4 ± 1,6	9,5 ± 1,0
Resto	144	16,8 ± 2,9	---	9,7 ± 2,4

\*: Intervalo de Confianza al ±95%

El comportamiento de las Calliphoridae y Sarcophagidae fue muy similar para ambos grupos de ratones, aunque las moscas exploraban notablemente las heridas ocasionadas en el cuerpo del animal, por lo que, estas también sirvieron para aumentar el área de superficie expuesta para la postura de larvas y huevos de las especies ya identificadas. Putman (1977), estudiando sobre cuerpos de ratones, observó que las Calliphoridae concentran sus huevos cerca de los orificios naturales o en

áreas de piel blanda, sugiriendo que son sitios apropiados para la ovoposición donde, al emerger las larvas, estas pueden fácilmente penetrar la pared del cuerpo de la carroña; las restricciones a estos sitios puede ser un factor limitante en el número total de huevos colocados sobre los cuerpos.

Así pues, en los ratones con herida el número promedio de larvas de *Ravinia* sp. (R-D) colectadas fue de 76,8, lo cual corresponde aproximadamente un 31,9% del total, con una

colecta mínima de 14,0 larvas y una máxima de 156,0 larvas. En tanto que el tamaño promedio obtenido para estas larvas fue de  $3,9 \pm 1,4$ mm (Cuadros 3 y 4).

El número promedio de las larvas de *C. megacephala* (F.), fue de 164,2, lo que corresponde a un 68,1% del total. Durante esta fase se realizó una colecta mínima de 35 larvas y una máxima de 430,0 larvas. El tamaño promedio obtenido para estas larvas fue de  $2,6 \pm 0,2$  mm (Cuadros 3 y 4).

La comparación entre los números promedios de larvas colectadas entre ambos grupos de ratones muestra un mayor número de ejemplares en los ratones con herida. Cabe señalar que se presentó una diferencia en cuanto a la larva que domina en cada tipo de carroña. En los ratones sin herida, la *Ravinia* sp. (R-D) presentó una proporción de (8:1) con relación a la *C. megacephala* (F.), mostrando un dominio numérico de sus larvas.

**CUADRO 3. PROMEDIO DE LARVAS COLECTADAS VS TIEMPO (R.C.H.)**

Estado de Descomposición	Tiempo (h)	<i>Ravinia</i> sp.				<i>Chrysomya megacephala</i>				<i>Chrysomya ruffacies</i>			
		Prom Ind.	%	min	max	Prom Ind.	%	min	max	Prom Ind.	%	min	max
Fresco	24	76,8	31,9	156	156	164,2	68,1	0	430	-	-	-	-
Hinchazón	48	184,0	39,6	22	492	280,2	60,4	77	633	-	-	-	-
	72	349,0	42,8	238	611	416,8	51,1	58	803	49,5	6,1	0	231
Putrefacción	96	345,5	91,6	197	509	26,7	7,1	0	106	5,0	1,3	0	30
	120	184,8	73,0	29	404	54,5	21,5	0	301	13,8	5,4	0	77
Restos	144	296,5	91,5	174	392	17,3	5,3	0	84	10,3	3,2	0	54

Prom. Ind. = Promedio de Individuos  
 % = Porcentaje colectada  
 min = Número mínimo de individuos colectados  
 max = Número máximo de individuos colectados

**CUADRO 4. TAMAÑO PROMEDIO DE LAS LARVAS COLECTADAS VS TIEMPO (R.C.H.).**

Estado de Descomposición	TAMAÑO DE LA LARVA (mm)			
	Tiempo (h)	<i>Ravinia</i> sp.* (mm)	<i>Chrysomya megacephala</i> (mm)	<i>Chrysomya ruffacies</i> * (mm)
Fresco	24	$3,9 \pm 1,4$	$2,6 \pm 0,2$	---
Hinchazón	48	$7,7 \pm 4,8$	$6,6 \pm 2,6$	---
	72	$16,8 \pm 2,9$	$9,7 \pm 0,8$	$7,3 \pm 1,3$
Putrefacción	96	$16,7 \pm 1,9$	$9,2 \pm 0,1$	$9,8 \pm 1,0$
	120	$17,2 \pm 1,8$	$8,4 \pm 3,8$	$14,2 \pm 0,3$
Resto	144	$16,9 \pm 1,1$	$8,8 \pm 1,1$	$12,3 \pm 3,5$

\*: Intervalo de Confianza al  $\pm 95\%$

Sin embargo, en los ratones con heridas *C. megacephala* (F.) fue la especie dominante con una proporción de (2:1) con relación a la *Ravinia* sp. (R-D). Probablemente las heridas ocasionadas a los cuerpos influyeron en la actividad de ovipostura de la *C. megacephala* (F.) brindándole una mayor ventaja para ovopositar.

Las larvas de *Ravinia* sp. (R-D) presentaron un tamaño promedio mayor que las de *C. megacephala* (F.) en ambos grupos de ratones, debido principalmente a que son depositadas con una ventaja de aproximadamente 12 h de emergencia antes que las *C. megacephala* (F.).

Estado de Hinchazón (24-72 h): Las carroñas de los ratones sin herida y ratones con herida empiezan a hincharse inicialmente por efecto de los gases producidos por la actividad de las bacterias intestinales asociadas a la putrefacción anaeróbica (Early y Goff, 1986 e Tullis y Goff, 1987; Ellison, 1990).

Según Tullis y Goff (1987), la actividad de los artrópodos asociados al proceso de descomposición causa un aumento de la temperatura interna de la carroña durante este estado. Atendiendo a esta consideración, algunos autores (Johnson, 1975; Payne, 1955; Redd, 1958 e Jirón y Cartín, 1981) indican que el progreso de este estado depende de la variación individual de la temperatura y de otros cambios ambientales, así como de las propiedades físicas y químicas de la misma carroña.

Durante este estado se pudo observar una intensa actividad de moscas Calliphoridae y Sarcophagidae sobre los cuerpos. Payne (1965) indica que las Calliphoridae arriban en gran cantidad en este período junto con las Sarcophagidae. También Ellison (1990) señala que las Calliphoridae son más atraídas por los tejidos podridos que por los tejidos frescos.

Nuestras observaciones coinciden con lo reportado por otros autores, en lo que se refiere al aumento progresivo que ocurre en la liberación y dispersión del olor característico de la pudrición, el cual es el agente químico que se distribuye en el aire, hasta ser recibido por el mayor número de moscas que se encuentran distribuidos en el espacio próximo al lugar donde se depositaron las carroñas.

El número promedio de larvas de *Ravinia* sp. (R-D) colectadas en los ratones sin heridas a las

48 horas fue de 77,0, las cuales corresponden a un 23,1% del total de larvas colectadas, la colecta mínima fue de 3,0, con una máxima de 171,0. El tamaño promedio de estas larvas fue de  $7,2 \pm 2,7$  mm. Mientras que el número promedio de larvas de *C. megacephala* (F.) fue de 256,2 que correspondieron a un 76,9% del total de larvas, la colecta mínima de estas larvas fue de 3,0 y la máxima de 984,0. El tamaño promedio de estas larvas fue de  $5,4 \pm 3,9$  mm (Cuadros 1 y 2).

En el caso de los ratones con herida se colectaron un número promedio de 184,0 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) que correspondieron a un 39,6% del total de larvas; además se obtuvo una colecta mínima de 22,0 larvas y una máxima de 492,0. El tamaño promedio obtenido para estas larvas fue de  $7,7 \pm 4,8$  mm. Por otra parte, el número promedio de larvas colectadas de *C. megacephala* (F.) fue de 280,2, lo que constituye el 60,4% del total de larvas. También se hicieron colectas mínimas de 77,0 y máxima de 633,0 larvas. El tamaño promedio de estas larvas fue de  $6,6 \pm 2,6$  mm (Cuadros 3 y 4).

Se encontró que el número promedio de larvas colectadas en los ratones con heridas fue mayor que en los ratones sin heridas. Al transcurrir el tiempo de exposición el número de larvas aumentó en ambos grupos de ratones.

La mayor ovipostura correspondió a *C. megacephala* (F.) seguida de *Ravinia* sp. (R-D), lo que aparentemente la identifica como la especie que mejor coloniza las carroñas, así lo expresa la relación (3:1) que se observa en los ratones sin heridas. Mientras que la relación que se observa en los ratones con herida es de (5:1).

De acuerdo con Kentner y Streit (1990), las larvas de Calliphoridae representan la parte dominante de la biomasa de una carroña como resultado de haber llegado primero

A las 72 horas se encontraron larvas de *Chrysomya rufifacies* (M.). Esta especie ha sido descrita por varios autores como una mosca de colonización secundaria, apareciendo después que las larvas de otras moscas han ocupado las carroñas (Fuller, 1934; en Payne 1965; Bohart y Gressitt, 1951; Early y Goff, 1986 e Wells y Greenberg, 1992).

Estudios realizados por Wells y Greenberg (1994) sostienen que las larvas de *C. rufifacies* (M.), son depredadoras facultativas de otras

larvas que pueden reducir la población de *C. megacephala* (F.), debido a que ambas especies tienen los mismos requerimientos alimenticios al momento de consumir la carroña.

La actividad de ovipostura en los ratones sin herida a las 72 h produjo un número promedio de 214,2 larvas de *Ravinia* sp.(R-D), lo cual representó el 33,7% de las larvas, con un registro mínimo de 60,0 y uno máximo de 403,0 larvas. El tamaño promedio obtenido de estas larvas fue de  $14,3 \pm 3,8$  mm. También en el caso de *C. megacephala* (F.), se produjo un aumento considerable en la actividad de ovipostura que fue de 383,8 que constituyeron el 60,3% del número total de larvas, de igual forma se registró una colecta mínima de 181 y una máxima de 629 larvas. El tamaño promedio para estas larvas fue de  $10,2 \pm 0,9$  mm. En lo que se relaciona a la especie *C. rufifacies* (M.), se obtuvo un número promedio de 38,5 larvas, que representaron el 6,0% de las larvas depositadas sobre la carroña. La mínima colecta obtenida en el muestreo fue de 13,0 larvas y la máxima de 218,0 larvas. Estas registraron un tamaño promedio de  $6,4 \pm 1,14$  mm (Cuadros 1 y 2).

En el ratón con herida se colectaron un número promedio de 349,2 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) que representa el 42,8% del total con una colecta mínima de 238,0 y una máxima de 611,0 larvas, los cuales registraron un tamaño promedio de  $16,8 \pm 2,9$  mm. Para el caso de *C. megacephala* (F.), se colectaron un número promedio de 416,8 larvas que correspondieron al 51,1% del total de larvas registrándose en el bioensayo una colecta mínima de 58,0 y una máxima de 803,0 larvas. El tamaño promedio que se obtuvo de las larvas medidas fue  $9,7 \pm 0,8$  mm. En el caso de *C. rufifacies* (M.), se colectó un número promedio de 49,5 larvas, que representaron el 6,1% del total de larvas registradas, con una colecta mínima de 31,0 larvas y una máxima de 231,0 larvas. El tamaño promedio para esta especie fue de  $7,3 \pm 1,3$  mm (Cuadros 3 y 4).

La comparación entre los números promedios de larvas colectadas en los ratones sin herida y ratones con herida, evidenció que existe muy pocas diferencias en la atracción de los Díptera por ambos grupos de ratones, al momento de ovipositar. La proporción de larvas de *Ravinia* sp.(R-D), *C. megacephala* (F.) y *C.*

*rufifacies* (M.) en los ratones sin herida fue de (6:10:1), y en los ratones con herida fue de alrededor de (7:8:1), indicando un ligero dominio por parte de la *C. megacephala* (F.) sobre las otras especies. Sin embargo la *Ravinia* sp. (R-D) parece ser la especie más agresiva al momento de consumir los tejidos, debido al rápido crecimiento que manifiestan sus larvas. En tanto que *C. rufifacies* (M.), posee la menor ovipostura y el menor tamaño de sus larvas, lo que puede explicarse por su tardía presencia en la carroña.

En el estado de hinchazón tanto en los ratones sin herida como en los ratones con herida la *C. megacephala* (F.) presenta el mayor porcentaje de larvas colectadas, sin embargo este porcentaje se va reduciendo a las 72 horas, contrario a lo que ocurre con la especie *Ravinia* sp. (R-D) que tiende a ir aumentando. El número promedio de larvas colectadas en su conjunto resultó mayor en los ratones con herida, por lo que es probable que las condiciones iniciales en que se colocaron los cadáveres sea el factor favorable para que acontezca esta mayor ovipostura.

Estado de Pudrición (72 h - 120 h): Este estado se inicia con la penetración de la piel de la carroña por las larvas durante el proceso de alimentación, algo que ocurre entre las 72 horas y 96 horas de expuesta la carroña a la intemperie. Otros estudios con diferentes tipos de carroña, señalan la particularidad del rompimiento de la piel por las larvas y la liberación de gases como el principio de un nuevo estado. Por ejemplo Payne (1965) utilizando cadáveres de cerdos las identificó a las 96 horas, mientras que Early y Goff (1986), utilizando la misma especie de organismo, las identificaron a las 120 horas. Keh, (1985); trata de explicar estas diferencias de interpretación en base a que el tiempo de inicio, duración y terminación de cada estado varía de un cuerpo a otro, dependiendo de las características particulares del individuo, y de otras circunstancias propias del proceso de descomposición.

En este estado se da un incremento considerable en la degradación de la carroña. Los insectos ayudan a acelerar notablemente la "licuefacción" y desintegración de los tejidos, por medio de los procesos mecánicos que llevan a

cabo las larvas al romper y construir túneles en los tejidos de la carroña; todo esto va asociado a la descomposición aerobia y al cambio de pH en los jugos digestivos (Fuller, 1934 en Payne, 1965; Keh, 1985).

Durante este estado ocurren cambios físicos muy marcados en la carroña, que traen como resultado que los órganos de la cavidad torácica sean reducidos a una sustancia sanguinolenta de color grisáceo. Posteriormente se observa una drástica disminución del número total de larvas, la cual puede deberse a que las larvas empiezan a abandonar la carroña aproximadamente al quinto día de pudrición. Tullis y Goff (1987) describieron este estado como estado de "post-pudrición" con una sustancia que llamaron "producto de la pudrición", la cual aparentemente está relacionado con el abandono de la carroña por parte de las larvas. Payne (1965) también describió que las larvas abandonan la carroña en el estado de pudrición avanzada.

En los ratones sin herida a las 96 horas se colectaron un número promedio de 332,7 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) lo cual representa 82,6% del total de larvas, con una colecta mínima de 93,0 y con una colecta máxima de 901,0 larvas. El tamaño promedio fue de  $16,8 \pm 4,7$  mm. Simultáneamente se colectó un número promedio de 69,7 larvas de *C. megacephala* (F.), que representa el 17,3% de las larvas, con una colecta mínima de 15,0 y una máxima de 181,0 larvas. El tamaño promedio de estas larvas fue de  $10,2 \pm 1,6$  mm. Por otra parte, *C. rufifacies* (M.), presentó un número promedio de colecta de 0,5 larvas que representa un 0,1% del total, con una colecta máxima de 3,0 larvas, y un tamaño promedio de  $9,4 \pm 1,0$  mm (Cuadros 1 y 2).

En igual período de tiempo en los ratones con herida se colectó un número promedio de 345,5 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) que constituyen el 91,6% del total de larvas, con una colecta mínima de 197,0 y una colecta máxima de 509,0 larvas. Su tamaño promedio fue de  $16,7 \pm 1,9$  mm. En el caso de la *C. megacephala* (F.), se colectó un número promedio de 26,7 larvas que representan el 7,1% de las larvas. Se obtuvo una colecta mínima de 4,0 larvas y una máxima de 106,0 larvas, con un tamaño promedio de  $9,2 \pm 0,1$  mm.

La *C. rufifacies* (M.), presentó un número promedio de 5,0 que representan el 1,3% del total de larvas, la colecta máxima obtenida de esta especie fue de 30,0 larvas. El tamaño promedio de las mismas fue de  $9,8 \pm 1,0$  mm (Cuadros 2 y 4).

Como puede observarse en el estado de pudrición se colectaron más larvas de *Ravinia* sp.(R-D), *C. megacephala* (F.) y *C. rufifacies* (M.), que en todos los estados anteriores. La *Ravinia* sp. (R-D) presentó el mayor número de larvas en ambos grupos de ratones, dominando ampliamente el microhabitat que ofrece la carroña, mientras que se aprecia una disminución bien marcada por parte de la *C. megacephala* (F.).

A las 120 h en los ratones sin herida se colectaron un número promedio de 301,8 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) que representó el 71,7% del total, con una colecta mínima de 44,0 y una máxima de 559,0 larvas. El tamaño promedio fue de  $16,0 \pm 4,7$  mm. La *C. megacephala* (F.), presentó un número promedio de 95,2 larvas colectadas, lo que constituye el 22,6% de las larvas. La colecta mínima fue de 5,0 y la máxima de 280,0 larvas. A la altura de este proceso, el tamaño fluctúa entre  $10,4 \pm 1,6$  mm. Por otra parte, se colectó un número promedio de 23,8 larvas de *C. rufifacies* (M.), que representaron el 5,7% del total de larvas. La colecta máxima para esta especie fue de 143,0 larvas, las cuales tenían un tamaño promedio de  $9,5 \pm 1,0$  mm (Cuadros 1 y 2).

En el mismo intervalo de tiempo en los ratones con herida, se colectaron un promedio de 184,4 larvas de *Ravinia* sp. (R-D) que constituyeron el 73,0% de las larvas, con una colecta mínima de 29,0 y una máxima de 404,0 larvas. El tamaño promedio de estas larvas fue de  $17,2 \pm 1,8$  mm. De la *C. megacephala* (F.), se colectaron un promedio de 54,5 larvas, que representan el 21,5% del total de larvas, con una colecta mínima de 9,0 larvas y una máxima de 301,0. El tamaño promedio fue de  $8,4 \pm 3,8$  mm. Por otro lado, se colectaron un promedio de 13,8 larvas de *C. rufifacies* (M.), que corresponden al 5,4% del total de larvas, con una colecta mínima de 6,0 larvas, y la máxima de 77,0. El tamaño de estas larvas fue de  $14,2 \pm 0,3$  (Cuadros 3 y 4).

Según Wells y Greenberg (1992), la *C. rufifacies* (M.) coloniza las carroñas después de

**C. megacephala** (F.). Es por esto, que su posterior llegada a una carroña pequeña, aparentemente, le impide aprovechar óptimamente el recurso, conformando poblaciones de larvas pequeñas que son relegadas por las poblaciones de **Ravinia** sp. (R-D) y **C. megacephala** (F.). Lo interesante de este comportamiento es que la presencia o hallazgo de estas larvas sobre un cadáver humano puede proporcionar una idea del avanzado grado de descomposición que presenta el mismo, desde el tiempo en que ocurrió el deceso hasta el hallazgo del cadáver.

Resulta evidente que la actividad de postura de las Sarcophagidae es superior a la de las Calliphoridae, igual que su voracidad al momento de consumir las carroñas en estados frescos.

Estas dos ventajas por parte de las Sarcophagidae les permite ser las verdaderas dominantes en la competencia interespecífica con las Calliphoridae al momento de consumir una carroña pequeña, por lo que es probable que en carroña más grande las Calliphoridae sean las más favorecidas. Tal como lo confirman Tullis y Goff (1987), cuando emplearon carroñas de cerdos y encontraron que las larvas de Calliphoridae fueron las dominantes a lo largo de la descomposición. En el caso de la competencia intraespecífica la **C. megacephala** (F.) es mejor colonizadora y más dominante que la **C. rufifacies** (M.).

En el presente trabajo la **Ravinia** sp. (R-D) es una especie que mantienen sus poblaciones relativamente alta, particularmente en los ratones con herida donde se colectó la mayor cantidad de larvas. Las poblaciones de **Ravinia** sp. (R-D) muestran una tendencia progresiva hasta el cuarto día, mientras que la **C. megacephala** (F.) muestran la misma tendencia en los dos grupos de animales hasta el tercer día.

Denno y Cothran (1975) e Ives (1991) sostienen que las especies de moscas necrófagas coexisten en una misma carroña porque son capaces de especializarse en diferentes tipos de tejidos. Algo que es posible entre ciertas especies de moscas carroñeras que tienden a preferir el mismo tipo y tamaño de carroña. Kouki y Hanski (1995), indican que la coexistencia entre las especies competidoras es posible debido a la delimitación de recursos y la agrupación de las poblaciones.

A las 120 horas, contrario a lo que sucede con **Ravinia** sp. (R-D), las poblaciones de **C. megacephala** (F.) empiezan a disminuir considerablemente, debido posiblemente a que sus larvas empiezan a abandonar la carroña para pupar.

Al final de este estado, las actividades de las moscas Calliphoridae disminuyen en las carroñas y sus alrededores, mientras que las Sarcophagidae mantienen actividades más directas sobre las carroñas, aunque con cierta tendencia a desaparecer. Tullis y Goff (1986) señalan que al inicio de este estado los adultos de Calliphoridae no se acercan a la carroña debido a que la misma no le es atractiva para alimentarse y/o ovopositar.

Estado de Restos. (144 horas en adelante): En los restos de los ratones sin herida y con herida aún se observan larvas aglutinadas entre los trozos de las carroñas, reptando por las paredes de las bandejas y celdas e incluso algunas logran escapar hasta el suelo para poder enterrarse. Esta observación ha sido utilizada por Tullis y Goff (1987), para establecer la transición del estado de pudrición al estado seco.

En los ratones sin herida se colectó un promedio de 253,7 larvas de **Ravinia** sp. (R-D) que representaron el 94,9% del total de larvas, con una colecta mínima de 147,0 y una máxima de 638,0 larvas, con un tamaño promedio de  $16,8 \pm 2,9$  mm. De la especie **C. megacephala** (F.) se colectó un promedio de 0,2 larvas, que resulta el 0,1% del total de larvas. La colecta para esta especie en este estado fue de 1 larva. Por último se colectó un número promedio de 13,5 larvas de **C. rufifacies** (M.) que representaron el 5,0% del todas las larvas colectadas. Obteniéndose una colecta máxima de 76,0 larvas y una mínima de 5,0 larvas. El tamaño promedio para estas larvas fue de  $9,7 \pm 2,4$  mm (Cuadros 1 y 2).

En los ratones con herida se colectaron un promedio de 296,5 larvas de **Ravinia** sp. (R-D), la cual constituye el 91,5% del total de larvas, con una colecta mínima de 174,0 y una máxima de 392,0 larvas. El tamaño promedio fluctuó entre  $16,9 \pm 1,1$  mm. De la **C. megacephala** (F.) se colectó un promedio de 17,3 larvas, que representaron el 5,3% de las mismas. La colecta máxima fue de 84,0 larvas y la mínima de 2,0

larvas. El tamaño promedio que tenían estas larvas fue de  $8,8 \pm 1,1$  mm. En el caso de la *C. rufifacies* (M.) se colectó un número promedio de 3,2 larvas, con una colecta máxima de 54,0 larvas y una mínima de 8,0 larvas. La medición de estas larvas mostró un tamaño promedio de  $12,3 \pm 3,5$  mm. (Cuadros 3 y 4).

Al comparar la actividad de ovipostura obtenida en ambos grupos de ratones, se obtuvo que los ratones con heridas presentaron el mayor número de larvas por especie. *Ravinia* sp. (8 621), *C. megacephala* (5 758) y *C. rufifacies* (472); mientras que en los ratones sin herida *Ravinia* sp. (7 307), *C. megacephala* (4 904) y *C. rufifacies* (458). Lo anterior sugiere una mayor actividad de ovipostura en los ratones con heridas, posiblemente porque éstas promueven la llegada de una mayor número de moscas.

En los ratones sin herida (Cuadros 2 y 4) las larvas alcanzan su mayor tamaño alrededor de las 120 horas, aunque la *Ravinia* sp.(R-D) alcanzan su mayor tamaño promedio  $16,8 \pm 4,7$  mm a las 96 horas, la *C. megacephala* (F.) a las 120 horas con  $10,4 \pm 1,6$  mm; y *C. rufifacies* (M.) a las 144 horas con  $9,7 \pm 2,4$  mm. En los ratones con herida (Cuadro 4), las larvas de *Ravinia* sp.(R-D) alcanzaron su mayor tamaño a las 120 horas, con un tamaño promedio de  $17,2 \pm 1,8$  mm; *C. megacephala* (F.) con  $8,8 \pm 1,1$  mm. a las 144 horas *C. rufifacies* (M.) con  $14,2 \pm 0,3$  mm. a las 120 horas.

A pesar de encontrar esta diferencia entre los dos grupos de ratones, el análisis estadístico, ANOVA trifactorial al que se sometieron los datos obtenidos (Cuadro 5) indicó que no existe relación significativa entre las carroñas con heridas y las especies encontradas al compararlas con las carroñas sin heridas.

Durante el presente estudio, encontramos que dos especies son las que mejor explotan la carroña: la *Ravinia* sp.(R-D) y la *C. megacephala* (F.). La primera es completamente dominante sobre la segunda debido a la mayor cantidad de larvas encontradas, igual apreciación se refleja en el tamaño promedio de las mismas, e incluso en el tiempo que permanecen consumiendo la carroña. Keneidal (1984), sostiene que las Calliphoridae y Sarcophagidae son las colonizadoras más eficaces en carroñas de

mamíferos pequeños los cuales al descomponerse y al ser consumidos por las primeras que llegan, crean las condiciones para que solo se presente la especie dominante.

Por otra parte Blackith y Blackith (1990), indican que la competencia entre las moscas carroñeras es probable que sea más intensa en carroñas pequeñas. En este sentido Denno y Conthran (1976) sostienen que las Calliphoridae son el principal factor limitante de los Sarcophagidae al momento de alimentarse de la carroña. Algo similar ha sido documentado por Kouki y Hanski (1995), quienes señalan que la disminución de la fuente de alimentos durante el desarrollo larval reduce el número de especies emergentes, debido a la alta competencia entre las comunidades de moscas. Aparentemente, el dominio de una especie en particular puede estar también determinado por el tamaño y la especie de carroña. Así pues Denno y Cothran (1976) han informado que las Sarcophagidae son competidores superiores a las Calliphoridae en la localización y colonización de una carroña pequeña. Mientras que Brack (1987) encontró que las Calliphoridae son los Díptera dominantes tanto en las carroñas pequeñas como en las grandes, pero en las carroñas de ratas las Sarcophagidae son las dominantes.

En el presente trabajo encontramos que las Sarcophagidae fueron dominantes sobre las Calliphoridae por lo que no pareciera que estas últimas fueran un factor limitante para el aprovechamiento de la carroña por parte de las Sarcophagidae.

## AGRADECIMIENTO

Al director del Parque Natural Metropolitano, el Lic. Daniel Holness, a la Subdirectora Lic. Yolanda Jiménez, así como a su personal de Guardaparques, por su valioso apoyo.

Al Doctor Bernard Greenberg, profesor Emeritus del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Illinois, Chicago, por el material bibliográfico facilitado, al Programa de Maestría de Entomología de la Universidad de Panamá y por el espacio y el equipo para la identificación de los especímenes.

A la Dra. Gisela Bethancourt, Directora del Bioterio de la Universidad de Panamá, por el

material biológico suministrado y a la Lic. Angela Fawcett por su labor fotográfica.

**CUADRO 5. ANOVA TRIFACTORIAL**

**A. TAMAÑO VS TIEMPO**

F. de Variación	g.l.	S.C.	C.M.	F	
Tratamientos	23		2342,693	101,8562	18,98 ***
HERIDA (A)	1		,4101563	,4101568	0,075 n.s.
TIEMPO (B)	5		1555,544	311,1088	56,806 ***
LARVAS (C)	1		520,4776	520,4776	95,0350 Overflow***
(A x B)	5		17,42383	3,484766	0,636 n.s.
(A x C)	1		4,003306x10 <sup>-2</sup>		4,003906 <sup>-2</sup>
(B x C)	5		214,211	42,84219	0,007 n.s.
(A x B x C)	5		84,58594	6,917189	7,823 ***
Error	72		391,32278	5,476698	1,263 n.s.
TOTAL	95		2737,015		

**B. CRECIMIENTO VS. TIEMPO**

F. de Variación	g.l.	S.C.	C.M.	F	
Réplicas	5		197870,5	39574,1	1,984 n.s.
Tratamientos	35		4008497	114528,5	5,740 ***
HERIDA (A)	1		16942,25	16942,25	0,849 n.s.
TIEMPO (B)	5		768649,8	153730	7,705 ***
ESPECIES (C)	2		1544847	772423,6	38,715 ***
(A x B)	5		91193,25	18238,65	0,914 n.s.
(A x C)	2		9165,25	4582,625	0,230 n.s.
(B x C)	10		1489024	148902,4	7,463 ***
(A x B x C)	10		88675,25	8867,526	7,823 ***
Error	175		3491492	19951,38	0,444 n.s.
TOTAL	215		7697859		

Media General = 126,1620

Coefficiente de Variación = 111,96%

## BIBLIOGRAFIA

1. Baumgartner, D.L. and Greenberg, B. 1985. Distribution and medical ecology of the blow flies (Diptera: Calliphoridae) of Peru. *Ann. Ent. Soc. Am.* 78: 565-587.
2. Blackith, R.E. and Blackith, R.M. 1990. Insect infestations of small corpses. *J. Nat. Hist.* 24: 699-709.
3. Bornemissza, G.F. 1956. An analysis of arthropod succession in carrion and the effect of its decomposition on the soil fauna. *Aust. J. Zool.* 5: 1-12.
4. Braack, L.E.O. 1987. Community dynamics of carrion-attendant arthropods in tropical african woodland. *Oecologia.* 72: 402-409.
5. Denno, R.F. and Cothran, W.R. 1975. Niche relationship of a guild of necrophagous flies. *Ann. Ent. Soc. Am.* 68: 741-754.
6. Denno, R.F. and Cothran, W.R. 1976. Competitive interactions and ecological strategies of Sarcophagid and Calliphorid flies inhabiting rabbit carrion. *Ann. Ent. Soc. Am.* 69: 109-113.
7. Early, M.; Goff, M.L. 1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Isla. *U.S.A. J. Med. Ent.* 23: 520-531.
8. Early, M.; Goff, M.L. 1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Isla. en Tullis, K. y Goff, M.L. 1987. Arthropod succession in exposed carrion in a tropical rainforest on O'ahu island, Hawaii. *J. Med. Ent.* 24: 332-339.
9. Early, M.; Goff, M.L. 1986. Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Isla. en Wells, J.A. and Greenberg, B. 1994. Resource use by an introduced and native carrion flies. *Oecología.* 99: 181-187.
10. Erzinclioglu, Y.Z. 1990. The larvae of two closely related blowfly species of the genus ***Chrysomya*** (Diptera, Calliphoridae). en Olsen, A.R.; Sedebottom, T.H. y Benneth, S.G. 1993. The oriental latrine fly ***Chrysomya megacephala*** (Fabricius, 1794) (Diptera: Calliphoridae) as an invading blow fly of public health importance. *Bull. Soc. vec. Ecol.* 18: 133-146.
11. Ellison, G.T.H. 1990. The effect of scavenger mutilation on insect succession at impala carcasses in Routhern Africa. *J. Zool. Lond.* 220: 679-688.
12. Fuller, M.E. 1934. The insects inhabitants of carrion a study in animal ecology. en Payne, J. 1965. A summer carrion study of the baby pig ***Sus scrofa*** Linnaeus. *Ecology.* 46: 592-602.
13. Hammack, L.; M. Bromel; F.M. Duh y G. Gassner. 1987. Reproductive factors affecting response of the screwworm fly ***Cochliomyia hominivorax*** (Diptera: Calliphoridae), to an attractant of bacterial origin. en Ives, A. 1991. Agregation and coexistence in a carrion fly community. *Ecological Monographs.* 6: 75-94.
14. Hanski, I. 1984. Colonization of ephemeral habitats. en Gray, A.J.; Crowley, M.J. y Edwards, P.J. 1987. Colonization, succession and stability: The 26th Symposium of the British Ecological Society held jointly with the Linnean Society of London. Blackwell Scientific Publications. Boston. 155-185.
15. Hobson, R.P. 1932 Studies on the nutrition of blow-fly larvae. III. The liquefaction of muscle. en Jirón, L.F. y Cartín, V.M. 1981. Insect succession in the descomposition of a mammal in Costa Rica. *New York. Ent. Soc.* (3): 158-165.
16. Ives, A. 1991. Agregation and coexistence in a carrion fly community. *Ecological Monographs.* 6: 75-94.

17. Jirón, L.F. y Cartín, V.M. 1981. Insect succession in the decomposition of a mammal in Costa Rica. *New York Ent. Soc.* (3): 158-165.
18. Johnson, M.D. 1975. Seasonal and microseral variation in the insect populations of carrion. *Am. Midl. Nat.* 93: 79-90.
19. Kamal, A.S. 1958. Comparative study of thirteen species of Sarcosaprophagous Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera). *I. Bionomics. Ann. Ent. Soc. Am.* 51: 261-271.
20. Kentner, E. y Streit, B. 1990. Temporal distribution and habitat preference of congeneric insect species found at rat carrion. *Pedobiologia.* 34: 347-357.
21. Kneidel, K.A. 1984. Competition and disturbance in communities of carrion-breeding Diptera. *J.An.Ecol.* 53: 849-865.
22. Kouki, J. and Hanski, I. 1995. Population aggregation facilitates coexistence of many competing carrion fly species. *OIKOS.* 72: 223-227.
23. Keh, B. 1985. Scope and applications of forensic entomology. *Ann. Rev. Ent.* 30: 137-54.
24. Lane, R. 1975. An investigation into blowfly (Diptera: Calliphoridae) succession on capses. *J. Nat. Hist.* 9: 581-588.
25. Lord, W.D. and Burger, J.F. 1984. Arthropods associated with harbor Seal (*Phoca vitulina*) carcasses stranded on island along the New England coast. *Inter. J. Ent.* 26: 282-285.
26. McAlpine, J.F., Peterson, B.V.; Shewell, G.E.; Teskey, H.J.; Vockeroth, J.R. y Wood, D.M. 1987. Manual of nearctic Diptera. Vol. 2. 1ª Edic., Canadian Government Publishing Centre. Canada. 1134-1135.
27. McKinnerney, M. 1978. Carrion communities in the Northern Chihuahuan desert. *Sout. Nat.* 23 563-576.
28. Nuorteva, P. 1987. Empty puparia of *Phormia terraenovae* R.D. (Diptera, Calliphoridae) as forensic indicators. *Ann. Ent. Fenn.* 53: 53-56.
29. Parque Natural Metropolitano. Desplegable Informativo. Apdo. 5499, Balboa, Ancón, Panamá.
30. Payne, J. 1965. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology.* 46: 592-602.
31. Putman, R.J. 1977. Dynamics of the blowfly, *Calliphora erithrocephala*, within carrion. *J. An.Ecol.* 853-866.
32. Reed, H.B.A. 1958. Study of dog carcass communities in Tennessee with special reference to the insects. en Jirón, L.F. y Cartín, V.M. 1981. Insect succession in the decomposition of a mammal in Costa Rica. *New York. Ent. Soc.* (3): 158-165.
33. Smith, K.G.V. 1986. A manual of forensic entomology. 1ª Edición. Comstock Pub. Associates. Ithaca, N.Y. 205.
34. Smith, K.G.V. 1986. A manual of forensic entomology. en Ellison, G.T.H. 1990. The effect of scavenger mutilation an insect succession at impala carcasses in Routhern Africa. *J. Zool. Lond.* 220: 679-688.
35. Tullis, K. y Goff. M.L. 1987. Arthropod succession in expposedcarrion in a tropical rainforest on O'ahu island, Hawaii. *J. Med. Ent.* 24: 332-339.



## UN ENFOQUE AL ANÁLISIS DE UNA FAMILIA DE ALINEALIDADES TÍPICAS ESTÁTICAS

Por:

**Rony Javier Caballero y Melanio Alberto Castillo**  
Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones

### RESUMEN

Este trabajo presenta una contribución para el análisis de una familia de alinealidades típicas estáticas, que no consideran el fenómeno de histéresis (saturación, zona muerta, ganancia variable y sus combinaciones). El análisis utiliza el método de la función descriptiva y se establece una relación entre los máximos o mínimos de la gráfica de amplitud de la función y puntos de quiebre de las características estáticas no lineales.

### 1. INTRODUCCIÓN

Es un hecho conocido que muchas relaciones físicas son no lineales. Sin embargo, existen algunas alinealidades que podrían analizarse como una sola familia. De esta forma sería posible obtener una solución general para esta familia. Lo anterior, permitirá analizar en una forma más compacta, la relación existente entre diferentes parámetros de esta familia de alinealidades y los máximos o mínimos que se obtengan de la gráfica de amplitud de su función descriptiva.

### 2. DESARROLLO DE UNA FAMILIA DE ALINEALIDADES:

La familia a estudiar debe cumplir con la relación general:

$$y = -Mu(-x)u(\Delta+x)u(K1x+K1\Delta-M)u(-x-\Delta)u(S+x) + (K2x-(K1-K2)s+K1\Delta-M)u(-x-S)$$

$$+Mu(x)u(\Delta-x)+(K1x-K1\Delta+M)u(x-\Delta)u(S-x) + (K2x+(K1-K2)s+K1\Delta+M)u(x-S) \quad (1)$$

donde  $x$  corresponde a la señal de entrada,  $y$  corresponde a la señal de salida y  $u(x)$  corresponde a la función escalón unitario. En la Figura 1 puede verse la gráfica de  $y$  vs  $x$ . Como se aprecia, existe un nivel de salida inicial  $M$  y dos pendientes  $K1$  y  $K2$ , y dos puntos de cambio de pendiente  $\Delta$  y  $S$ .

Puede obtenerse diferentes casos típicos de la familia cambiando diferentes parámetros de la función (1), como se muestra en la Tabla 1. Sin embargo cabe resaltar que las alinealidades allí expuestas, no son las únicas que pueden ser consideradas en esta familia, ya que existen otras alinealidades que cumplen con la función estática general de esta familia (1).

