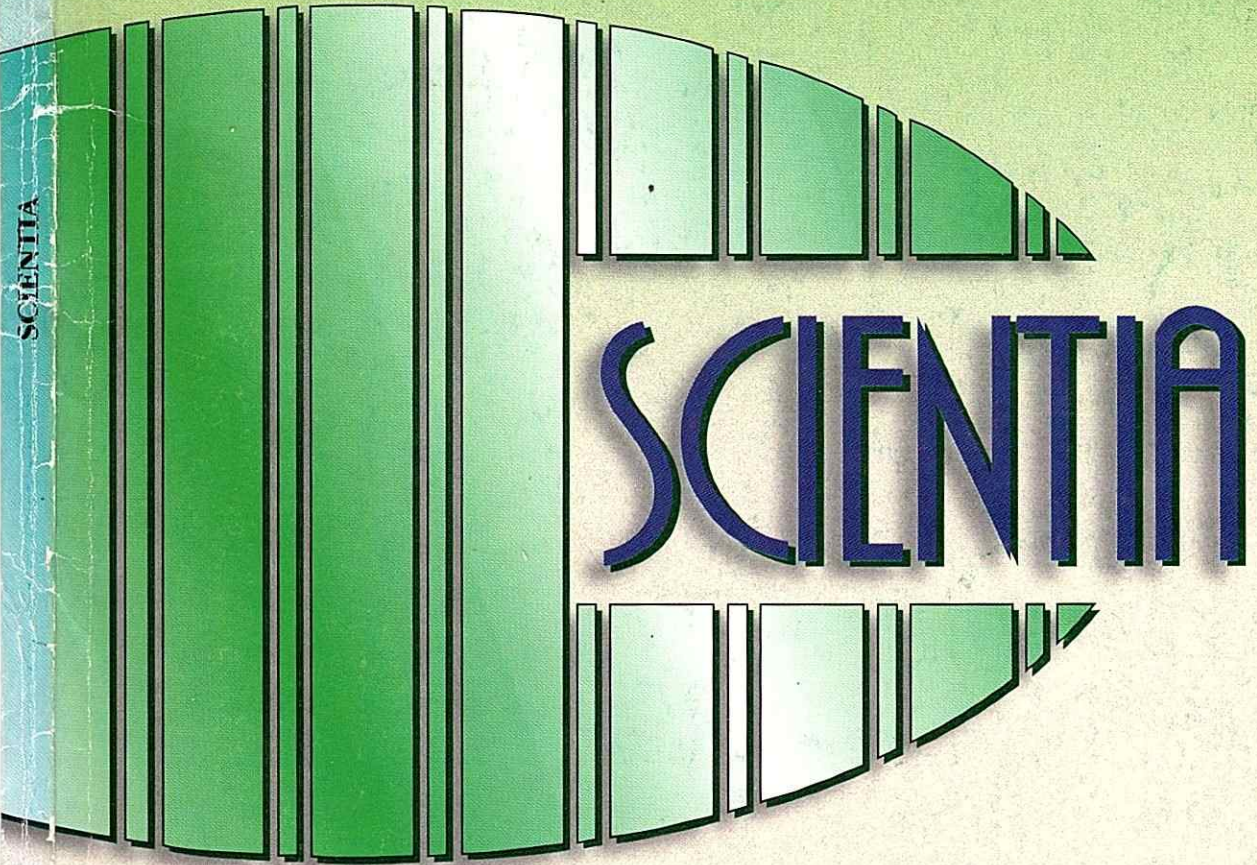


Junio de 1998

ISSN 0258-9702

**REVISTA DE
INVESTIGACIÓN DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**

SCIENTIA



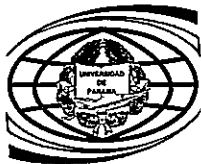
SCIENTIA

Vol. 13 • No. 1

Vol. 13 • No. 1 • Junio de 1998



**Revista de Investigación de la
Universidad de Panamá**



Publicación de la Vicerrectoría
de Investigación y Postgrado



**AUTORIDADES DE LA
UNIVERSIDAD DE PANAMA**

**Dr. Gustavo García de Paredes
RECTOR**

**Dr. Rolando Murgas Torrazza
VICERRECTOR ACÁDEMICO**

**Mgter. Julio A. Vallarino R.
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**Dr. Justo Medrano V.
VICERRECTOR DE EXTENSIÓN**

**Dr. Osman Robles
VICERRECTOR DE ASUNTOS ESTUDIANTILES**

**Mgter. Gloriela de Rengifo
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA**

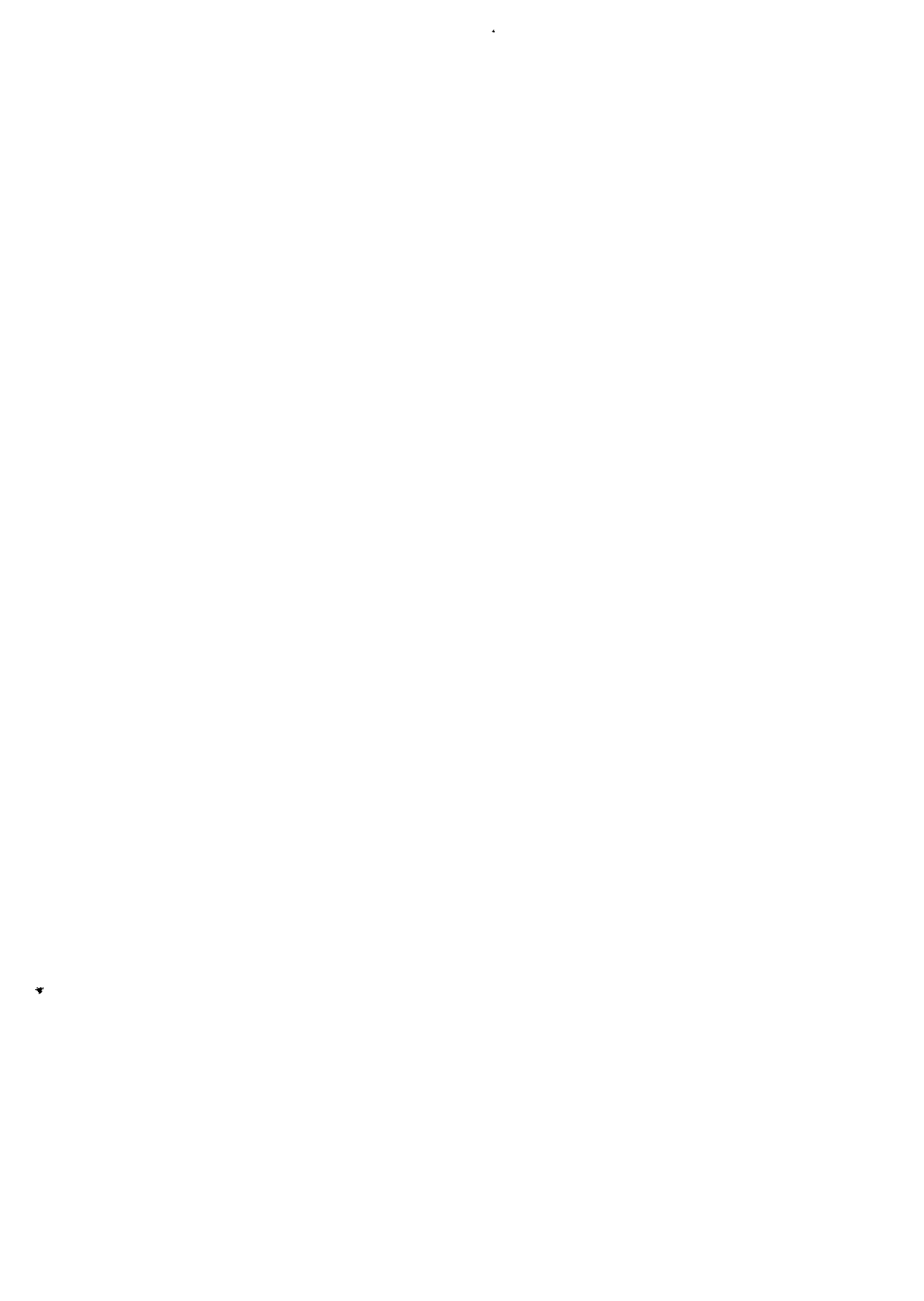
**Prof. Egbert N. Wetherborne
SECRETARIO GENERAL**

NOTA EDITORIAL

La Revista **Scientia** vio la luz en 1986, bajo la administración del entonces Rector, Dr. Ceferino Sánchez, como una iniciativa del Vicerrector de Investigación y Postgrado, a la fecha, el Dr. Abdiel Adames. Desde entonces hasta nuestros días se ha editado con absoluta regularidad por algo más de doce años. Esta regularidad editorial sólo puede ser entendida como la manifestación más clara de que las sucesivas administraciones universitarias se han sentido comprometidas con su publicación y en última instancia partícipes de una tradición. El Maestro de las Juventudes Panameñas, Dr. Octavio Méndez Pereira, caracterizó una vez la nación panameña como un fluctuar entre la profundidad y el tránsito; justo es reconocer que **Scientia** se sitúa en la vertiente del País Profundo, de la tradición nacional y de la permanencia. Es, pues, una entidad madura.

El número de **Scientia** que hoy presentamos es el más claro ejemplo de que la divulgación de la investigación científica en Panamá ha alcanzado su madurez. Por tal razón y dentro del marco de renovación que la actual administración universitaria se ha impuesto, el tipo de papel, la portada y el diagramado de la Revista han sido cambiados completamente. El lector notará que se ha introducido impresión de imágenes a color con el propósito de acercarnos más a la realidad que intentamos reflejar. De este número en adelante, en toda imagen de la naturaleza que requiera para su mejor representación el uso del color, éste será usado.

La Revista ha sido la memoria de la labor científica de los investigadores universitarios panameños. A ellos que con su pasión y cariño la han mantenido, va dedicado este número.



RESPUESTAS DEL EPITELIO BRANQUIAL DEL GUAPOTE, *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837) DURANTE ADAPTACIÓN OSMÓTICA

DUPUY L., OMAR A. Y VILLARREAL, CÉSAR A.

Laboratorio de Fisiología Animal Dr. Erich Graetz,
Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal,
Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Universidad de Panamá.

RESUMEN

La estructura macro y microscópica de la branquia del pez eleótrido *Dormitator latifrons* R. es descrita en el presente trabajo, al igual que las respuestas cuantitativas de las células de cloro (CC) y de moco (CM) presentes en la misma, al colocar el pez a agua de mar (AM) y a agua dulce (AD). Las CC al ser sometidas a AM por un período no menor de 72 h aumentaron significativamente ($p < 0,05$) en tamaño y número al compararlas con las correspondientes sometidas a AD. Adicionalmente, las CC presentaron una actividad tintorial mayor lo que sugiere que acumulan una cantidad mayor de enzimas envueltas en procesos metabólicos aerobios. Las CM tuvieron una respuesta inversa pues las branquias sometidas a AM presentaron CM de menor tamaño y número que las sometidas a AD. La data aquí recogida evidencia que las CC de las branquias de *D. latifrons* son responsables de la absorción de iones en AD y de secreción de los mismos en AM; mientras que las CM disminuyen la permeabilidad al agua e iones en AD.

PALABRAS CLAVES

Dormitator latifrons, células de cloro, células de moco, branquias, células pavimentosas, osmorregulación.

INTRODUCCIÓN

La composición de los fluidos corporales del pez eurihalino *Dormitator latifrons*, luego de una semana de transferencia directa a agua de mar (AM), no muestra diferencia alguna cuando se la compara con la correspondiente a un individuo adaptado a agua dulce (AD) (Villarreal *et al.*, 1986; 1993). Por otra parte, la concentración de iones sodio y cloro plasmáticos de *D. latifrons* adaptado a AM o a AD es de 26% del contenido correspondiente de estos iones en agua de mar (Villarreal *et al.*, 1987); este nivel es muy próximo al reportado para la mayoría de los teleósteos (30%, Evans, 1980). Tal situación es indicativa de que el guapote al igual que muchos peces eurihalinos en AD está expuesto a una pérdida diferencial de iones y una ganancia pasiva de agua, en tanto que en AM debe equilibrar una ganancia diferencial de iones acompañada de una pérdida osmótica de agua (Safford, 1957; Prosser, 1973; Evans, 1980; Rankin y Davenport, 1981; Villarreal *et al.*, 1993).

El hecho de que los teleósteos sean capaces de mantener la concentración iónica y osmótica dentro de rangos más bien estrechos evidencia la existencia de mecanismos epiteliales de transporte (piel, riñón, intestino y branquias) aptos para realizar tal función (Rorive y Gilles, 1979; Evans, 1980; Villarreal *et al.*, 1993). De estos mecanismos epiteliales uno de los más estudiados en este sentido ha sido la branquia.

La branquia de los teleósteos realiza cuando menos dos funciones: respiratoria y osmo o ionoregulatoria. La última función parece estar asociada a la actividad de las células (1) de moco o mucocito (CM), (2) de cloro o ionocitos (CC), (3) accesorias y (4) pavimentosas (Hughes y Morgan, 1973; Hughes, 1984; Marshall, 1976; Karnaky, 1980; Laurent, 1984; Payan *et al.*, 1984; Zadunaisky, 1984). Consistente con esta afirmación, las CC de los teleósteos eurihalinos, tanto diádtomos como anfiádtomos (McDowall, 1988), aumentan en número y tamaño al ser transferidos de AD a AM (Karnaky, 1980; Langdon y Thorpe, 1984; Salman y Eddy, 1987; Cioni *et al.*, 1991). Una respuesta similar se observa cuando el pez es sometido a una transferencia inversa (eg. de AM a AD) (Perry y Laurent, 1989); por tal razón se ha concluido que los ionocitos tienen como función secretar iones en AM y absorberlos en AD (Avella *et al.*, 1987; Hwang, 1988; Perry y Laurent, 1989). Los mucocitos también han sido asociados a funciones osmorreguladoras en especial en medios hipoosmóticos (AD). La observación más firme con respecto a estas células es la de que su número y en algunos casos su tamaño son mayores en AD que en AM (Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978; Perry y Laurent, 1989).

En el presente trabajo se describe la estructura anatómica e histológica de la branquia del *D. latifrons* y se reportan los cambios citológicos a los que se ve sometido su epitelio branquial al ser expuesto a medios hiper e hipoosmóticos.

PARTE EXPERIMENTAL

Método de captura:

Se capturaron 56 ejemplares de *D. latifrons* (32 machos y 24 hembras) de $99,36 \pm 3,98$ g de peso y $15,80 \pm 0,21$ cm de longitud estándar, en la localidad Puente de la Reina (sitio 3, S3) en la Provincia de Panamá. Las características del sitio de colecta y del arte de pesca han sido descritas en otra parte (Villarreal *et. al.*, 1990). Los peces colectados fueron trasladados al Lab. Dr. Erich Graetz, del Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal, en donde se realizaron los experimentos.

Condiciones de aclimatación:

Los animales fueron aclimatados a las condiciones de laboratorio, colocándolos en tanques de 75,7 L, conteniendo agua de grifo de la Ciudad de Panamá, previamente reposada por 48 h. Los peces permanecían en dichas peceras por un período no menor de siete (7) días. Una vez cumplido este intervalo, 28 animales (16 machos y 12 hembras) fueron transferidos a un tanque de igual volumen conteniendo agua de grifo declorinada con 0,1 g de declorinador comercial (Corona) por 4 L de agua; estos peces representan la muestra control. Un igual número y proporción de peces fueron colocados directamente en 100% de AM filtrada obtenida en el Laboratorio de Ciencias del Mar y Limnología ubicado en la Isla de Naos (experimentales). La salinidad estimada a 29°C para el agua de grifo reposada, declorinada, y de mar empleada fue de (0, y 30 ‰, respectivamente (Refractómetro, Cambridge Inst. Inc.).

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

Tratamiento histológico para microscopía óptica (MO):

Las branquias y los opérculos fueron fijados en solución de Bouin por un período no mayor de 72 h y posteriormente lavadas durante 48 h bajo flujo continuo de agua de grifo. Las muestras, seguidamente, fueron descalcificadas con HNO₃ 10% por 2 h, deshidratadas con etanol en grado creciente, aclaradas en xilol e incluidas en parafina. Con el propósito de examinar el mayor número de espacios interlamelares, se realizaron cortes longitudinales de la branquia a 3 μm de espesor. A continuación los cortes fueron sometidos a las siguientes tinciones: Mallory, Herlant II, Hematoxilina-Eosina, y el Método de Cain para mitocondria (Herlant, 1960; Luna, 1968; Lillie y Fullmer, 1976; Tröyer, 1980; Lesson y Lesson, 1987).

Tratamiento para microscopía electrónica de barrido (MEB):

Algunos de los ejemplares colectados fueron sometidos a AM 25%, por un período de 7 días. Al final de los cuales los peces fueron sacrificados con sobredosis de MS 222. Las branquias fueron extraídas y fijadas en formalina neutra, lavadas en amortiguador y post-fijadas con tetróxido de osmio (1%) pH 7,4 por 3 h. Se procedió luego a lavar con amortiguador de fosfato, seguido de deshidratación en una serie ascendente de etanol y secadas a punto crítico. La muestra, finalmente, fue recubierta con una capa de oro. Las muestras fueron estudiadas con un MEB Hitachi de la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad de Costa Rica.

Mediciones morfométricas:

El estado de la branquia de *D. latifrons* fue estimado cualitativa y cuantitativamente. En el último caso la evaluación se realizó mediante la medición de los índices celulares 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:

$$DC = \text{Longitud máxima} + \text{Ancho máximo} / 2 \text{ (Leatherland, 1970).}$$

La determinación de las longitudes celulares se realizó con la ayuda de un micrómetro ocular en 25 células de cloro y de moco presentes en un corte longitudinal de la branquia por cada pez. Para la determinación de la densidad celular se contaron el número de células de cloro presentes en la región interlamelar, cubriendo un área de $7,5 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$ entre cada par de lamelas. En el caso de las células de moco, se contaron el número de células presentes en la región apical del filamento branquial, cubriendo un área de $1,5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2$.

El grado de actividad secretora fue evaluado subjetivamente mediante la determinación del grado de titorialidad de las células de cloro y moco de la branquia. Para tal fin a las células de cloro evaluadas cuantitativamente se le asignó una de las siguientes categorías (a) rojo intenso, (b) rojo claro. En el caso de las células de moco, también se asignaron dos categorías, a saber: (a) celeste intenso, (b) celeste claro. Seguidamente se determinó el porcentaje correspondiente de cada categoría del total para cada tipo celular.

Con el propósito de estimar la densidad de CC a todo lo largo de la lamela durante el período de adaptación hipoosmótica, se dividió ésta, mediante el trazado de dos ejes imaginarios, en tres regiones: basal, media y distal, para las horas 0, 72, 168, y 360 del experimento.

Análisis estadístico de la data:

Con el propósito de superar las limitaciones impuestas por los postulados del análisis estadístico paramétrico 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 Estat. Los resultados se expresan como promedio \pm ES.

RESULTADOS

Morfología general de la branquia:

El *Dormitator latifrons* presenta a cada lado de la cabeza y debajo de los opérculos, cuatro arcos branquiales, de los cuales se proyectan lateralmente los filamentos branquiales. De las superficies superior e inferior del filamento emergen perpendicularmente y en ángulos rectos una hilera de estructuras de aspecto foliar denominadas lamelas (Fig. 1, inserto). Las lamelas de ambas caras del filamento se arreglan de forma alternada una con respecto a la otra (Fig. 4). Los filamentos se componen de dos series alternadas de placas alargadas que se extienden desde el borde anterior y posterior del arco branquial. A cada serie se le denomina hemibranchia, la serie anterior y posterior juntas constituyen la holobranquia (Fig. 1). La irrigación de los filamentos se realiza a través de tres vasos sanguíneos: dos arterias (aferente y eferente) y un seno venoso central (Fig. 2). El filamento propiamente dicho posee dos compartimientos vasculares distintos: el compartimiento lamelar localizado entre las arterias aferentes y eferentes y el seno venoso central (Fig. 2).

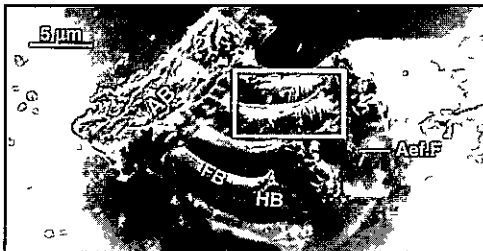


Figura 1.

Micrografía electrónica de barrido de la branquia del guapote (*Dormitator latifrons*) adaptado a AM (25%). AB: arco branquial. FB: filamento branquial. L: lamela. HB: hemibranchia. Aaf.F: arteria aferente del filamento. 20X.



Inserto:

Ampliación del cuadro marcado en blanco. 25X.

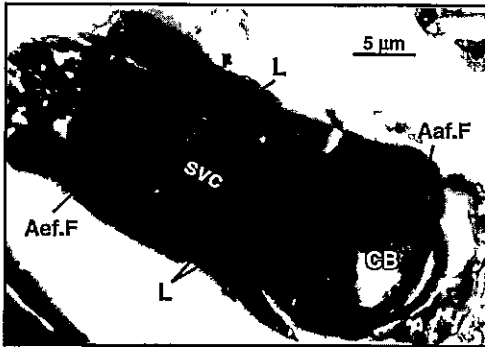


Figura 2.
Sección transversal del filamento branquial del guapote adaptado por 360 h a AD. Aaf.F: arteria aferente del filamento. Aef.F: arteria eferente del filamento. SVC: seno venoso central. CB: cartilago. L: lamela. 66X.

Estructura histológica de la branquia:

En el guapote adulto se distinguen dos tipos distintos de epitelios: el epitelio estratificado del filamento, envuelto esencialmente en procesos de intercambio iónico y el epitelio bilamelar implicado en el intercambio de gases entre la sangre y el ambiente acuático. En la base de cada epitelio se distingue una membrana basal fácilmente discernible por su coloración azul con las tinciones de Mallory y Cain (Cuadro 1). El epitelio del filamento está conformado por un mosaico de células respiratorias lamelares, células de moco (CM), células ricas en mitocondrias o células de cloro (CC) y las células accesorias. Las células respiratorias o pavimentosas del epitelio branquial observadas mediante MEB (Fig. 3) presentan formas poligonales variadas con su superficie expuesta mostrando microarrugas (microridge) típicas de este epitelio.

Cuadro 1.
Característica tintorial del epitelio estratificado del filamento branquial de *Dormitator latifrons*.

TEJIDO	MALLORY	HERLANT II	HEMATOXILINA-EOSINA	CAIN
Células de Cloro	AAnOG++ (Azul verdoso)	FB++ (Naranja)	Eo+ (Rosado)	Fa++ (Rojo vino)
Células de Moco	AAn+ (Celeste pálido)	PAS+ (Amarillo pálido)	Eo+ (Rosado pálido)	AAn+ (Celeste)
Células Pilares	AAn+ (Celeste)	FB+ (Naranja pálido)	Eo+ (Rosado pálido)	Fa+ (Rojo vino)
Eritrocitos	OG++ (Amarillo intenso)	FB+ (Naranja pálido)	Eo++ (Naranja intenso)	Fa++ (Rojo)
Epitelio	AAn+ (Celeste)	FB+ (Naranja pálido)	Eo+ (Rosado pálido)	Fa+ (Rosado)
Músculo	AAnOG++ (Azul verdoso)	FB+ (Naranja pálido)	Eo+ (Rosado)	Fa++ (Carmesí)
Lámina Basal	AAn+ (Añil)	PAS+ (Rosado)	Eo+ (Rosado)	AAn++ (Azul)
Endotelio	AAn+ (Añil)	PAS+ (Rosado)	Eo+ (Naranja)	AAn++ (Azul)

AAn: Azul de Afilina, OG: Naranja G, FB: Fuschina básica, PAS: Acido periódico de Schiff, Eo: Eosina, FA: Fuschina ácida.

Referencias: Herlant, 1960; Luna, 1968; Lillie y Fullmer, 1976; Troyer, 1980; Lesson y Lesson, 1987.



Figura 3. Micrografía electrónica de barrido de la superficie del epitelio estratificado del filamento de la branquia del guapote adaptado a AM (25%). GPV: células pavimentosas. CC: célula de cloro. CM: célula de moco. mar: microarrugas. za: zona de adhesión intercelular. 1700X.

Estas células forman una superficie continua, aunque las arrugas formadas por las zonas de adhesión intercelular son claramente discernibles (Tilney y Hocutt, 1987). La continuidad de la superficie es interrumpida, aquí y allá, por la presencia de CC y CM. Las CC pueden ser distinguidas por mostrar una membrana apical cubierta por microvellosidades (Fig. 3). Las CC parecen ser de tipo β (BCC) que se caracterizan por ser invaginadas y con membrana apical microvellosa, no se observaron células de cloro α (Franklin y Davison, 1989; Brown, 1992). Las CM pueden ser diferenciadas del resto por liberar su contenido mucoso al medio (Fig. 3). Finalmente las células epiteliales de la lamela carecen de microarrugas (Fig. 1, inserto).

Un corte de sección transversal de la branquia permite distinguir las CC, las CM y el cartílago de sostén, tanto en el arco branquial como en los filamentos (Fig. 2). La identificación de la CC se sustentó básicamente sobre tres criterios: propiedades tintoriales, morfología y respuestas fisiológicas; estas últimas las discutimos más adelante. Adicionalmente se observa el seno venoso central que forma un compartimiento vascular separado dentro del filamento y las arterias aferentes y eferentes, la primera próxima al cartílago y la segunda distal a él. En *D. latifrons* hemos podido discernir que el seno venoso está irrigado por la arteria eferente.

La lamela al microscopio óptico muestra consistir de dos epitelios que se continúan hasta el margen, y separados por células espaciadas llamadas células pilares (Figs. 4 y 5).

Las células de cloro o ionocitos:

Las CC fueron fácilmente caracterizables por sus propiedades tintoriales, entre ellas la de ser acidófilas y de teñir diferencialmente de rojo vino con la tinción de Cain (Fig. 4; Cuadro 1). Esta última fue diseñada originalmente para teñir mitocondrias, pero dado el hecho de que las CC son especialmente ricas en mitocondrias (Karnaky, 1980; Cioni *et al.*, 1991; Perera, 1993; Li *et al.*, 1995), la tinción diferencial tiende a confirmar el rasgo ionocítico de estas células. La forma de esta célula es irregular, su

núcleo es basal y el citoplasma granulado. En el epitelio filamentososo se arreglan columnarmente y debido a su gran tamaño se extienden sin interrupción desde la lámina basal hasta el ambiente acuático desorganizando así la estratificación epitelial. Las CC se abren al exterior, en especial en peces adaptados a AM, mediante la cripta apical (Figs. 4 y 5), aunque éstas también se observan en peces adaptados a AD pero con menor frecuencia. Las CC predominan en la región interlamelar; no obstante, también se aprecian en el interior y la periferia de la lamela. Se observó una diferencia importante con respecto a la distribución de CC en la lamela branquial adaptada a AM con respecto al AD. En efecto, estas células tienden a concentrarse en la región basal de la lamela, próximas a sus homólogas de la región interlamelar; mientras que en guapotes adaptados a AD las CC se distribuyen uniformemente. Para corroborar esta afirmación, se comparó la densidad de CC en la región basal, media y distal de las lamelas adaptadas a cada medio comparándolas con el valor esperado, observándose una significativa heterogeneidad en la distribución para peces en AM (X^2 ; $p < 0,01$, 6 gl), mientras que en los peces en AD la distribución fue homogénea (X^2 ; $p > 0,05$; 6 gl).

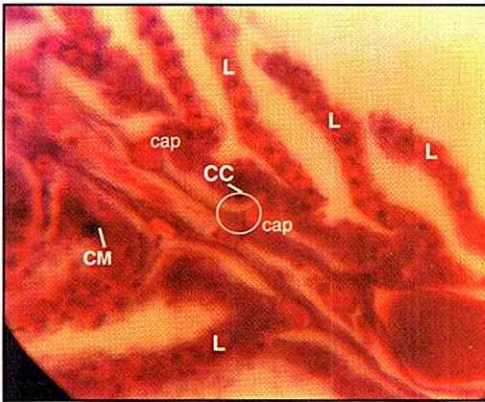


Figura 4. Sección longitudinal del filamento branquial del guapote adaptado por 144 h a AM, mostrando el arreglo alternado de las lamelas. cap: capilar. CM: célula de moco. CC: célula de cloro. L: lamela. 330X.

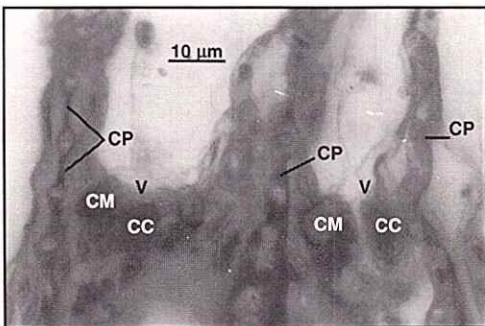


Figura 5. Sección longitudinal mostrando la región interlamelar del filamento branquial del guapote adaptado a 144 h en AM. CP: célula pilar. V: cripta apical. CM: célula de moco. CC: célula de cloro. 330X.

Las células de moco o mucocitos:

Las CM del *D. latifrons* son ovaladas, redondas o en forma de botellas si se comunican con el exterior (Fig. 5) y su núcleo es basal. Tintorialmente las CM son basófilas y tiñen de celeste con la tinción de Mallory y de Cain y amarillo pálido con la de Herlant II (Cuadro 1).

Tanto las CC como las CM se comunican al exterior interrumpiendo la continuidad de la capa de células pavimentosas, pero mientras la aparición de cripta apical de la CC es frecuente en AM el contacto con el medio marino para las CM es poco numeroso, la situación se invierte en AD.

Respuestas de los ionocitos (CC) del filamento al AM:

Las CC presentes en la branquia de *D. latifrons* adaptado a AM en general presentaron diámetros celulares (DC) significativamente ($p < 0,05$) mayores que las correspondientes al pez adaptado a AD, en especial a partir de las 72 h cuando tuvieron un valor de $7,00 \pm 0,107 \mu\text{m}$ con respecto a los controles que presentaron un valor de $6,30 \pm 0,122 \mu\text{m}$; tal diferencia se mantuvo estable durante el resto del experimento (Fig. 6A). No obstante, durante las primeras 24 y 48 h las CC sometidas AM tuvieron diámetros significativamente ($p < 0,01$) menores que las CC sometidas a AD con valores $5,97 \pm 0,093 \mu\text{m}$ y $5,85 \pm 0,138 \mu\text{m}$; $6,45 \pm 0,088 \mu\text{m}$ y $6,29 \pm 0,123 \mu\text{m}$ respectivamente (Fig. 6A).

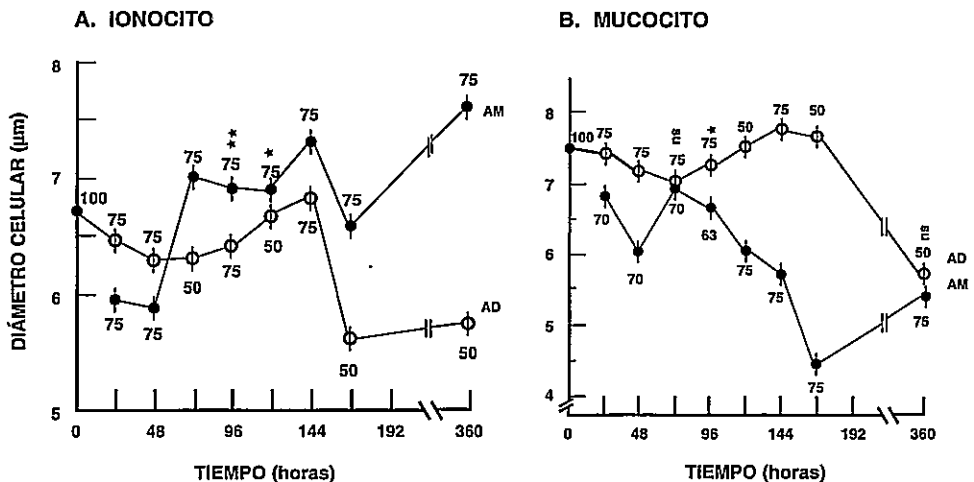


Figura 6.

Variación en el diámetro celular (μm) de las células de cloro o ionocito (A) y de las células de moco o mucocito (B.) del epitelio estratificado del filamento branquial del guapote sometidos a AM (experimental) y a AD (control). Promedio \pm ES. N: número de células. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$. ns: no significativo.

La densidad celular de las CC en AM fue significativamente ($p < 0,05$) mayor que la correspondiente a AD a partir de las 72 h cuando las primeras mostraron una densidad de $3,37 \times 10^5 \pm 0,31$ cel/cm² con respecto a las segundas las cuales presentaron una densidad de $2,53 \times 10^5 \pm 0,21$ cel/cm²; con excepción de las 144 h durante las cuales, aunque la densidad del experimental fue mayor, tal diferencia no fue significativa ($p > 0,05$) (Fig. 7A). Al igual que en el caso anterior la densidad celular de las CC del experimental (AM) fue significativamente ($p < 0,01$) menor que el control (AD) a las 24 h ($1,82 \times 10^5 \pm 0,19$ cel/cm² y $2,44 \times 10^5 \pm 0,17$ cel/cm², respectivamente), mientras que no mostraron diferencia ($p > 0,05$) alguna a las 48 h (Fig. 7A).

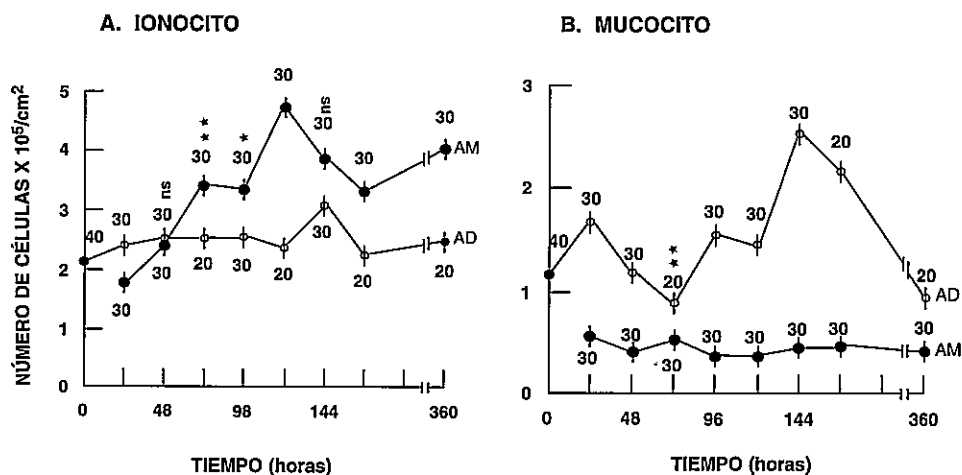


Figura 7. Variación en densidad celular (Nº de células x 10⁵ cel/cm²) de las células de cloro o ionocito (A) y de las células de moco o mucocito (B) del epitelio estratificado del filamento branquial del guapote sometidos a AM y a AD. Promedio ± ES. N: número de células. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$. ns: no significativo.

El grado de tintorialidad de las CC expresado subjetivamente como rojo intenso aumentó cuando los guapotes fueron colocados en AM, desde un valor 46,67% a las 24 h hasta alcanzar su valor más alto de 90,67% a las 360 h (Fig. 8A). Una prueba de "Chi" cuadrado de dos colas demostró que esta tendencia al aumento en tintorialidad de las CC en AM era significativa ($\chi^2 = 88,792$, $p < 0,005$, 8 gl). Por otra parte, las CC de las branquias adaptadas a AD mostraron incrementos transitorios y significativos ($\chi^2 = 57,464$, $p < 0,005$, 8 gl) en tintorialidad a las 72 h (92%) y 144 h (84%), decreciendo de allí en adelante hasta alcanzar un valor mínimo de 18% al final del experimento (360.h) (Fig. 8A).

Respuestas de los mucocitos (CM) del filamento al AM:

Las CM de las branquias adaptadas a AM mostraron diámetros significativamente ($p < 0,05$) menores que las células adaptadas a AD, con excepción de las 72 h y 360 h que, aunque el diámetro de estas células continuó siendo menor, tal diferencia no fue significativa ($p > 0,05$). El diámetro más pequeño alcanzado por estas células fue de $4,47 \pm 0,166 \mu\text{m}$ a las 168 h de tratamiento con AM (Fig. 6B).

La densidad de CM de las branquias del guapote adaptado a AM fue uniforme y significativamente ($p < 0,01$) menor que la de las branquias adaptadas a AD (Fig. 7B). En AD, sin embargo, se notó un ligero decrecimiento en densidad a las 72 h cuando se obtuvo un valor de $0,93 \times 10^5 \pm 0,075 \text{ cel/cm}^2$; de allí en adelante la densidad aumentó abruptamente hasta alcanzar un valor máximo a las 144 h con una magnitud de $2,55 \times 10^5 \pm 0,249 \text{ cel/cm}^2$. La densidad de CM de la branquia adaptada a AD, a partir de este instante, descendió para alcanzar a las 360 h una magnitud de $0,97 \times 10^5 \pm 0,102 \text{ cel/cm}^2$, valor que, sin embargo, fue dos veces mayor que el correspondiente a la branquia adaptada a AM (Fig. 7B).

El grado de tintorialidad de las CM también fue evaluado, observándose que durante las primeras 120 h, los guapotes expuestos a AD teñían porcentualmente en forma más intensa que las CM de los guapotes adaptados a AM. Esta situación se invirtió a partir de las 144 h (Fig. 8B).

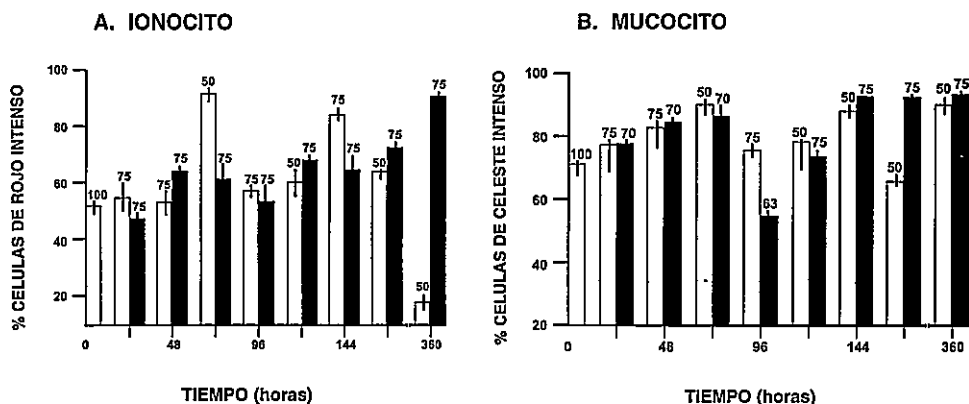


Figura 8.

Variación en la intensidad de tintorialidad de las células de cloro o ionocitos (A. rojo intenso) y de las células de moco o mucocitos (B. celeste intenso) del epitelio estratificado del filamento branquial del guapote sometido a AM y AD. Promedio \pm ES. N: número de células. Barras en negro AM y las barras en blanco AD.

DISCUSION

Estructura gruesa de la branquia relacionada con el epitelio:

La estructura general de la branquia de *Dormitator latifrons* presenta las características típicas de los teleósteos (Hughes y Morgan, 1973; Hughes, 1984), en especial en lo referente a su estructura histológica. En tal sentido hacemos notar que en el guapote, al igual que en el resto de los peces óseos, la diferenciación entre el tejido respiratorio o epitelio bilamelar y el epitelio secretor de sal o tejido estratificado del filamento es claramente marcada (Laurent y Dunel, 1980; Li *et al.* 1995). Los rasgos más característicos del primero son la presencia de células pilares que separaran los epitelios de superficies externos lisos de células escamosas (Figs. 4 y 5), la ausencia de estratificación y casi no presentan células de cloro (CC) (Conte, 1969; Karnaky 1980). Este último rasgo fue demostrado empíricamente por nosotros, comparando la densidad de CC en diferentes porciones de la lamela comprobando que las mismas tienden a acumularse en la base de la misma, en especial en el pez adaptado a AM. Distintamente, el epitelio del filamento es estratificado con abundancia de CC en especial en el espacio interlamelar (Fig. 5). Tal diferenciación histológica parece estar asociada a las funciones adscritas a cada uno de estos tejidos, así, por ejemplo, Payan *et al.* (1984) han demostrado que en *Oncorhynchus mykiss* adaptado a AM el eflujo de iones Na^+ y Cl^- ocurre principalmente a través del epitelio del filamento probablemente por las CC de éste. La ubicación de dichas células en el espacio interlamelar asegura su proximidad al seno venoso central y por ende a la recirculación corazón-branquias. En efecto, el seno es irrigado por la arteria eferente del filamento y drena a la vena branquial que regresa parte de la sangre branquial al corazón (Hughes, 1984; Payan *et al.*, 1984). Por otro lado, el influjo de los iones Na^+ y Cl^- en AD ocurre a través del epitelio bilamelar (Payan *et al.*, 1984). Finalmente, el hecho de que estas células de gran tamaño se extiendan desde la lámina basal del epitelio al exterior robustece más aún nuestra interpretación de que el tejido filamentoso del *D. latifrons* es un tejido secretor de iones.

Caracterización citológica de los ionocitos:

El grueso de la evidencia citológica aquí recogida apunta inequívocamente a señalar que las células de gran tamaño, teñidas intensamente de rojo vino con tinción de Cain y localizadas básicamente en la región interlamelar del filamento branquial, son las células de cloro. El criterio histológico más sólido está basado en la afinidad tintorial de las numerosas mitocondrias presentes en las CC (Cuadro 1). La solidez de nuestra suposición esta corroborada por el uso, en estudios similares con CC, de colorantes fluorescentes para mitocondrias, tales como el DASPAMI (ioduro de dimetilaminostirilmetilpiridinium) y DASPEI (ioduro de 2-dimetilaminostiril-1-etilpirimidinium) (Marshall y Nishioka, 1980; Karnaky *et al.*, 1984; Zadunaisky, 1984; Verboost *et al.*, 1994 y Li *et al.*, 1995). El uso de tales colorantes ha permitido la identificación de células con forma

y ubicación similares a la reconocida por nosotros en el guapote como CC. Recientemente, Katsudas (1994), mediante microscopía electrónica de transmisión (MET), demostró en *D. latifrons* que células con las mismas características morfológicas y ubicación que las aquí reportadas constituyen la población de CC del filamento branquial. Adicionalmente, la presencia de membranas apicales típicas de CC (Perry y Laurent 1989; Franklin y Davison, 1989; y Brown, 1992) en la superficie del filamento branquial demostrada por nosotros mediante MEB (Figs. 3, 4 y 5) contribuye a fundamentar más aún nuestra afirmación.

Respuesta de los ionocitos al agua de mar (AM):

Los teleósteos adaptados a AM presentan CC más grandes o más numerosas o ambas que los adaptados a AD (Karnaky, 1980; Lubin *et al.*, 1989; Cioni *et al.*, 1991; Li *et al.*, 1995). El *D. latifrons*, en este sentido, se comporta como la mayoría de los teleósteos eurihalinos estudiados, toda vez que el diámetro y número de las CC presentes en el epitelio del filamento aumentan luego de sometidos a AM por un período no menor de 72 h (Figs. 6A y 7A). En forma independiente, Katsudas (1994) demostró un aumento significativo ($p < 0,05$) en el diámetro de las CC de *D. latifrons* expuesto a AM. Sin embargo, la respuesta por ella observada se hizo evidente 24 h después de someter el pez a AM. La discrepancia en la respuesta temporal dada por el pez en ambos experimentos puede deberse a la capacidad de resolución del MET cuando se lo compara con el microscopio óptico. No obstante, otro factor experimental o de muestreo puede estar influyendo en cada caso. Nuestros experimentos distan de los de Katsudas (1994) en dos aspectos importantes: Primero, nosotros, a diferencia de ella, evaluamos la densidad celular. Segundo, Katsudas podía segregar células con citoplasma y núcleo claramente discernible, criterio que nosotros no siempre pudimos satisfacer.

Los datos aquí presentados revelan en forma consistente que el tamaño y densidad de CC, durante la primeras 48 h, fueron significativamente ($p < 0,01$) menores en guapotes adaptados a AM, que en aquellos adaptados a AD (Figs. 6A y 7A). Este último resultado es consistente con todos los datos recogidos en nuestro laboratorio en el sentido de que la branquia como un todo disminuye su contenido acuoso durante las primeras 72 h, de ser sometida a AM (Villarreal *et al.*, 1986; 1993). Villarreal *et al.* (1993) sugirieron, por lo menos para la musculatura, que el descenso de contenido hídrico muscular por ellos observado, reflejaba un ajuste de volumen celular en respuesta a una diferencia de gradiente osmótico entre la fibra muscular y el fluido extracelular. El mismo razonamiento puede ser aplicado a la branquia, con la diferencia de que el gradiente osmótico se establece entre la branquia y el medio externo y de que los datos presentes demuestran que no todo el tejido del filamento disminuye de volumen. En efecto, como quiera que las CC disminuyen de diámetro durante las primeras 48 h (Fig. 6A), mientras que la densidad solo lo hace durante las primeras 24 h (Fig. 7A), la única explicación plausible es la de que durante las primeras 24 h solo se encogen las CC mientras que el resto del epite-

lio del filamento no varía su diámetro o lo aumenta ligeramente dando por resultado una disminución paradójica de la densidad celular, esto es un menor número de CC por unidad de área. Acorde con esta interpretación está el hecho de que no hubo diferencia de densidad de CC entre la población en AD y AM a las 48 h (Fig. 7A).

Finalmente, puesto que las CC aumentan su tintorialidad a medida que el guapote permanece más tiempo en AM (Fig. 8A) es evidente, no solo que las células en cuestión se agrandan sino que acumulan enzimas asociadas al metabolismo aerobio, permitiéndoles aportar la energía necesaria para aumentar el transporte de iones al exterior del cuerpo del animal. Lo inverso ocurre con las CC en AD donde luego de un aumento transitorio a las 72 h (92%) y 144 h (84%), el grado de tintorialidad descendió a su nivel más bajo 360 h después (18%) (Fig. 8A). Podemos explicar parcialmente este resultado asumiendo que las CC son importantes y activas en AD, aunque a largo plazo su importancia disminuye grandemente (ver más adelante). Podemos concluir, entonces, que a las 72 h la branquia de *D. latifrons* en AM está preparada para secretar activamente la sobrecarga de iones Na^+ y Cl^- , producto de la adaptación hipoosmótica.

Otro rasgo funcional significativo, manifestado por las CC del *D. latifrons*, fue el de mostrar los peces adaptados a AM, criptas apicales con más frecuencia, que aquellos adaptados a AD. Resultados similares han sido reportados para dos especies eurihalinas con historias de vida radicalmente divergentes, como son los casos del salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y las tilapias (*Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*) (Lubin *et al.*, 1989; Cioni *et al.*, 1991). La presencia de criptas es interpretada usualmente como la manifestación física de la capacidad de secreción activa de iones Cl^- por parte de las CC (Karnaky, 1980; Foskett y Scheffey, 1982; Zadunaisky, 1984). Estos resultados, tanto como los anteriores, confirman la sugerencia de Villarreal *et al.* (1986), en el sentido de que el guapote después de 96 h de adaptación a AM posee mecanismos hipoosmoreguladores plenamente funcionales.

Respuesta de los ionocitos al agua dulce (AD):

La branquia del guapote adaptado a AD presenta una cantidad importante de CC; el hecho de que alguna de ellas presenten cripta apical, sugiere que pueden estar involucradas en el transporte de iones. Numerosas observaciones indican que las CC realizan un papel importante en la adaptación a AD. Por ejemplo, el epitelio bilamelar de la trucha arcoiris (*O. mykiss*) presenta numerosas CC cuando está adaptado a AD; evidencias similares han sido reportadas para el salmón sockeye (*O. nerka*), la trucha café (*Salmo trutta*), la carpa (*Cyprinus carpio*), el ayu (*Plecoglossus altivelis*) y la tilapia juvenil (*Oreochromis mossambicus*) (Hwang, 1988; Franklin y Davison, 1989; Perry y Laurent, 1989; Brown, 1992; Li *et al.*, 1995). Perry y Laurent (1989) han concluido que la función de la CC es la de absorber Ca^{++} , Na^+ y Cl^- en AD. Por otro lado, los estudios de flujo de iones en AD ubican el aparato transportador en el epitelio lamelar (Payan *et al.*,

1984), más el hecho de que se encuentre normalmente CC en la lamela no excluye que sea éste el sitio de absorción activa en AD (Hwang, 1988).

Caracterización citológica de los mucocitos:

Los mucocitos han sido caracterizados tradicionalmente por su afinidad por la reacción del ácido periódico de Schiff (PAS) (Araya y Mugiya, 1974; Wendelaar Bonga, 1978; Lesson y Lesson, 1987), debida sin duda a la presencia de glucoproteínas en sus gránulos de secreción. La misma propiedad histoquímica explica la afinidad de las CM por azul de anilina (Cuadro 1).

Papel de los mucocitos en la adaptación hiperosmótica:

Al inverso de las CC, los mucocitos disminuyen en tamaño y número, al adaptarse la branquia del *D. latifrons* a AM (Figs. 6B y 7B); una respuesta similar ha sido reportada para 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 Mugiya, 1974; Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978).

La respuesta tintorial de las CM es más sutil que la respuesta correspondiente de las CC (Fig. 8B), en el sentido de que durante las primeras 120 h mucocitos de las branquias adaptadas a AD acumulaban y liberaban mayor contenido que las adaptadas a AM, luego la situación se invierte. La última respuesta podría interpretarse como que los mucocitos no están involucrados en los procesos de adaptación osmótica. Sin embargo, la secreción de moco está también envuelta en procesos tan diversos como la prevención de infección fungal y bacteriana y la reducción de la tracción de fricción (Marshall, 1976). La actividad secretora de los mucocitos del guapote refleja, entonces, una situación de compromiso con el complejo de funciones adscritas a esta población celular.

Concluimos, entonces, que la función de los mucocitos de la branquia de *D. latifrons* es la de participar en los procesos de osmorregulación, al producir una cubierta mucosa que actúa como barrera protectora en medios hiposmóticos (Burden, 1956; Marshall, 1976; Wendelaar Bonga, 1978). No obstante, Wendelaar Bonga (1978) ha demostrado que el número y tamaño de los mucocitos, al menos en la tilapia, 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. Villarreal *et al.* (1993) sugirieron que el guapote debe poseer mecanismos dermales pasivos como el arriba descrito, que le permiten resistir variaciones rápidas de osmolaridad, antes de poner en juego mecanismos osmorreguladores más radicales. Los resultados presentes confirman esta suposición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- 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.
- BROWN, P. 1992. Gill chloride cell surface area is greater in freshwater adapted adult sea water trout (*Salmo trutta*, L.) than those adapted to sea water. *J. Fish. Biol.*, 40, 481-484.
- BURDEN, C.E. 1956. The failure of hypophysectomized *Fundulus heteroclitus* to survive in fresh water. *Biol. Bull.*, 110, 8-28.
- CIONI, C., de MERICH, D., CATALDI, E. y CATAUDELLA, S. 1991. Fine structure of chloride cells in freshwater-adapted *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) and *Oreochromis mossambicus* (Peters). *J. Fish. Biol.*, 39, 197-209.
- CONTE, R.P. 1969. Salt excretion. En: *Fish Physiology*. Eds: W.S. Hoar y D.J. Randall. Vol. 1, p. 241-292. Nueva York: Academic Press.
- EVANS, D.H. 1980. Osmotic and ionic regulation by fresh water and marine fishes. En: *Environmental Physiology of Fishes*. Ed: M.A. Ali., p. 93-122. Nueva York: Plenum Press.
- FOSKETT, J.K. y SCHEFFEY, C. 1982. The chloride cell: Definitive identification as the salt-secretory cell in teleosts. *Science*, 215, 164-166.
- FRANKLIN, C.E. y DAVISON, W. 1989. S.E.M. observation of morphologically different chloride cells in freshwater adapted sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. *J. Fish. Biol.*, 34, 803-804.
- HERLANT, M. 1960. Étude critique de deux techniques nouvelles destinées a mettre en évidence la différence des catégories cellulaires présentes dans la glande pituitaire. *Bull. Microscop. Appl.*, 10 (2), 37-44.
- HUGHES, G.M. 1984. General morphology of the gills. En: *Fish Physiology*. Eds: W.S. Hoar y D.J. Randall. Vol. 10, p. 1-63. Nueva York: Academic Press.
- HUGHES, G.M. y MORGAN, M. 1973. The structure of fish gills in relation to their respiratory function. *Biol. Rev.*, 48, 419-475.
- HWANG, P.P. 1988. Multicellular complex of chloride cells in the gills of freshwater teleosts. *J. Morphol.*, 196, 15-22.

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.

KARNAKY, K.J. 1980. Ion-secreting epithelia: Chloride cells in the head region of *Fundulus heteroclitus*. *Am. J. Physiol.*, 238, R185-R198.

KARNAKY, K.J., DEGAN, K.J., GARRETSON, L.T. y ZADUNAISKY, J.A. 1984. Identification and quantification of mitochondria-rich cells in transporting epithelia. *Am. J. Physiol.*, 246, R775-R775.

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.

LANGDON, J.S. y THORPE, J.E. 1984. Responses of gill Na⁺/K⁺ ATPase, SDH activity and chloride cell number adaptation in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *L. Aquaculture*, 24, 323-331.

LAURENT, P. 1984. Gill internal morphology. En: *Fish Physiology*. Eds W.S. Hoar y D.J. Randall. Vol. 10, p. 73-172. Nueva York: Academic Press.

LAURENT, P. y DUNEL, S. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Am. J. Physiol.*, 238, R147-R159.

LEATHERLAND, J.F. 1970. Seasonal variation in structure and ultrastructure of the pituitary of the marine form (Trachurus) of the treespine stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. I *Rostral pars distalis*. *Z. Zellerforsch.*, 104, 301-317.

LESSON, C.R. y LESSON, T.S. 1987. *Histología*. 1ª Edición. La Habana: Edición Revolucionaria. 564 pp.

LI, J., EYGENSTEYN, J., LOCK, R.A.C., VERBOST, P.M., VAN DER HEIJDEN, A.J.H., WENDELAAR BONGA, S.E. y FLIK, G. 1995. Branchial chloride cells in larvae and juvenile of freshwater Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *J. Exp. Biol.*, 198, 2177-2184.

LILLIE, R.D. y FULLMER, H.M. 1976. *Histopathologic technic and practical histochemistry*. 4ª Edición. Auklan: McGraw-Hill. 942 pp.

LUBIN, R.T., ROURKE, A.W. y BRADLEY, T.M. 1989. Ultrastructural alteration in branchial chloride cells of Atlantic salmon, *Salmo salar*, during parr-smolt transformation and early development in sea water. *J. Fish. Biol.*, 34, 259-272.

LUNA, L.G. 1968. *Manual of histologic staining methods of the Armed Force Institute of Pathology*. 3ª Edición. Auklan: McGraw-Hill. 258 pp.

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.

MARSHALL, W.S. y NISHIOKA, R.S. 1980. Relation of mitochondria rich chloride cells to active chloride transport in the skin of marine teleost. **J. Exp. Zool.**, 214, 147-156.

McDOWALL, R. 1988. **Diadromy in Fishes**. 1^{ra} Edición. Londres: Croom Helm.

PAYAN, P., GIRARD, J.P. y MAYER-GOSTAN, N. 1984. Branchial ion movement in teleosts: the roles of respiratory and chloride cells. En: **Fish Physiology**. Eds: W.S. Hoar y D.J. Randall. Vol. 10B, p. 39-60. Nueva York: Academic Press.

PERERA, K.M.L. 1993. Ultrastructure of the primary gill lamellae of *Scomber australasicus*. **J. Fish. Biol.**, 43, 45-59.

PERRY, S.F. y LAURENT, P. 1989. Adaptational responses of rainbow trout to lower external NaCl concentration: Contribution of the branchial chloride cell. **J. Exp. Biol.**, 147, 147-168.

PROSSER, C.L. 1973. **Comparative Animal Physiology**. 3^a Edición. Filadelfia: W.B. Saunders Co. 966 pp.

RANKIN, J.C. y DAVENPORT, J. 1981. **Animal osmoregulation**. Nueva York: John Wiley & Sons. 197 pp.

RORIVE, G. y GILLES, R. 1979. Intracellular inorganic osmotic effector. En: **Mechanisms of osmoregulation in animals**. Ed: R. Gilles. Cap. 3, p. 83-154. Chichester: John Wiley & Son.

SAFFORD, V. 1957. Excretion and osmoregulation. En: **Physiology of Fishes**. Ed: M. Brown. Vol. 1, p. 163-199. Nueva York: Academic Press.

SALMAN, N.A. y EDDY, F.B. 1987. Responses of chloride cell numbers and gill Na⁺/K⁺ ATPase activity of freshwater rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson) to salt feeding. **Aquaculture**, 61, 41-48.

SOKAL, R.R. y ROHLF, F.J. 1979. **Biometría**. 1^a Edición. Madrid: H. Blume Ediciones. 832 pp.

TILNEY, L.R. y HOCUTT, C.H. 1987. Changes in gill epithelia of *Oreochromis mossambicus* subjected to cold shock. **Env. Biol. Fish.**, 19, 35-44.

TROYER, H. 1980. **Principles and techniques of histochemistry**. 1^a Edición. Boston: Little, Brown & Co. 431 pp.

VERBOST, P.M., SCHOENMAKERS, TH.J.M., FLIK, G. y WENDELAAR BONGA, S.E. 1994. Kinetics of ATP- and Na⁺ gradient drive Ca²⁺ transport in basolateral membrane from gills of freshwater- and seawater-adapted tilapia. *J. Exp. Biol.*, 186, 95-108.

VILLARREAL, C.A., de LÓPEZ, M.A., de VINCENTTI, F, de FANILLA, E. y BERROCAL, D.G. 1986. Adaptación osmótica del góbido eurihalino *Dormitator latifrons* (Richardson). *Scientia* (Panamá), 1, 9-15.

VILLARREAL, C.A., de LÓPEZ, M.A., de VINCENTTI, F, de FANILLA, E., BERROCAL, D.G. y PROSPER, I. 1987. Adaptación osmótica del góbido eurihalino *Dormitator latifrons* (Richardson). *Informe Final VIP*. Universidad de Panamá, Panamá. 62 pp.

VILLARREAL, C.A., de LÓPEZ, M.A., HERRERA, M.E., y CLARKE, M.L. 1990. Estudios del crecimiento corporal y gonadal de *Dormitator latifrons* (Pisces:Elotridae) I. Frecuencia de tallas y ciclo de madurez gonadal. *Scientia* (Panamá), 5, 29-42.

VILLARREAL, C.A., de LÓPEZ, M.A., 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^a Época, 48, 69-78.

VILLARREAL, C.A. y VALDÉS, E. 1995. Efecto estresante del metano-sulfonato de tricaina (MS-222) en estudios fisiológicos del *Dormitator latifrons* (Richardson, 1837). *Informe Final VIP*. Universidad de Panamá, Panamá. 42 pp.

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.

ZADUNAISKY, J.A. 1984. 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. Nueva York: Academic Press.

EFFECTO DEL COBRE SOBRE LA CONDICIÓN FISIOLÓGICA DE *Lima scabra*, MEDIDA POR LA RAZÓN ARN/ADN

GÓMEZ, J.A.¹, SEGNINI DE BRAVO, M.I.², y FUENTES, M.V.³

¹ Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

² Departamento de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente, Venezuela.

³ Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente, Venezuela.

RESUMEN

Se realizó un estudio con el objetivo de determinar el efecto de la dosis subletal de cobre sobre los niveles de ARN, ADN, proteínas y la razón ARN/ADN en los bivalvos *Lima scabra*, colectados en un banco arrecifal de la localidad de Turpialito, Cumaná, Estado Sucre, (Venezuela) trasladados al laboratorio donde se aclimataron durante cinco días sin suministro de alimento. Los ejemplares de talla promedio de $64,63 \pm 2,27$ mm de longitud de la concha, se colocaron en acuarios, de 50 L de capacidad, en número de diez para mantener una densidad de 1 organismo/5 L de agua de mar. Se conformaron cuatro réplicas del control y del experimental. Este último contenía $0,05 \mu\text{g/mL}$ de cobre cuya concentración fue mantenida por ajustes diarios de la dosis. Las condiciones bajo las cuales se realizaron los bioensayos, fueron: salinidad 36 ‰, pH 7,5 y temperatura 25°C. Transcurridos diez días de exposición al metal se sacrificaron los organismos y se disectó una porción del músculo aductor, para las determinaciones de las macromoléculas. Los resultados demostraron una disminución significativa de los niveles de ARN ($P < 0,05$) y Proteínas ($P < 0,001$). La razón ARN/ADN no presentó diferencia significativa entre el grupo control y experimental; sin embargo, los niveles de ADN decrecen significativamente en el grupo experimental.

PALABRAS CLAVES

Lima scabra, cuantificación ADN, ARN, ARN/ADN, crecimiento.

INTRODUCCIÓN

Los índices que incorporan variables bioquímicas y significado fisiológico en bivalvos, indicativos del estado metabólico del organismo (Lucas y Beninger, 1985), se dividen en dos categorías: a) los índices estáticos que son aquellos medidos en un instante preciso de tiempo. Ellos dan información acerca del estado fisiológico del bivalvo en dicho momento; b) los índices dinámicos, medidos sobre un período de tiempo en una población de bivalvo, dan información de los cambios fisiológicos de los individuos que forman una población.

Entre los índices estáticos encontramos la razón ARN/ADN, la cual se relaciona con el crecimiento instantáneo del organismo midiendo la tasa de tejido elaborado, ya que en las células el contenido de ADN es relativamente constante, mientras que el contenido de ARN tiene una mayor variación, por estar relacionado con la síntesis de proteínas. Por esta causa la razón ARN/ADN (cantidad de ARN por unidad de ADN) es indicativo de la cantidad de ARN por célula, y es considerado un índice de actividad metabólica más exacto que la sola concentración de ARN ya que la relación no está afectada por el número de células (Bulow, 1987).

Numerosos estudios se han realizado en bivalvos utilizando la razón ARN/ADN: Pease (1976) y Wright y Hetzel (1985) encontraron que existe correlación entre esta relación y la tasa de crecimiento de *Crassostrea virginica*. Igual observación ha sido hecha por Frantzis *et al.* (1993) para *Abra ovata*; por otro lado, la razón ARN/ADN ha sido usada como indicador del estado nutricional en *Argopecten purpuratus*. Martínez *et al.* (1992) y Mayrand *et al.*, (1994) usando tejidos como las branquias, glándula digestiva y músculo observaron que existe una relación directa del crecimiento instantáneo con la talla y la edad en *Mya arenaria*.

Robbins *et al.*, (1990) y Martínez *et al.*, (1992) demostraron que en *Pecten maximus* y *Argopecten purpuratus*, el índice ARN/ADN disminuye cuando se están formando las gónadas, o en períodos de desove, reflejando la condición fisiológica del bivalvo. Lodeiros *et al.*, (1995), encontraron una correlación del índice ARN/ADN con respecto a la disponibilidad del alimento, la temperatura y la profundidad en el pectínido *Euvola ziczac* cultivado a varias profundidades.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del cobre (dosis subletal) en el crecimiento instantáneo y la condición fisiológica en *Lima scabra* (Born, 1778), bivalvo perteneciente a la familia Limidae, el cual se distribuye desde Carolina del Norte (Estados Unidos de América) hasta Brasil. Es una especie muy preciada por la excelencia de su carne sumada a la elevadas tallas comerciales con que se encuentran en nuestras costas (Gómez *et al.*, 1990; 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los organismos de *Lima scabra* utilizados para este estudio fueron colectados en un banco coralino costero de la especie *Millepora alvicornis*, situado en la costa Noreste de la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, a unos 10 kms aproximadamente, al Este de la ciudad de Cumaná, Estado, Sucre (Venezuela).

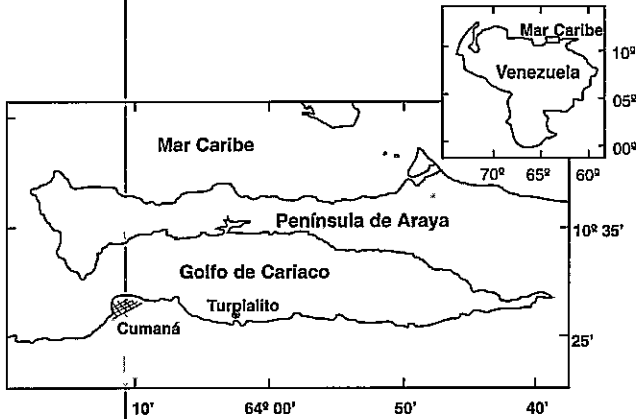


Figura 1.
Situación geográfica del área de estudio.

Los ejemplares fueron colocados en recipientes de anime con aireación continua y trasladados al laboratorio, donde fueron acondicionados en acuarios de 30 L para su aclimatación durante cinco días, sin suministro de alimento. Después de este período, los ejemplares de talla promedio de $64,63 \pm 2,27$ mm de longitud de la concha, se colocaron en acuarios de 50 L, en número de diez para mantener una densidad de 1 organismos/5 L de agua de mar filtrada. Se realizaron cuatro réplicas del control y del experimental. Este último contenía $0,05 \mu\text{g/mL}$ de cobre (en forma de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), cuya concentración fue mantenida por ajustes diarios de la dosis. Las condiciones bajo las cuales se realizaron los bioensayos, fueron de: salinidad 36 ‰, pH 7,5, temperatura 25°C . Transcurridos diez días de exposición al metal, se sacrificaron los organismos y se disectaron 20 mg del músculo aductor. Para las determinaciones de las macromoléculas ARN y ADN se utilizó el método fluorométrico, propuesto por Karsten y Wollemberger (1977) con las modificaciones en la concentración de ribonucleasa, la cual fue aumentada de $25 \mu\text{g/mL}$ a $100 \mu\text{g/mL}$. El tiempo de incubación fue alargado hasta 30 minutos con la finalidad de asegurarse de que todo el ARN fuera hidrolizado completamente por la enzima. Las proteínas fueron cuantificadas por el método de Bradford (1976) usando el reactivo de Azul de Coomassie con una curva de calibración preparada con suero de albúmina de bovino. La concentración de cobre en los tejidos fue medida por absorción atómica en un espectrofotómetro de llama acetileno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 refleja los resultados del crecimiento instantáneo medido por el índice ARN/ADN. Esta relación presenta un aumento, no significativo del experimental ($2,68 \pm 0,01$) con respecto al control ($2,35 \pm 0,73$). Si se observa la razón PROTEÍNA/ADN, indicador del tamaño celular (Fig. 3), se encuentra que los organismos experimentales presentaron un índice menor ($208,12 \pm 57,10$) comparado con el grupo control ($353,04 \pm 88,929$) indicando el estrés producido por el cobre donde una gran parte de las proteínas son utilizadas para formar complejos proteicos que minimizan el efecto del metal, y una cantidad reducida es utilizada en el crecimiento y metabolismo básico.

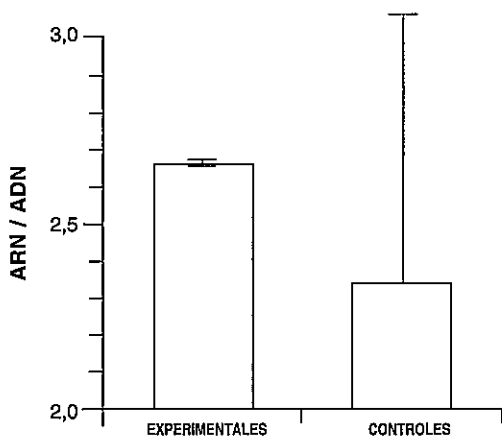


Figura 2. Crecimiento instantáneo en *Lima scabra* medido por la razón ARN/ADN, en ejemplares sometidos a una dosis subletal de cobre ($0,05 \mu\text{g/mL}$) por diez días. (Promedio \pm DE).

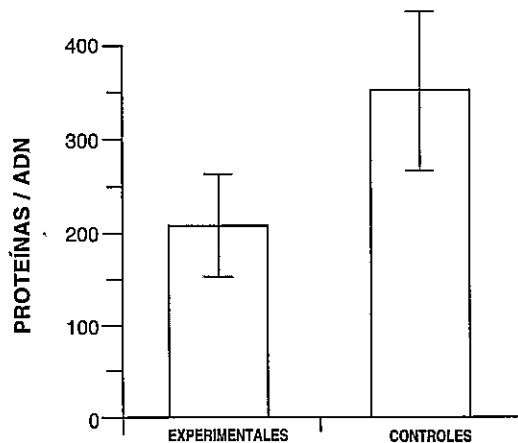


Figura 3. Tamaño celular de *Lima scabra* medido por la razón PROTEÍNAS/ADN en ejemplares sometidos a una dosis subletal de cobre ($0,05 \mu\text{g/mL}$) por diez días. (Promedio \pm DE).

Viarengo (1985) y Viarengo y Norr (1993) sugirieron que, si las concentraciones de metal que entran dentro de las células es alto y el metal satura la capacidad fisiológica de las tioneínas (Zn-Cu), entonces el exceso de cationes puede estimular la síntesis de nuevas tioneínas, ya sea actuando al nivel nuclear o estimulando la traducción de ARNm tioneína a nivel ribosómico. Los resultados de este estudio son sustentados con los valores encontrados en la concentración de ARN (Fig. 4) la cual disminuyó de manera significativa ($P < 0,05$) de $0,2 \pm 0,04$ (controles) a $0,19 \pm 0,01$ (experimentales) y reforzada por la disminución de los niveles de la concentración de proteínas (Fig. 5) en los ejemplares experimentales ($14,57 \pm 3,99$) a menos de la mitad de los valores obtenidos para el control ($31,71 \pm 8,98$), demostrando que *Lima scabra*, en un medio con cobre a una concentración de $0,05 \mu\text{g/mL}$, compromete sus proteínas musculares de reserva, debido al gasto metabólico que sostiene este bivalvo para sobrevivir en estado de estrés. Vélez (*comunicación personal*) sostiene que el pectinado *Euvola zigzag*, en condiciones de estrés, usa sus reservas musculares, siendo este tejido reconocido como el principal lugar de reserva de glucógeno.

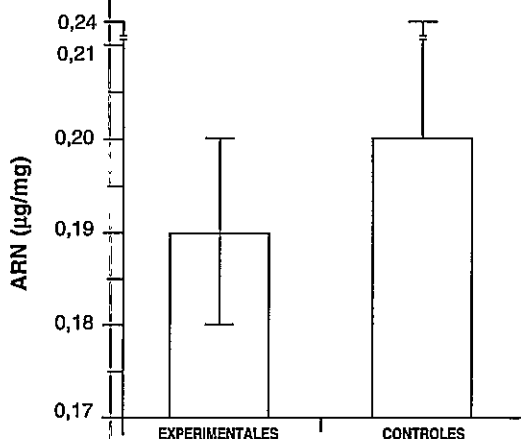


Figura 4. Concentración de ARN expresada en $\mu\text{g/mg}$ para *Lima scabra* sometidos a una dosis subletal de cobre ($0,05 \mu\text{g/mL}$) por diez días. (Promedio \pm DE).

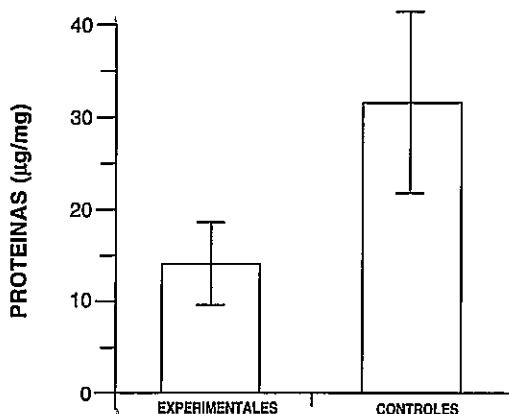


Figura 5. Concentración de Proteínas expresada en $\mu\text{g/mg}$ para *Lima scabra* sometidos a una dosis subletal de cobre ($0,05 \mu\text{g/mL}$) por diez días. (Promedio \pm DE).

La concentración de ADN (Fig. 6) disminuyó significativamente en el grupo experimental, por lo que no se puede decir que el ADN aumentó en número por unidad de tejido. Esto lo confirman los resultados obtenidos por la relación PROTEINAS/ADN (Fig. 3). Viarengo (1985), Viarengo y Norr (1993) y Roesijadi (1992) han demostrado que el cobre se une a los grupos fosfatos del ADN, estabilizando la doble hélice de la macromolécula e induce la despolimerización, favoreciendo la hidrólisis del ARN.

La unión del metal a las bases altera la capacidad de unión de los hidrógenos complementarios, lo cual implica que los cationes del metal pueden afectar la correcta duplicación o transcripción del ADN, así como también la traducción del ARNm; por consiguiente, no habría síntesis de proteínas (Krishankumar, *et al.*, 1990).

Estos resultados son sustentado por la concentración de cobre registrada en los tejidos de *Lima scabra* (Tabla 1) donde se observa un efecto notable del cobre en el músculo, estimulado la peroxidación de lípidos en las membranas microsomales de la glándula digestiva, acompañada con un incremento en la concentración de malondialdehído (MDA) ligado a una respuesta de la actividad de las enzimas antioxidantes en los ejemplares expuestos (Gómez, 1997 *en prensa*).

El estudio demuestra que la cuantificación de ARN y ADN puede ser utilizada como un indicador bioquímico y expresada como índice ARD/ADN, de la tasa de crecimiento instantáneo de la especie en estudio. Además, refleja la condición fisiológica de *Lima scabra* frente al estrés producido por el cobre en dosis subletal, la cual puede ser fácil de enmascarar.

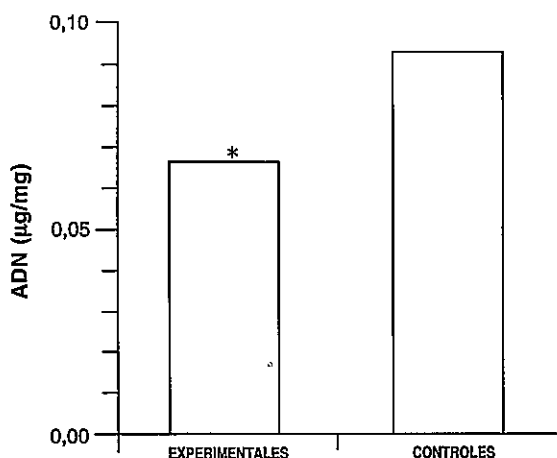


Figura 6. Concentración de ADN expresada en µg/mL para *Lima scabra* sometidos a una dosis subletal de cobre (0,05 µg/mL) por diez días. (Promedio).
* = $p < 0,05$.

Cuadro 1.

Concentración promedio (C) de cobre acumulada ($\mu\text{g/g}$ PS) y desviación estándar (DE) en ejemplares de *Lima scabra*, controles y expuestos a 0,05 $\mu\text{g/mL}$ (máxima concentración registrada en el medio natural) en ensayo crónico de diez días.

TEJIDO	CONTROLES		EXPUESTOS	
	C	DE	C	DE
Gónada	5,47	± 0,62	27,67	± 3,19
Glándula digestiva	46,20	± 5,82	27,10	± 3,77
Músculo	0,72	± 0,22	8,03	± 1,83
Resto tejido blando	7,61	± 0,96	17,93	± 3,40

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRADFORD, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of protein utilizing principles of protein dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248-254.

BULOW, F.J. 1987. RNA-DNA ratios as indicators of growth in fish: A review. En: **The Age and Growth of Fish**. Eds: R.C. Summerfelt y G.E. Hall. p. 45-71. Londres: The Iowa State University, Chapman and Hall.

FRANTZIS, A., GRÉMARE, A. y VETION, G. 1993. Taux de croissance et rapports ARN-ADN chez le bivalve dépositivore *Abra ovata* nourri a partir de différents détritits. *Oceanologica Acta*, 16 (3), 303-313.

GÓMEZ, J.A. 1997. Efectos de la toxicidad del cobre y cadmio en la población natural del bivalvo *Lima scabra* (Born, 1778): aspectos genéticos, bioquímicos y de reproducción. Tesis Doctoral, Departamento de Biología Marina. Universidad de Oriente (*en prensa*).

GÓMEZ, J.A., LIÑERO, I. y FERMÍN, J. 1995. Estudios ecológicos sobre *Lima scabra* (Born, 1778) (Pelecypoda: Limidae) en el Golfo de Cariaco, Venezuela. I. Censo y relaciones morfométricas. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 34 (1 y 2), 109-119.

GÓMEZ, J.A., PRIETO, A. y LODEROS, C. 1990. Relaciones biométricas y biomasa específica en el bivalvo *Lima scabra* tenera (Sowerby, 1843). *Scientia (Panamá)*, 5 (2), 13-17.

- KARSTEN, U. y WOLLEMBERGER, A. 1997. Improvements in the ethidium bromide method for a direct fluorometric estimation for DNA and RNA in cell tissue homogenates. **Anal. Biochem.**, 77, 464-470.
- KRISHNAKUMAR, P.K., ASOKAN, P.K. y PILLAI, V. 1990. Physiological and cellular responses to copper and mercury in the green mussel *Perna viridis* (Linnaeus). **Aquat. Toxicol.**, 18, 163-174.
- LODEIROS, C., FERNÁNDEZ, R.I., BONMATI, A., HIMMELMAN, J. y CHUNG, K.S. 1996. Relation of RNA/DNA ratios to growth for the scallop *Evula* (Pecten) *ziczac* (L.) in suspended culture. **Mar. Biol.**, 3,13.
- LUCAS, A. y BENINGER, P.G. 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. **Aquaculture**, 44, 187-200.
- MARTÍNEZ, G., TORRES, M., URIBE, E., DÍAZ, M.A. y PÉREZ, H. 1992. Biochemical composition of broodstock and early juvenile chilean scallops, *Argopecten purpuratus* Lamarck, held in two different environments. **J. Shell. Res.**, 11 (2), 307-313.
- MAYRAND, E., PELLEIN-MASSICOTTE, J. y VINCENT, B. 1994. Small scale variability of biochemical indices of growth in *Mya arenaria* (L.). **J. Shell. Res.**, 13 (1), 199-205.
- PEASE, A.K. 1976. **Studies of the relationship of RNA/DNA ratios and the of protein synthesis to growth in the oyster *Crassostrea virginica***. Fisheries and Marine Service. Technical Report N° 622. pp. 78.
- ROBBINS, I., LUBET, P. y BESNARD, J.Y. 1990. Seasonal variations in the nucleic acid content and RNA/DNA ratio of the gonad of the scallop *Pecten maximus*. **Mar. Biol.**, 105, 191-195.
- ROESIJADI, G. 1992. Metallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. **Aquat. Toxicol.**, 22, 81-114.
- VIARENGO, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. **Mar. Pollut. Bull.**, 16 (4), 153-158.
- VIARENGO, A. y NORR, J.A. 1993. Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. **Biochem. Physiol.**, 104C (3), 355-372.
- WRIGHT, D.A. y HETZEL, E.W. 1985. Use of RNA/DNA ratio as an indicator of nutritional stress in the American oyster *Crassostrea virginica*. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, 25, 199-206.

CONDICIÓN AMBIENTAL DE LA ENSENADA GRANDE DEL OBISPO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

BONILLA R., J., QUINTERO R., A., ÁLVAREZ, M., DE GRADO, A., GIL, H., GUEVARA, M., MARTÍNEZ, G. Y SANT, S.

Instituto Oceanográfico de Venezuela, Núcleo de Sucre,
Universidad de Oriente, Cumaná, Estado de Sucre, Venezuela.

RESUMEN

Esta investigación es producto de la Asignatura Crucero Oceanográfico del Postgrado en Ciencias Marinas. Se trata de contribuir al conocimiento actual de las condiciones ambientales con base en las características hidrográficas e hidroquímicas del cuerpo de agua "Ensenada Grande del Obispo", ubicada en la costa Norte del Golfo de Cariaco (Estado de Sucre). Se usó la metodología clásica para Oceanografía. Existe una variación estacional en la columna de agua con tendencia similar en los datos hidrográficos y químicos. La temperatura, en todo el cuerpo de agua, es relativamente alta (22,60 - 25,70°C). Sin embargo, por debajo de los 20 m se observó la penetración del agua fría subtropical (22,60 - 23,80°), proveniente de la Cuenca y Golfo de Cariaco. Las capas superiores son ocupadas por el agua superficial con temperatura mayor de 24°C. Similar comportamiento presenta el contenido halino (36,73 - 37,10‰), con elevada concentración de O₂ disuelto (1,95 - 7,90 mL/L) y alta densidad ($\sigma_t = 24,71 - 25,62$). Se evidencia el hundimiento de una masa de agua más densa, fértil y delimitada por la oxiclina de 4,5 a 6,0 mL/L desde la superficie (Estación 6) hasta aproximadamente 25,0 m de profundidad (Estación 3), con incidencia en los parámetros hidrográficos y químicos, indicando esto una mayor actividad biótica. La distribución de los nutrientes NO₂⁻, NO₃⁻ y PO₄⁻³ es concordante con el contenido de oxígeno disuelto, no así el NH₄⁺. Los nutrientes son altos por debajo de 20 m (Estaciones 1 y 2), caracterizados por la penetración de agua fría y de bajo contenido de O₂ disuelto, indicativo de una mayor actividad abiótica.

PALABRAS CLAVES

Condiciones ambientales, Características hidrográficas e hidroquímicas, Ensenada Grande del Obispo, Venezuela, Temperatura del agua, actividad biótica y abiótica.

INTRODUCCIÓN

La Ensenada Grande del Obispo, área geográfica del estudio que nos ocupa, corresponde al accidente geológico más importante de la costa Norte del Golfo de Cariaco, tradicionalmente conocido con el nombre de Laguna Grande del Obispo, término incorrecto por no considerarse su formación geomorfológica, profundidad y continuo intercambio con la masa de agua del Golfo de Cariaco, que a su vez está influida directamente por las aguas de la Fosa de Cariaco. Por tal razón, Caraballo (1973), al investigar sobre el comportamiento fisiográfico, sedimentológico y geomorfológico, reseña la geología histórica de la región, resaltando su origen y formación tectónica, con lo cual se corrigió el error sobre la terminología utilizada sustituyendo el nombre de Laguna por el de Ensenada Grande del Obispo.

Debido a la escasez de estudios en la zona, lo costoso de las mismas y la necesidad de inspeccionar con cierta regularidad los cuerpos de agua menores, en el presente trabajo se analizó el estado actual de las condiciones ambientales en la Ensenada Grande del Obispo, con base en un estudio hidroquímico e hidrográfico de la columna de agua (perfil S - E) y aprovechando la logística ofrecida por la asignatura Crucero Oceanográfico dictada en el Postgrado en Ciencias Marinas del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

ÁREA DE ESTUDIO

La Ensenada Grande del Obispo (Figura 1) se encuentra ubicada en la región centro-occidental de la costa Sur de la Península de Araya, al Noreste del Golfo de Cariaco (Estado Sucre, Venezuela). Su eje principal está orientado en dirección Noroeste-Suroeste con 4,8 km y se comunica libremente al Sur con el Golfo de Cariaco por una entrada de unos 60 m de profundidad (Caraballo, 1973). Tiene un área aproximada de $3,2 \times 10^6 \text{ m}^2$, un volumen de $37 \times 10^3 \text{ m}^3$ y una profundidad media de 10 m (Okuda *et al.*, 1968 y 1978).

Tradicionalmente se considera que en la región del Golfo de Cariaco las condiciones imperantes están determinadas por dos estaciones climáticas. Una de sequía de diciembre a mayo, y la lluviosa de julio-agosto hasta diciembre. Durante la sequía, hay mayor intensidad de los vientos alisios predominantes, que producen los eventos de afloramiento, principalmente en la costa Norte del Golfo de Cariaco, cuyo efecto se deja sentir en el cuerpo de agua de la Ensenada (Quintero y Lodeiros, 1996). A partir de julio a agosto, hasta el mes de noviembre o diciembre, se observa por el contrario, una atenuación de la intensidad de los vientos alisios lo que implica una mayor estabilidad de la columna de agua (Herrera y Febres, 1975 y Okuda, 1978).

De acuerdo a su estructura morfológica, la Ensenada Grande del Obispo está constituida tectónicamente por una serie de fallas transversales. En su parte central de Oeste a Este es atravesada por la falla Laguna Grande; al

Sur, fuera de su entrada, la falla de Cariaco y al Norte la falla Salazar y en la dirección Norte-Sur la falla El Lance.

La Ensenada Grande del Obispo se encuentra ubicada en una región de vegetación xérfila, cuya característica más notable es la aridez de las montañas que la rodean, siendo éste un rasgo propio de áreas costeras sometidas a la acción del viento, generadora de eventos de afloramiento (Perry y Walker, 1977). Durante la época de lluvias, la escasa agua de la escorrentina continental fluye hasta drenar en la Ensenada, que se encuentra rodeada por un cinturón irregular de mangle rojo, *Rhizophora mangle* (Fig. 1).

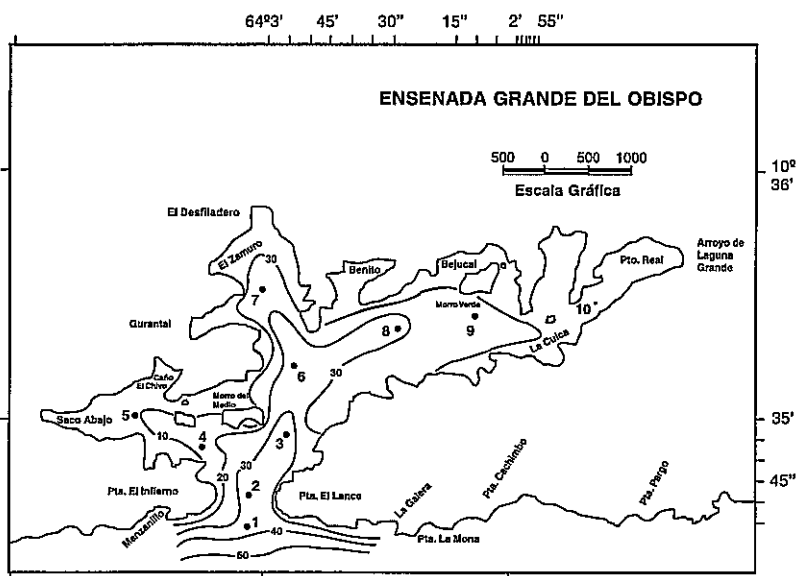


Figura 1.
Mapa batimétrico y estaciones de muestreo en el ecosistema Ensenada Grande de Obispo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la expedición (realizada el 17 de enero de 1996), fueron tomadas muestras de agua de 10 estaciones hidrológicas (Figura 1) distribuidas regularmente en la Ensenada, de acuerdo al estudio previo realizado por Okuda (1978).

En las primeras dos estaciones (1 y 2) se tomaron muestras en cinco niveles de profundidad (0, 10, 20, 30 y 35 m); en las restantes, las muestras fueron recolectadas en tres o cuatro profundidades, dependiendo de la batimetría del sitio (Figura 1).

La toma de muestras de aguas superficiales se realizó con la ayuda de un envase de 10 L de capacidad; en las demás profundidades se utilizó una botella tipo Niskim de 5 L, equipada con termómetros reversibles protegidos. Las muestras obtenidas fueron refrigeradas para su conservación hasta ser analizadas en los laboratorios del Departamento de Oceanografía del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

En las muestras de agua se determinaron los siguientes parámetros: Nitrito, por el método de Bendschneider y Robinson (1952). Nitratos, por el método de Bendschneider y Robinson (1952), previa reducción a nitritos por pasaje de las muestras, a través de una columna de cadmio-cobre. Amonio, por el método de Koroleff (1969). Fosfato, según metodología de Murphy y Riley (1962). Oxígeno disuelto, según el método de Winkler, modificado por Carpenter (1965). Salinidad, por conductividad eléctrica con un salinómetro inductivo (Kalsico). La temperatura del agua fue medida con termómetro simple en las muestras superficiales y en las demás profundidades mediante termómetros reversibles protegidos

La densidad de las muestras de agua de mar fue calculada a partir de los valores de temperatura, salinidad y profundidad, según fórmula empírica propuesta por Fofonof y Millard (1983). La densidad adimensional del agua de mar se expresa en la forma corta σ_t y es representada como: $\sigma_t = (\rho_m - 1) 103$.

Fueron elaborados diagramas T-S dispersos para determinar las masas de agua presentes en el sitio de estudio (Okuda, 1978, 1981; Kuksa, 1983 y Gómez, 1996), según las consideraciones acostumbradas (Urbano, 1993 y Quintero, 1991).

Observaciones directas sobre las condiciones meteorológicas en la zona de la Ensenada Grande del Obispo no se han realizado. Sin embargo, las llevadas a cabo en la estación meteorológica, perteneciente a la empresa Salinas de Araya, permiten inferir sobre las condiciones imperantes en la región de estudio, toda vez que la mencionada estación de las Salinas de Araya está ubicada sobre una posición longitudinal similar, y es la más cercana de las estaciones meteorológicas del área.

Es necesario señalar que la estación meteorológica de las Salinas de Araya estuvo funcionado desde 1949 hasta finales de los años 70. Los datos evaluados son: precipitación, temperatura, evaporación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos metodológicos:

Las precipitaciones en la zona de estudio, a juzgar por el aspecto de la cadena de morros y colinas que rodean la ensenada, parecen ser muy

escasa. Para corroborar esta apreciación, en la Figura 2A, se muestra la distribución mensual de las precipitaciones en la zona de la estación meteorológica de las Salinas de Araya, en el período 1949-1979. Como se puede apreciar, las precipitaciones en la mayoría de los años no superan los 250 mm, lo cual es propio de las zonas desérticas. Las variaciones mensuales interanuales muestran, asimismo, la escasez de las mismas. Si pudiéramos hablar de una temporada de lluvias, ésta tendría lugar, en todo caso, en los meses de mayo a noviembre (Figura 2B).

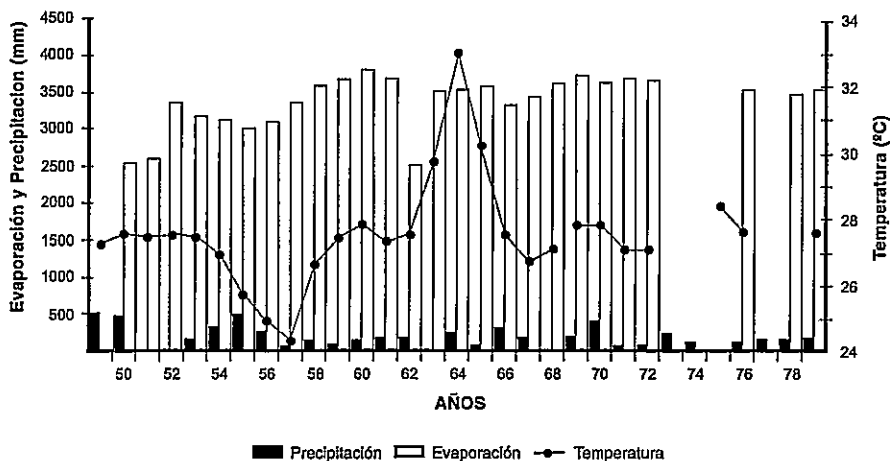


Figura 2-A.
Variación interanual de la temperatura del aire (°C), evaporación del agua (mm) y precipitación atmosférica (mm).

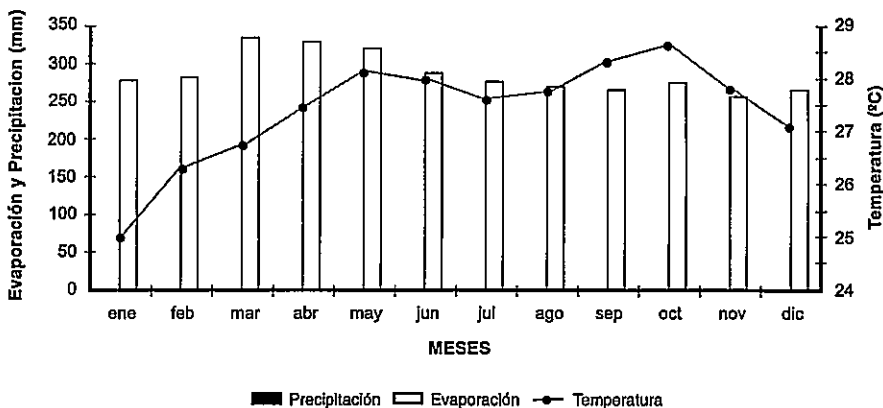


Figura 2-B.
Variación mensual de la temperatura del aire (°C), evaporación del agua (mm) y precipitación atmosférica (mm).

En cuanto a la temperatura del aire, en general, ésta es muy alta durante todo el año, y la media mensual en muy raros casos es inferior a 26°C y se mantiene en un promedio de 27,5°C. Las variaciones mensuales interanuales muestran por su parte una distribución bimodal con dos máximos y dos mínimos (Figura 2B). Esta distribución está relacionada con la posición del Sol en relación a la Tierra, así durante el solsticio de verano e invierno, se observan las menores temperaturas y durante los equinoccios de primavera y otoño se registran las mayores temperaturas (Quintero y Lodeiros, 1996).

La evaporación, relativamente inferior en los años 50, se ha mantenido en el orden de los 3600 mm en los años 60 y 70 (Figura 2A). Es necesario señalar que la evaporación es muy alta, sobre todo si consideramos que en regiones muy desérticas como en los desiertos de África y Colorado, la evaporación puede ser mayor a 3000 mm. La alta evaporación se ve favorecida sobremanera por el viento, el cual parece ser mayor en relación al viento de la costa Sur, a juzgar por la evaporación en la Estación de Cumaná, la cual se situó, por ejemplo, en el año 1972 en 2530 mm, mientras que en Araya alcanzó 3700 mm (Okuda, 1978).

El análisis de los parámetros, observados en la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Cumaná, permite entender la notable diferencia existente entre las costas Norte y Sur del Golfo de Cariaco. La costa Norte, como se ha mencionado, es más seca, mientras que la costa Sur tiene un relativo mejor clima, con una apreciable vegetación, de mayor consecuencia en las precipitaciones pluviométricas sobre la costa Sur que casi duplican las de la costa Norte (Figura 2B).

Esta diferencia es consecuencia posiblemente de la orografía de la región, mientras que la costa Sur posee elevaciones que forman parte del macizo de la Cordillera de Oriente, lo que favorece la formación de nubes por el ascenso dinámico de las masas de aire. Por su parte, la costa Norte, en su mayor parte, solo tiene pequeñas elevaciones que no permiten la formación de nubes generadoras de precipitaciones. Las nubes cumulus de "buen tiempo", que con frecuencia se forman sobre la península, serían el efecto solo de la convección de las masas de aire.

La situación prevaleciente durante el mes de enero de 1996 parece corresponder al promedio interanual en cuanto a precipitaciones, temperatura del aire y evaporación se refiere.

Condiciones hidrológicas:

- Temperatura

La temperatura del agua fluctúa entre 22,8°C, correspondiente al estrato más profundo en la Estación 1 y 25,7°C, ubicado en la superficie en la Estación 6. La media de todo el cuerpo de agua analizado se sitúa en 24,36°C (Cuadro 1).

Cuadro 1.
Características hidroquímica de la columna de agua en la Ensenada Grande del Obispo.

EST	T °C	S ‰	σ_t	O ₂ mL/L	NITROGENADO (μM)				FOSFORO (μM)		
					NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NIT	PO ₄ ⁻³	N/P	
1	MAX	24,91	36,923	25,62	4,37	0,899	33,88	2,67	37,45	0,534	84,1
	MIN	22,60	36,898	24,81	2,30	0,034	3,02	0,52	4,3	0,208	8,1
	PROM	23,88	36,935	25,22	3,61	0,289	17,00	1,29	18,58	0,429	41,1
2	MAX	24,90	37,001	25,68	5,07	0,357	32,07	1,65	33,86	0,869	66,7
	MIN	22,90	36,955	24,87	1,95	0,015	3,10	0,33	3,53	0,132	26,7
	PROM	23,82	36,965	25,26	3,48	0,161	13,67	0,90	14,74	0,348	38,5
3	MAX	24,70	36,991	25,58	6,31	0,599	21,21	0,78	22,08	0,449	89,7
	MIN	22,80	36,925	24,94	4,24	0,067	3,10	0,11	3,67	0,146	17,1
	PROM	23,95	36,946	25,19	4,85	0,205	8,70	0,43	9,34	0,258	38,5
4	MAX	24,93	36,990	25,16	7,90	0,119	4,83	0,27	5,19	0,217	31,5
	MIN	24,10	36,731	24,87	3,89	0,093	3,15	0,16	3,52	0,161	16,2
	PROM	24,48	36,853	24,87	6,26	0,102	3,90	0,23	4,23	0,181	24,2
5	MAX	25,70	37,097	25,03	6,85	0,216	3,46	0,53	3,74	0,364	14,9
	MIN	24,50	36,969	24,71	4,37	0,083	2,93	0,04	3,19	0,250	8,8
	PROM	24,27	37,028	24,82	5,34	0,135	3,16	0,22	3,53	0,296	13,3
6	MAX	25,00	37,049	25,23	4,69	0,325	10,00	0,52	10,85	0,321	37,8
	MIN	24,00	36,951	24,89	3,30	0,091	2,84	0,38	3,32	0,090	30,5
	PROM	24,41	36,981	25,08	4,07	0,191	6,12	0,42	8,72	0,195	34,7
7	MAX	25,30	37,075	25,10	4,75	0,282	6,95	0,52	7,24	0,212	47,9
	MIN	24,37	36,922	24,82	3,21	0,047	2,50	0,29	2,84	0,137	20,7
	PROM	24,69	36,994	24,98	3,95	0,179	4,22	0,43	4,83	0,167	29,8
8	MAX	24,60	36,970	25,23	4,33	0,334	10,34	0,83	10,68	0,302	35,4
	MIN	23,88	36,934	24,96	2,98	0,065	3,45	0,01	4,34	0,175	24,8
	PROM	24,30	36,950	25,07	3,83	0,182	7,01	0,35	7,61	0,231	30,6
9	MAX	24,70	37,008	25,21	4,24	0,425	7,50	1,22	8,21	0,241	56,7
	MIN	24,05	36,969	24,95	2,98	0,065	3,53	0,24	4,82	0,085	26,9
	PROM	24,28	36,993	25,10	3,78	0,211	5,20	0,75	6,82	0,170	39,9
10	MAX	24,80	37,091	25,06	4,01	0,205	3,02	0,50	3,57	0,416	22,9
	MIN	24,30	36,957	24,99	3,78	0,063	2,59	0,27	3,09	0,156	7,9
	PROM	24,53	37,006	25,02	3,86	0,124	2,79	0,41	3,32	0,258	14,7

Al definir la temperatura en profundidades específicas, en la Figura 3, podemos apreciar que la amplitud de la temperatura superficial es de 1,1°C. El valor más alto, como se dijo anteriormente, de 25,7°C, es alcanzado en la Estación 5 y el valor relativo más bajo, 24,6°C en la Estación 8. En la profundidad de 10 m, la amplitud disminuye a 0,5°C. El mayor valor (24,6°C) es alcanzado de nuevo en la Estación 6 y el menor valor,

(24,1°C) en la Estación 9. En el estrato de los 20 m, por la limitación batimétrica, el número de estaciones se ve reducido a las Estaciones 1, 2, 3, 6 y 8. La amplitud en las Estaciones es aún menor, en relación al estrato anterior, 0,2°C, 24,1 corresponde a la Estación 3 y 23,9°C a la Estación 8. Por debajo de los 20 m hasta el fondo, la amplitud de la temperatura es de 1,2°C, caracterizada por el ascenso de agua subtropical con temperatura entre 22,8°C (Estación 1) y 23,9°C (Estación 9).

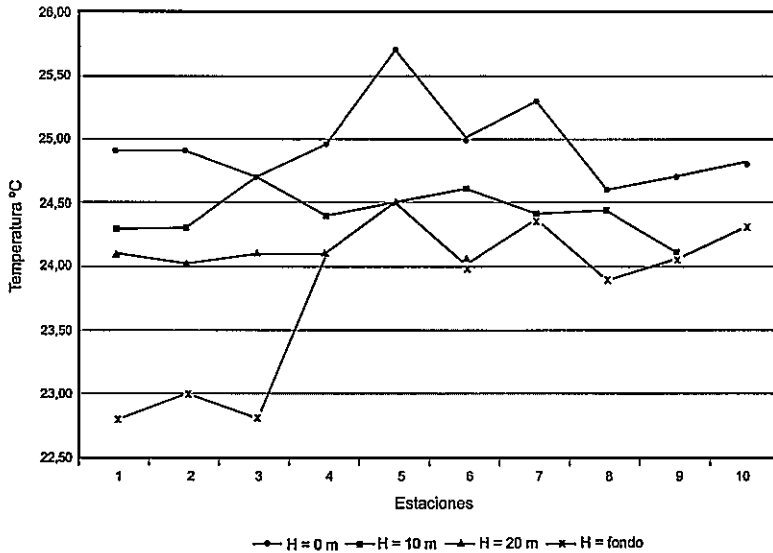


Figura 3.
Distribución por estaciones de la temperatura en los estratos: superficie, 10 m, 20 m y fondo.

En la Figura 4A, se muestra la distribución espacial de la temperatura en la superficie, en la Ensenada Grande del Obispo. Podemos asumir que el área está dividida en dos sectores por la isoterma de 25,0°C. La temperatura es más elevada hacia los dos sacos del sector occidental (Estaciones 5 y 7): En estos sacos las aguas son someras, influidas por la acción directa de los vientos orográficos, que al parecer tienen lugar en la zona. Esto, aunado a una notable radiación y evaporación (Figura 2), provocaría que sus aguas se calienten más rápido. De modo contrario, al otro lado de la isoterma de 25°C, en el saco más oriental (Estación 10) y al Sur, en el área de la boca, la temperatura no sigue el mismo patrón de incidencia térmica, siendo ligeramente más fría. Esto puede ser producto de la penetración de agua fresca desde el Golfo de Cariaco.

La Figura 4B muestra la distribución vertical de la temperatura a través de la sección S-E, en la que se exceptúan los sacos del lado occidental.

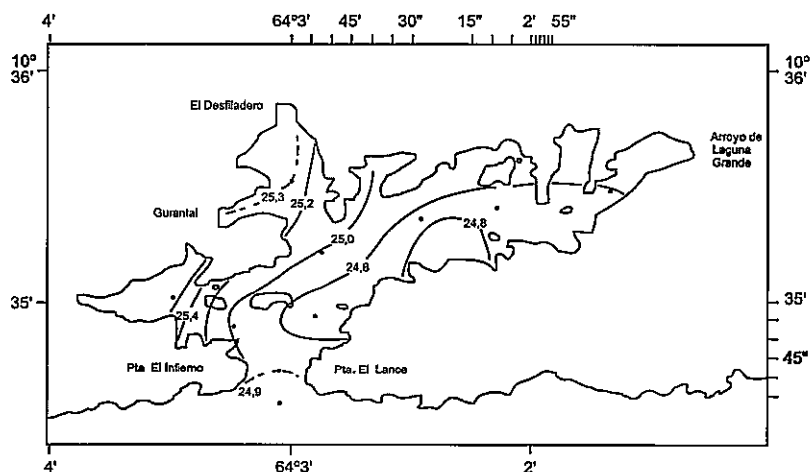


Figura 4-A.
Evolución superficial espacial de las isotermas.

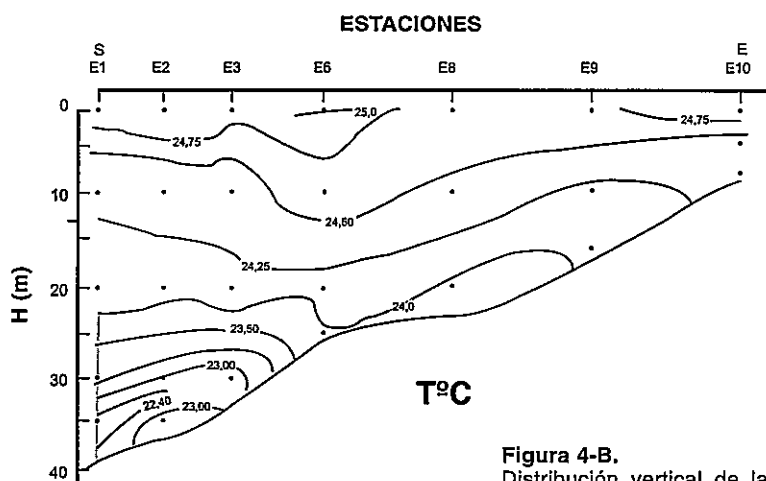


Figura 4-B.
Distribución vertical de la temperatura en un perfil longitudinal.

Es notable la presencia de dos “domos térmicos”, el primero, situado en la boca de la ensenada y ocupa las primeras tres estaciones. El segundo con un cierto componente horizontal hacia la Estación 10. Estas estructuras térmicas están separadas por aguas ligeramente más cálidas en el centro de la Ensenada y son posiblemente el efecto de un hundimiento de éstas.

Aguas con temperaturas de 22,8 - 24,1°C, según Okuda (1978 y 1981), son de origen subtropical procedentes desde la Cuenca de Cariaco y pre-

sentes en esta época del año en el Golfo de Cariaco. Ocupan en la Ensenada Grande del Obispo el estrato inferior a los 20 m, en el estrato superior, hasta la superficie, son ocupadas por aguas superficiales más cálidas.

- Salinidad:

La distribución horizontal de la salinidad en la superficie (Figura 5A), es similar a la distribución de la temperatura. Los mayores valores de salinidad son alcanzados en los sacos, es decir, en los sitios más someros del cuerpo de agua estudiado.

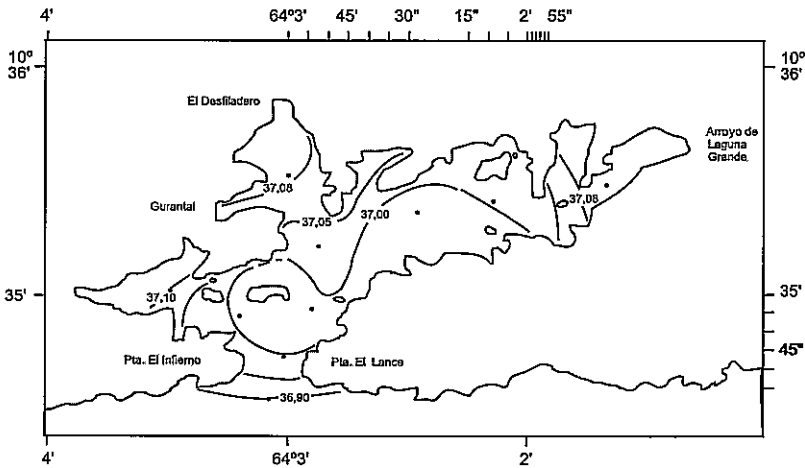


Figura 5-A.
Variación horizontal de las isohalinas a nivel superficial.

En la parte central y en dirección hacia la salida de la Ensenada, la salinidad es ligeramente más baja, debido posiblemente a la intrusión de aguas frescas desde el Golfo y que no han sido sometidas a las condiciones de evaporación presentes en los sacos.

En el perfil vertical (Figura 5B), la distribución de la salinidad, a pesar de no mostrar la misma regularidad y claridad que la temperatura, podemos observar cierto gradiente halino y, al igual que en la distribución térmica, la presencia de un domo halino en la Estación 8 y un aparente hundimiento en la Estación 6, señalado por la isohalina de 36,96 ‰.

Es interesante señalar que la variación de la distribución horizontal de la salinidad halina es más acentuada que la distribución vertical. Así, por ejemplo, entre las Estaciones 1 y 5 a nivel superficial, la diferencia es de 0,2 ‰, mientras que, en la vertical, cualesquiera de las estaciones la diferencia no llega a ser mayor a 0,06 ‰. Esto puede ser producto de la

penetración de aguas frescas más profundas desde el Golfo de Cariaco (en la parte central), favorecidas por procesos hidrodinámicos y a los mecanismos de mezcla que tienen lugar en la zona por efecto eólico (en las partes menos profundas).

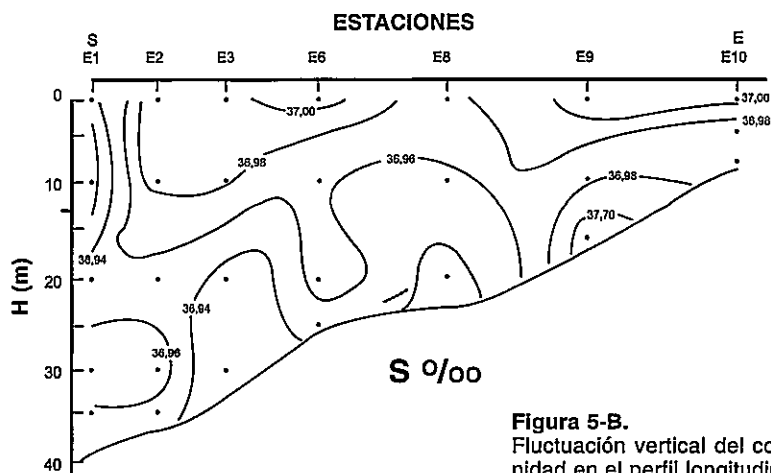


Figura 5-B.
Fluctuación vertical del contenido de la salinidad en el perfil longitudinal de S-E.

- Densidad (σ_t)

Como ya vimos anteriormente, tanto la temperatura como la salinidad van incrementándose en dirección a los sacos, donde la profundidad va disminuyendo paulatinamente. Lo anterior es indicativo de la preponderancia de las variaciones halinas sobre las térmicas en el plano horizontal (Figura 6A). Si tomamos la amplitud entre la Estación 1, por ejemplo, y las Estaciones 5, 7 y 10, tenemos que los valores para la temperatura son: $0,7^{\circ}\text{C}$, $0,4^{\circ}\text{C}$ y $0,1^{\circ}\text{C}$, respectivamente, y para la salinidad: $0,2 \text{ ‰}$, $0,18 \text{ ‰}$ y $0,18 \text{ ‰}$. Por lo tanto, la variación de la temperatura y salinidad entre estaciones tienen un mismo rango, de allí la preponderancia halina sobre la térmica en la distribución horizontal.

En cuanto a la distribución vertical de la densidad (Figura 6B), ésta tiene un comportamiento normal, es decir, disminuye con la profundidad. Del mismo modo disminuye la temperatura, que puede alcanzar la diferencia de $2,2^{\circ}\text{C}$ entre la superficie y en fondo en las tres primeras estaciones. Por otra parte, la amplitud de la salinidad es muy poca, debido a la homogeneidad vertical. Así, la diferencia entre la superficie y el fondo en las Estaciones 1, 6 y 8 es de $0,4 \text{ ‰}$; $0,5 \text{ ‰}$ y $0,2 \text{ ‰}$, respectivamente.

El gradiente térmico en relación al gradiente halino en el plano vertical es muy superior. De allí que la influencia térmica sobre la densidad sea superior a la influencia halina. Lo anterior queda confirmado por las simi-

litudes en las distribuciones la temperatura y la densidad. Por otra parte, lo expuesto es demostrativo de las complicadas relaciones que guarda la densidad, en un cuerpo de agua aparentemente simple.

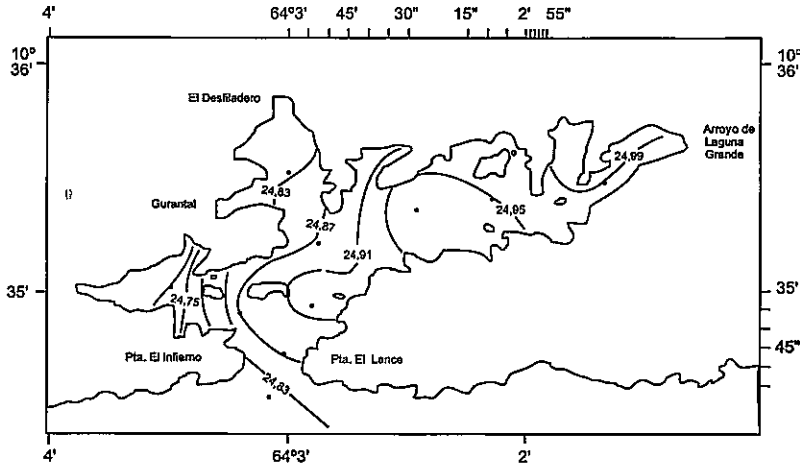


Figura 6-A.
Distribución superficial de la densidad (σ_t).

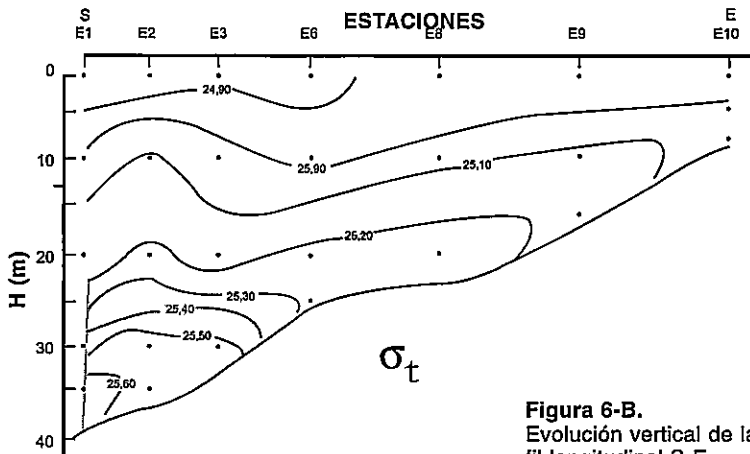


Figura 6-B.
Evolución vertical de la densidad en un perfil longitudinal S-E.

Suponemos que las aguas con densidades superiores a $\sigma_t = 25,2$ distribuidas en la Ensenada por debajo de los 20 m, y dispuestas desde la entrada hasta la Estación 8, corresponden a aguas de origen subtropical, procedentes de la Fosa a través del Golfo de Cariaco (Okuda, 1978; Ferraz-Reyes *et al.*, 1989 y Gómez, 1996).

- Diagrama T-S Disperso

El diagrama T-S de la Figura 7 muestra la estratificación de las aguas con dos nubes de puntos. La primera se mantiene centrada en la isopícnica de $\sigma_t = 25,0$. La salinidad oscila entre $36,9 \text{ ‰}$ y $37,1 \text{ ‰}$ y la temperatura va de $23,9^\circ\text{C}$ a $25,9^\circ\text{C}$.

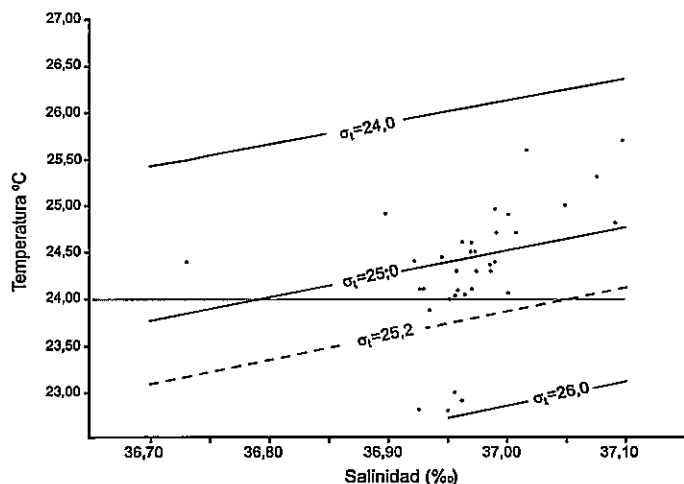


Figura 7.
Diagrama T-S Disperso.

Los puntos correspondientes pertenecen al estrato superior a los 20 m. Esta nube de puntos está asociada al agua superficial presente en la Ensenada Grande del Obispo y en el mismo Golfo de Cariaco, a pesar de que, según las conclusiones de Okuda, 1978, 1981 y Gómez, 1996, las aguas más superficiales estarían por encima de 24°C y menos de $36,7 \text{ ‰}$; las condiciones de meteorológicas extremas, generadoras de una intensa evaporación, serían la consecuencia de esta alta salinidad.

La segunda nube de puntos, más reducida en cuanto a número de puntos, debido a la cantidad de muestras tomadas, está centrada en la isopícnica de $\sigma_t = 25,9$. La temperatura oscila entre $22,85^\circ\text{C}$ y $23,35^\circ\text{C}$; y la salinidad entre $36,935 \text{ ‰}$ y $36,975 \text{ ‰}$. Esta segunda nube de puntos está asociada a la masa de agua de origen subtropical con temperaturas inferiores a 24°C y salinidades por encima de los $36,7 \text{ ‰}$ (Okuda, 1978, 1981; Kuksa, 1983; Urbano, 1993 y Gómez, 1996).

Características hidroquímicas:

- Oxígeno Disuelto

En la Figura 8A, se muestra la distribución espacial de las concentraciones superficiales de oxígeno disuelto en la Ensenada Grande del Obispo, observándose en general altas concentraciones, signo de elevada fertilidad biológica, donde las concentraciones $4,5 \text{ mL/L}$ de las oxiclínicas, se dis-

tribuyen con dirección Sur-Este - Norte, limitando a la Ensenada a dos regiones biológicamente bien definidas. El área Suroeste - Oeste - Norte donde se ubican las oxíclinas determinadas por los mayores contenidos de oxígeno disuelto 4,37 a 7,90 mL/L (Cuadro 1); principalmente de la parte central hacia el Oeste en la Cala Saco Abajo, Estaciones 4 y 5. Esto está relacionado con una mayor producción primaria debido a intensa actividad fotosintética en esta zona, como lo refleja el color verdoso de sus aguas.

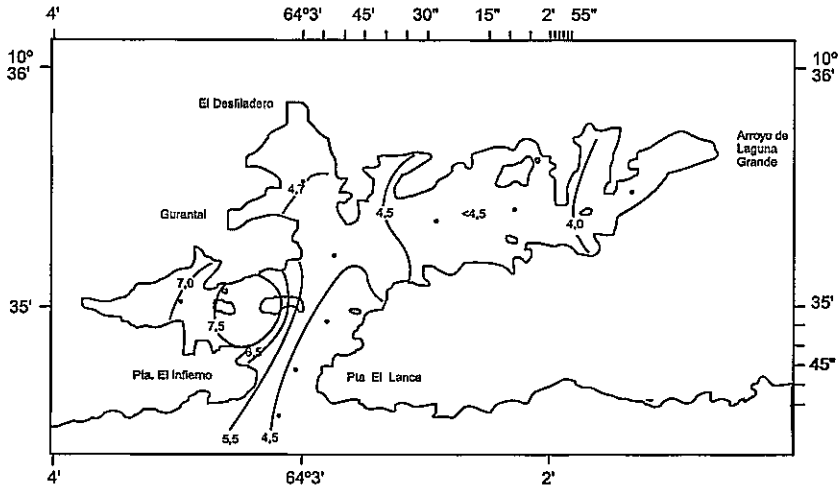


Figura 8-A.
Fluctuación estacional del oxígeno disuelto en la capa superficial.

Desde la parte central (Estación 6) al Norte (Estación 7), con valores de 4,69 ~ 4,75 mL/L (Cuadro 1). Y en la región sur-centro Estaciones 1 a 3, hacia el este, hasta el saco más oriental (cala Puerto Real, Estación 10) se detectaron valores de oxígeno relativamente menores que oscilaron entre 3,78 a 4,37 mL/L, (Cuadro 1), los cuales podrían estar asociados a una intensa descomposición de materia orgánica que se acumula en estas regiones y a la mezcla vertical en la columna de agua favorecida por efecto de los vientos alisios prevaletentes, como consecuencia de la baja profundidad, indicativo de mayor actividad de los procesos abióticos.

El contenido de oxígeno disuelto en el perfil S-E (Figura 8B) señala una distribución vertical irregular, apreciándose un umbral productivo demarcado por la oxíclina de 4,0 mL/L, desde la profundidad de 20 m en la entrada (Estaciones 1 y 2), descendiendo hasta los 35 m (Estación 3), para luego ascender abruptamente hasta la profundidad de 5 m (Estación 10) en la parte más oriental del ecosistema. Esta oxíclina de 4,0 mL/L delimita a la Ensenada Grande del Obispo en dos regiones bien definidas, de acuerdo a la intensidad de los procesos bióticos y abióticos, indicando una mayor productividad biológica desde el estrato subsuperficial al superfi-

cial (3,78 a 4,69 mL/L) favorecida por el aporte del agua superficial originada en la Fosa de Cariaco, que penetra y fertiliza al Golfo de Cariaco en esta época del año (Okuda, 1978 y Okuda *et al.*, 1978). El bajo contenido relativo de oxígeno disuelto (3,78 ~ 1,95 mL/L), por debajo de los 20 m y delimitado por la oxiclina de 4,0 mL/L; es influenciada por el aporte de agua subtropical de origen en la Fosa de Cariaco (Okuda *et al.*, 1968; Okuda, 1978 y 1981), desde las capas del fondo a las intermedias, favoreciendo los procesos de la mezcla vertical, haciendo estas aguas menos fértiles, donde prevalecen los mecanismos abióticos.

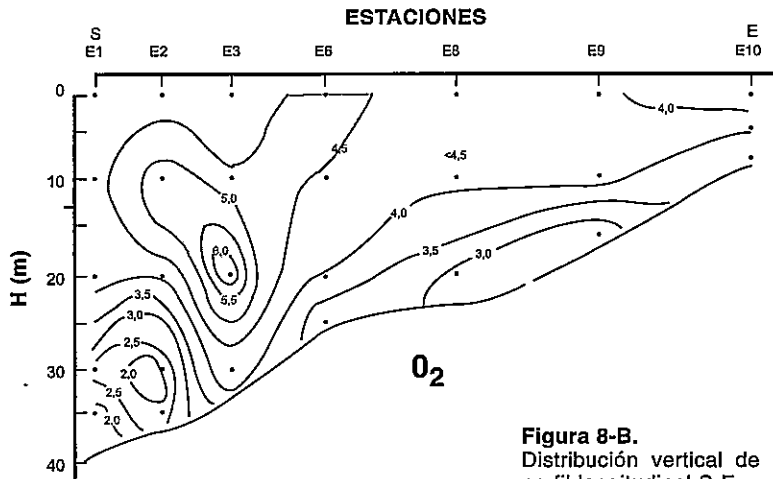


Figura 8-B.
Distribución vertical de las oxiclinas en el perfil longitudinal S-E.

Es interesante resaltar a nivel de la Estación 6 desde la capa superficial y hacia el Sur, incrementándose desde el nivel de 5 m con expansión hacia el fondo en las Estaciones 2 y 3, el hundimiento de un volumen de agua más denso y muy rico en oxígeno disuelto, con un núcleo concéntrico de elevada fertilidad (6,31 mL/L) a una profundidad de 20-25 m (Estación 3) y un levantamiento de las oxiclinas hasta el nivel superficial en dirección Este. Esto es indicativo de una marcada intensidad biótica. Este fenómeno se refleja y corrobora con los parámetros hidrográficos e hidroquímicos, que indican el inicio de un incipiente fenómeno de afloramiento.

Okuda *et al.*, (1968) observaron, durante los meses de enero a abril, la penetración de aguas subtropicales de origen de la Fosa de Cariaco, de bajas temperaturas y concentraciones de oxígeno disuelto y relativas altas salinidades, hacia el interior de la Ensenada. Este fenómeno también coincide con una mayor intensidad de los vientos alisios, los cuales tienen una dirección predominante del Este - Noreste, que son los generadores del inicio de este evento de afloramiento.

- Nitrito

La Figura 9A presenta la distribución superficial de nitrito; apreciándose que las isolíneas con los valores más elevados se ubican hacia el interior de los sacos orientales y occidentales, así, como en el área de la boca de la Ensenada, donde se supera el valor de $0,1 \mu\text{M}$; esto puede estar relacionado con la degradación de elevada cantidad de materia orgánica de origen exógeno, la formada *in situ* y la retenida por el manglar. En general, la concentración del nitrito fluctúa entre $0,015$ a $0,899 \mu\text{M}$ (Cuadro 1).

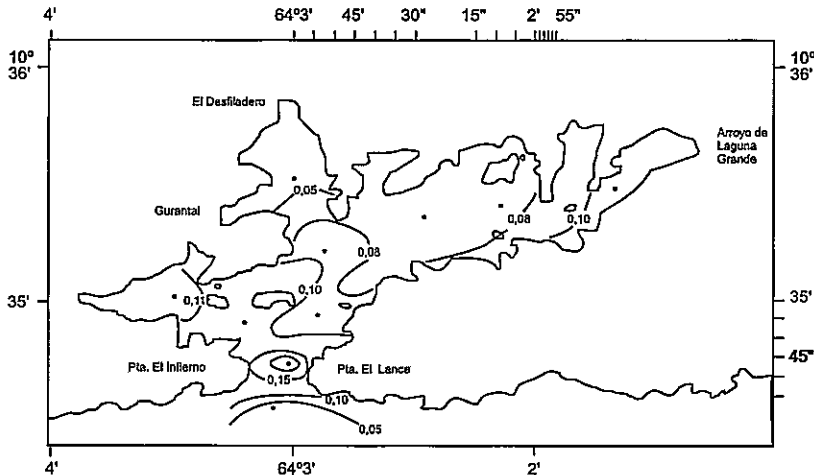


Figura 9-A.
Variación horizontal superficial por estaciones de la especie nitrógenada nitrito.

Según la Figura 9B, las isolíneas de los nitritos en el perfil vertical son concordantes a las obtenidas para el oxígeno disuelto. La expansión de esta especie nitrogenada está limitada por la isolínea de $0,2 \mu\text{M}$, con una inclinación hacia los estratos superficiales y demarca muy bien a este bioecosistema en un área de relativa elevada concentración de nitrito ($0,359 \sim 0,899 \mu\text{M}$) desde las capas intermedias a las profundas, por debajo de los $25,0$ m donde se incrementa con la profundidad (Estaciones 1 a 3) y a los $8,0$ m (Estación 10) en la parte más Este del ecosistema ($0,205 \mu\text{M}$). Por encima de estas profundidades se ubican los bajos valores del nitrito.

Es importante resaltar que las elevadas concentraciones de nitritos son aportadas por la masa de agua subtropical que penetra ascendentemente, con bajo contenido de oxígeno disuelto, indicativo de una mayor intensidad de los procesos abióticos, como la nitrificación. No así, en las capas superficiales, caracterizadas por una alta productividad y bajo contenido de nitrito, donde prevalecen los mecanismos bióticos. Al igual que en los otros parámetros, se observa el hundimiento de agua, pobre en esta especie nitrogenada hacia el centro de la Ensenada.

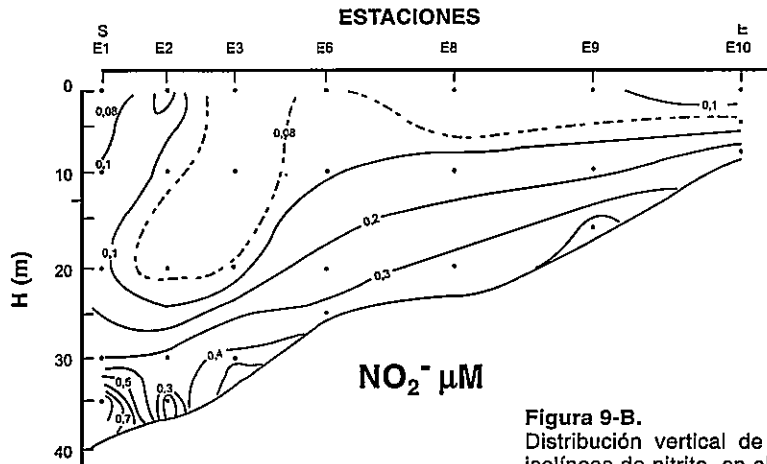


Figura 9-B.
Distribución vertical de los valores de las isóneas de nitrato, en el perfil vertical S-E.

- Nitratos

En la distribución superficial de los nitratos (Figura 10A) se aprecian concentraciones relativamente altas, desde la entrada hacia las regiones centro-oriental y occidental, con valores entre 3,02 a 3,53 μM y menores valores (2,50 a 2,84 μM) de la parte central hacia el Norte (Estaciones 6 y 7). De igual manera, los valores moderados de nitratos encontrados en los sacos occidental (3,10 μM), Norte (2,50 μM) y oriental (3,02 μM), están reflejando intensa actividad biótica y abiótica mediante la utilización y degradación de la materia orgánica exógena, *in situ* y la retenida por los mangles.

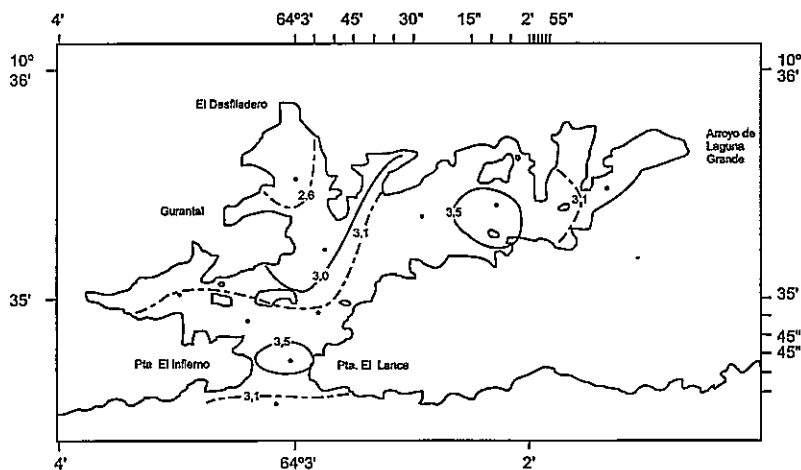


Figura 10-A.
Evolución espacial de las isóneas superficiales de la especie nitrógenada nitrato.

Longitudinalmente, el perfil S - E, muestra que la distribución vertical espacial del nitrato (Figura 10B), guarda cierta relación con la del contenido del oxígeno disuelto y el nitrito. Señala un incremento en su concentración, desde la superficie hacia el fondo excepto en la parte más oriental de la Ensenada (Estación 10). Es destacable, asimismo, la moderada y uniforme concentración de nitratos entre 2,59 ~ 4,57 μM (Cuadro 1), desde el nivel superficial hasta los 10 m en todo el perfil S - E de la Ensenada.

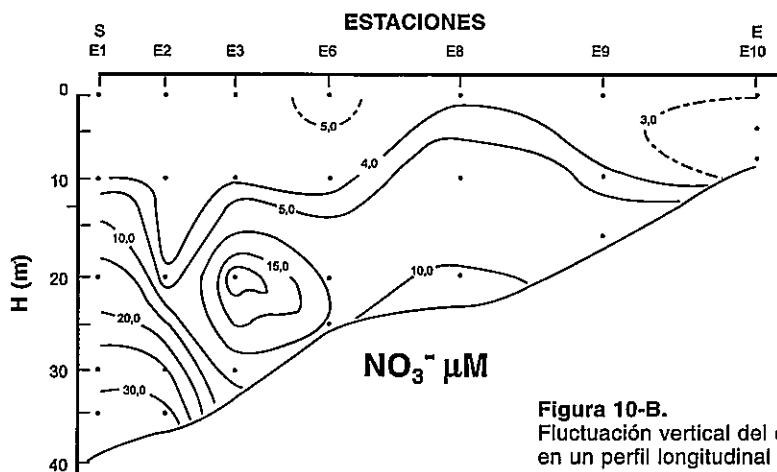


Figura 10-B.
Fluctuación vertical del contenido de nitrato en un perfil longitudinal de S-E.

Se aprecia que la isótopa de 5 μM delimita al ecosistema en estudio por debajo de los 10 m, en dos regiones bien definidas, con un incremento en el contenido de los nitratos hacia los estratos más profundos (4,57 a 33,88 μM). Se aprecia el mismo fenómeno, donde se está produciendo un hundimiento por la penetración de aguas ricas en nitratos, que coinciden con la distribución de los parámetros antes estudiados, siendo este aporte de aguas ricas en nutrientes lo que favorece el incremento de la fertilidad en el ecosistema. Es interesante resaltar la ubicación de un núcleo concéntrico de alto contenido de nitrato entre las Estaciones 2 a 6 y a una profundidad intermedia de 18 a 25 m, similar con el fenómeno que refleja un elevado valor en el oxígeno disuelto y bajo de nitrito (Figuras 8 y 9), caracterizado por una mayor actividad biótica.

Esto es coincidente y guarda relación con el fenómeno reseñado por Okuda *et al.* (1968), los cuales atribuyen éstos altos valores de nitrato al influjo de aguas subtropicales, que fertilizan la Ensenada durante los primeros meses del año y a una intensa actividad abiótica favorecida por la mezcla vertical. Los valores más elevados de nitratos (17,24 ~ 33,88 μM) se encontraron por debajo de los 18 m (Estaciones 1 y 2), nivel donde se sitúa la masa de agua subtropical, tipificando una mayor actividad abiótica, favorecida por el incremento orgánico e inorgánico.

- Amonio

La distribución espacial superficial del amonio es irregular y similar a la del nitrito y nitrato (Figura 11A), con valores relativamente bajos y homogéneos como lo reflejan sus isóneas, fluctuando superficialmente entre 0,27~ 1,27 μM (Cuadro 1), con los menores contenidos en los sacos occidental (Estación 4: 0,25 μM), centro (Estación 6: 0,38 μM) y Norte (Estación 7: 0,29 μM) indicativo del grado de actividad biótica y abiótica, que determina el equilibrio ecológico en la Ensenada.

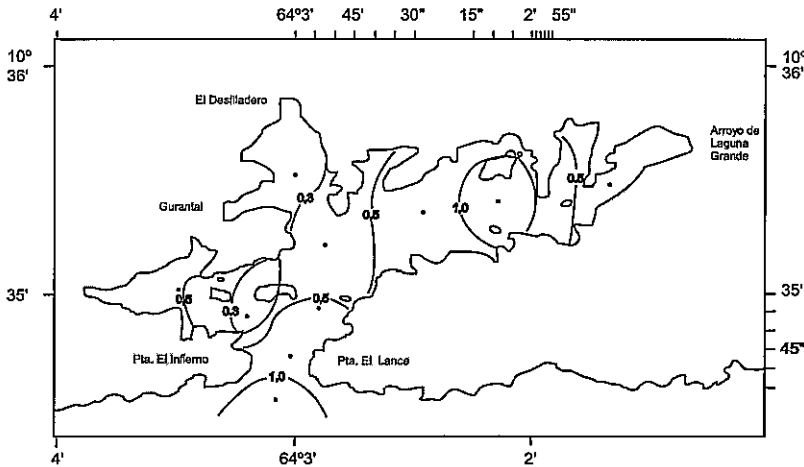


Figura 11-A.
Evolución espacial de las isóneas superficiales de la especie nitrogenada amonio.

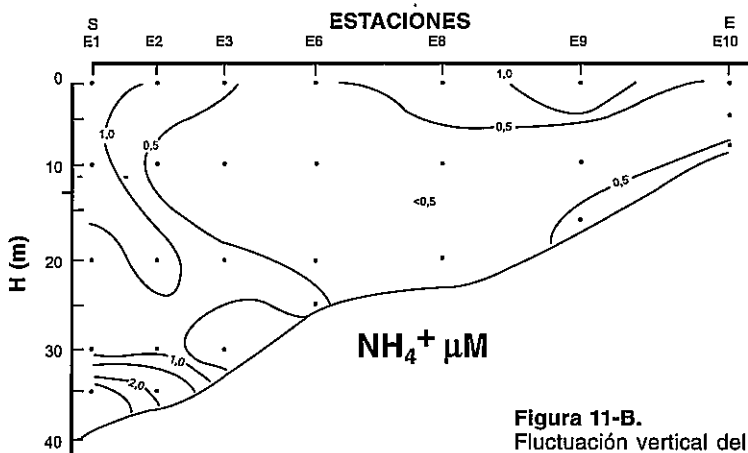


Figura 11-B.
Fluctuación vertical del contenido de amonio en un perfil longitudinal de S-E.

La evolución vertical por estaciones en el perfil longitudinal S-E (Figura 11B) se presenta divergente a la del oxígeno disuelto, nitrito y nitrato, siendo relativamente bajos y uniformes sus valores de $0,16 \sim 2,67 \mu\text{M}$ (Cuadro 1) en la columna de agua del ecosistema apreciándose las mayores concentraciones ($0,80 \sim 2,67 \mu\text{M}$) desde el nivel de los 30 m hacia el fondo (Estaciones 1 y 2), tipificados por la penetración del agua subtropical de origen de la Fosa de Cariaco, indicativo de una mayor actividad abiótica.

La distribución vertical del amonio en este bioecosistema presenta un comportamiento atípico, debido a que no guarda relación con las evoluciones tanto superficial como vertical, de los parámetros hidroquímicos estudiados.

- Nitrógeno Inorgánico Total (NIT)

La distribución espacial del NIT superficialmente se representa en la Figura 12A, siendo irregular, guardando relación con la del amonio y nitrato y divergente a las del nitrito. Se aprecia que las isolíneas contienen valores relativamente altos y uniformes, típicamente influidos por el contenido de los nitratos, en su evolución estacional; fluctuando de $2,84 \sim 4,82 \mu\text{M}$, indicando el grado de intensidad biótica y abiótica.

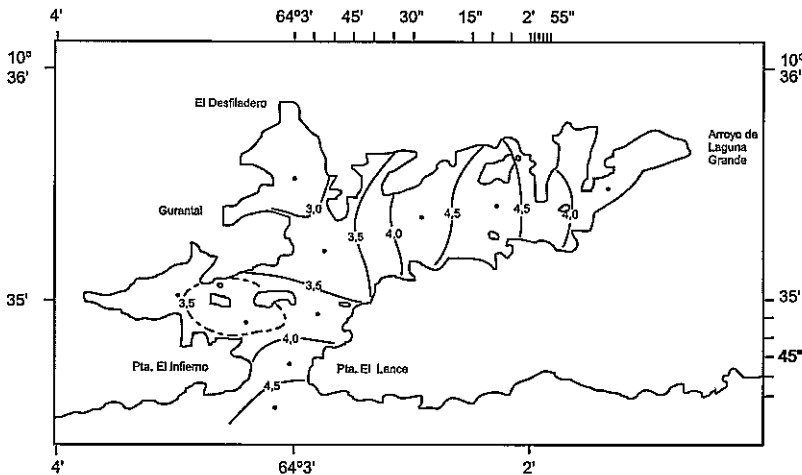


Figura 12-A.
Evolución espacial de las isolíneas superficiales de la especie nitrogenada Nitrógeno Inorgánico Total.

En la Figura 12B se representa la evolución vertical del NIT, siendo irregular y sigue cierta tendencia similar en su distribución vertical al nitrato, que es la especie química que predomina en la columna de agua y al fosfato, siendo discrepante al nitrito y muy diferente al amonio. La iso-

línea de $5 \mu\text{M}$ longitudinalmente limita a la Ensenada Grande del Obispo en dos áreas bien definidas, la cual se ubica a una profundidad de 12 m en la Estación 1, decreciendo hasta los 20 m en la Estación 2, para ascender bruscamente hasta los 5 m en la Estación 8, luego desciende levemente al estrato de 10 m en la Estación 9 en el extremo Este del ecosistema. Se encontraron las concentraciones relativamente bajas del NIT de $3,09 \sim 4,96 \mu\text{M}$ (Cuadro 1) en los niveles más superficiales entre 0 y 15 m.

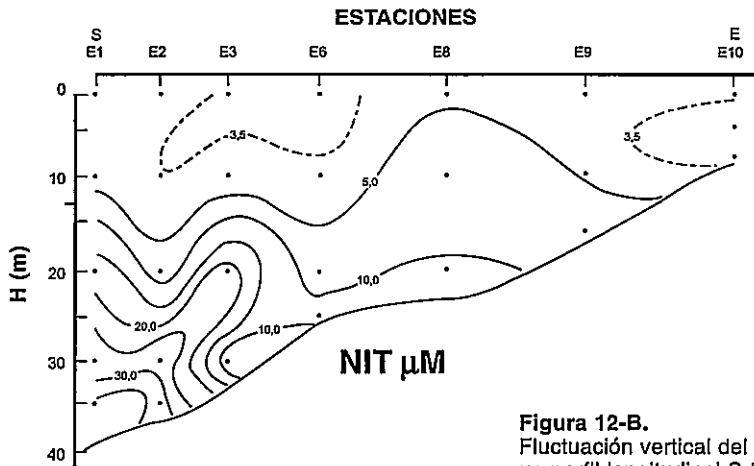


Figura 12-B.
Fluctuación vertical del contenido de NIT, en un perfil longitudinal S-E.

Se aprecia a partir de la isolínea de $5 \mu\text{M}$ un incremento pronunciado del contenido de NIT oscilando entre $5,33 \sim 37,45 \mu\text{M}$ (Cuadro 1) con la profundidad como lo señala la isolínea de $35 \mu\text{M}$. Se ubican las máximas concentraciones de $18,24 \sim 37,45 \mu\text{M}$ por debajo de los 20 m de profundidad (Estaciones 1 a 3), coincidentes con el ascenso del agua subtropical hasta ese estrato; esto indica un aporte de especies químicas nitrogenadas desde el exterior, por el efecto del agua proveniente de la Cuenca y Golfo de Cariaco, aunado al incremento resultante de la intensidad de los procesos abióticos que prevalecen en los niveles más profundos.

- Fosfato

La distribución horizontal del fosfato en la capa superficial (Figura 13A) es regular y parecida a la del nitrato y NIT, señalando valores relativamente altos, entre $0,085 \sim 0,543 \mu\text{M}$ (Cuadro 1) siendo éstos homogéneos desde la región central (Estación 3) hacia el Norte (Estación 7) y la parte oriental del ecosistema, no así de la cala occidental y área de la boca donde se encontraron los mayores valores de fosfatos ($0,250 \sim 0,534 \mu\text{M}$) estando ubicadas las concentraciones inferiores $0,085 \sim 0,137 \mu\text{M}$ en las Estaciones 6, 7 y 9; esto indica el grado de la actividad biótica en el eco-

sistema. El alto valor de los fosfatos encontrado en la boca (Estación 1), que es por el efecto externo debido al fenómeno de afloramiento donde el agua subtropical que penetra al Golfo de Cariaco desplaza al agua superficial que se encuentra en la columna, aunado el flujo exógeno de la escorrentía continental y desechos domésticos e industriales, que pueden estar afectando el ecosistema.

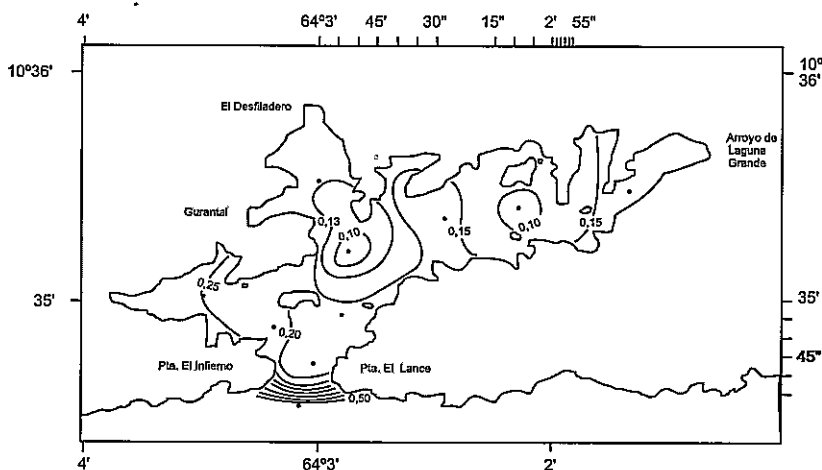


Figura 13-A.
Distribución horizontal superficial de la especie química fosforada fosfato.

En el perfil vertical S - E (Figura 13B) estacionalmente señala una distribución regular, reflejando similar fenómeno al señalado en los parámetros hidrográficos y en las especies químicas nitrogenadas, siendo concordante con los resultados obtenidos por Okuda *et al.* (1968 y 1978).

En la Figura 13B, se aprecia que la isolínea de fosfato de $0,2 \mu\text{M}$, limita a la Ensenada en dos regiones, a nivel de la profundidad de 20 m (Estación 2 y 3) con un ascenso paulatino de esta isolínea (Estación 10), excepto en el área de la boca que se ubica en la capa superficial. Es interesante resaltar que, desde el nivel subsuperficial al superficial, el contenido de fosfato es relativamente bajo de $0,085 \sim 0,170 \mu\text{M}$ (Cuadro 1) excepto en la superficie de la Estación 1. De la capa de los 20 m hacia el fondo el fosfato se incrementa coincidiendo los mayores valores ($0,364 \sim 0,869 \mu\text{M}$) con la intrusión del agua subtropical. Esta estratificación del contenido de fosfatos, está indicando la intensidad de los procesos bióticos y abióticos en la masa de agua del bioecosistema en el estudio, prevaleciendo en los estratos subsuperficiales a la superficie los mecanismos bióticos, en cambio de los 20 m hacia la capas más profundas predominan los procesos abióticos.

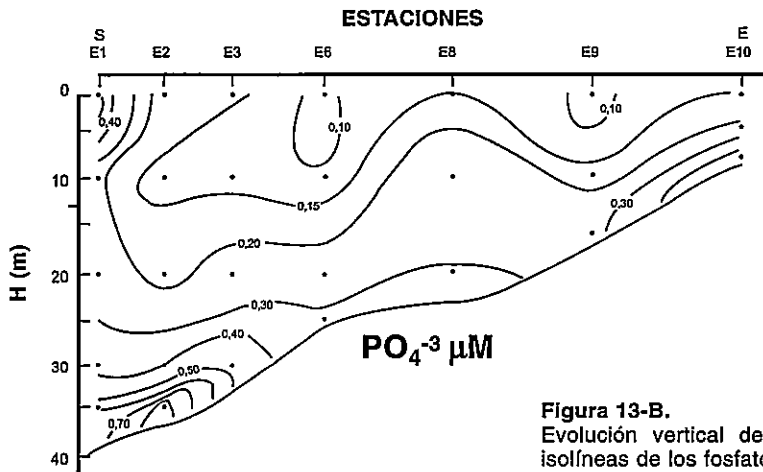


Figura 13-B.
Evolución vertical de los valores de las
isolíneas de los fosfatos.

CONCLUSIONES

Las condiciones hidrográficas del agua de la Ensenada Grande del Obispo están caracterizadas para la época por el influjo y permanencia de las aguas superficiales en los estratos superiores y subtropicales más frías por debajo de los 20 m de influencia de la Cuenca y Golfo de Cariaco.

Las concentraciones de las especies químicas nitrogenadas y fosforadas son altas por debajo de los 20 m, indicando un aporte exógeno y una mayor intensidad abiótica, en relación inversa a los niveles superficiales. Desde las capas superficiales a subsuperficiales el contenido de oxígeno disuelto se incrementa indicando fertilidad biológica, debido a la intensidad de los procesos bióticos.

SUMMARY

This research is a product of the course Oceanographic Cruise of the Postgraduate Studies in Marine Sciences. It is considered to contribute to the current knowledge of the environmental conditions based in the hydrographic and hydro - chemical characteristics of the water body "Ensenada Grande del Obispo", located in the north coast of the Cariaco Gulf (Estado Sucre, Venezuela). It uses the standard methodology for Oceanography. There is a seasonal variation in the water column with similar trend in the hydrographical and chemical data.

The temperature in whole water body is relatively high (22,60 - 25,70°C). However, by under 20 m was observed the breakthrough of the subtropical cold water (22,60 - 23,80°C), originated from the Basin and Gulf of Cariaco. The surface layers are occupied by the superficial water with

temperature higher than 24,0°C . Similar behavior presents the hyaline content (36,73 - 37.10 ‰), with high concentration of O₂ dissolved (1,95 - 7,90 mL/L) and high density ($\sigma_t = 24,71 - 25,62$). It is shown the deep of a dense, fertile water mass, delimited by the oxicle of 4,5 to 6,0 mL/L from the surface (Station 6) until approximately 25,0 m of depth (Station 3), with incidence in the hydrographical and hydrochemical parameters, indicating this a greater biological activity.

The distribution of NO₂⁻, NO₃⁻ and PO₄⁻³ nutrients, is correlate with the dissolved oxygen content not thus the NH₄⁺. The nutrients are high by under 20 m (Stations 1 and 2), they characterized by the input of cold water and of low content of dissolved O₂ too, indicative of a greater abiotic activity.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENDSCHNEIDER, K. y ROBINSON, R.J. 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11, 87-96.
- CARABALLO, L.F. 1973. Estudio fisiográfico sedimentológico y geología histórica de la Ensenada Grande del Obispo (Estado Sucre, Venezuela). *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente.*, 12 (2), 29-77.
- CARPENTER, J.H. 1965. The accuracy of the Winkler method for dissolving oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 135-140.
- FERRAZ-REYES, E., MANDELLI, E., y REYES VÁSQUEZ, G. 1987. Fito-plancton de la Laguna Grande del Obispo, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente.*, 26 (1-2), 111-124.
- FOFONOF, N.P. y MILLARD Jr, R.C. 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of sea water. *UNESCO Technical Papers in Marine Science*, 44, 15-19.
- GÓMEZ, A. 1996. Causas de la fertilidad marina en el Oriente de Venezuela. *Interciencia*, 21 (3), 140-146.
- HERRERA, L. y FEBRES, G. 1975. Kinematics of wind-generated velocity field in the surface waters of Eastern Venezuela, Caribbean Sea. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 14 (2), 165-186.
- KOROLEFF, F. 1969. Direct determination of ammonia on material waters as indophenol blue. *ICES, C M. 1969/C:Hydr. Comm.*
- KUKSA, VI. 1983. *The World Ocean Intermediate Waters. (en ruso)*. Leningrado: Gidrometeorizdat. 272 pp.

MURPHY, J. y RILEY, J.P. 1962. A Modified single solutions method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.*, 27, 31-36.

OKUDA, T. 1978. Condiciones hidrográficas de las aguas superficiales de la Fosa de Cariaco y áreas adyacentes. *FAO Fish. Rep.*, 200, 349-362.

OKUDA, T. 1981. Análisis Hidroquímicos de la Bahía de Pozuelos y sus áreas adyacentes, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 20 (1 y 2), 11-22.

OKUDA, T., BENÍTEZ, J., BONILLA, J. y CEDEÑO, G. 1978. Características hidroquímicas del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. de Oriente*, 17 (1 y 2), 69-88.

OKUDA, T., BENÍTEZ, J., GARCÍA, A. y FERNÁNDEZ, E. 1968. Condiciones hidrográficas y químicas en la Bahía de Mochima y la Laguna Grande del Obispo, desde 1964 a 1966. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 7 (2), 7-37.

PERRY, A.H. y WALKER, J.M. 1977. *The ocean atmosphere system*. Londres: Longman Group Ltd. 95 pp.

QUINTERO R., A. 1991. Régimen termohalino en el Atlántico Tropical. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 30 (1 y 2), 73-83.

QUINTERO R., A y LODEIROS, C. 1996. Variación térmica en Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 35 (1 y 2), 27-40.

URBANO R., J.E. 1993. Masas de agua del Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 14, 3-30.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Postgrado en Ciencias Marinas, así como a la dirección del I.O.V-U.D.O, por haber facilitado mediante la ejecución de la asignatura Crucero Oceanográfico, la logística operacional en la obtención del yate "Sagitario" de la empresa Alimentos Margarita, para la realización del muestreo. A la investigadora Galina Terejova, por su invalorable y desinteresada ayuda. A los T.S.U, A.Márquez y D.Hernández por su colaboración en la parte analítica. A Carolina Trujillo, Secretaria por la transcripción gráfica y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, hicieron posible la culminación de esta investigación.

APLICACIÓN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIANTE AL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE LA BAHÍA DE BERGANTÍN, ESTADO ANZOÁTEGUI, VENEZUELA

FERMÍN, J.¹ Y BONILLA R., J.²

¹ Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente,
Núcleo de Sucre, Cumaná, Venezuela.

² Instituto Universitario de Tecnología, Cumaná, Venezuela.

RESUMEN

Se caracteriza estadísticamente el comportamiento contaminante de metales pesados de acuerdo a su distribución prevaeciente en los sedimentos superficiales, debido a la influencia de las diferentes actividades *in situ* y antropogénicas exógenas, que puedan definir el origen y afectación por los metales. A la data se le aplicaron técnicas estadísticas multivariantes de componentes principales y el análisis de conglomerados; éstos indican que existe un comportamiento interdependiente que se explica por la asociación de los elementos metálicos durante 1989, caracterizados por el aporte y el contenido del material particulado en suspensión en las aguas residuales que drenan al ecosistema. Los dos primeros componentes exhiben el 87,33 % de la varianza total, siendo altamente satisfactoria. Mientras que con el análisis de conglomerados se determinaron dos grupos bien definidos. Existe una alta correlación estadísticamente significativa entre el Cu y Cr ($r=0,90$), con similar característica entre el Cu y el Zn ($r= 0,84$) y entre el Zn y Cr ($r=0,77$), que es indicadora de contaminación industrial y urbana. Se puede inferir que la distribución de Pb sigue un patrón totalmente opuesto a las de Cu y Cr con una correlación relativamente alta ($r=-0,56$ y $r= -0,61$).

PALABRAS CLAVES:

Contaminantes, Metales Pesados, Multivariante.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros de la región Nororiental de Venezuela, en especial las áreas del Criogénico de José donde se ubica el asentamiento petrolero y petroquímico oriental, así como las Bahías de Mochima, de Bergantín, Pozuelos y Barcelona, reciben, en sus cuerpos de agua y fondos marinos (sedimentos), el drenaje sistemático de aguas residuales y flujos antropogénicos que son un importante vehículo de transporte de una gama de contaminantes exógenos de divergente naturaleza industrial y doméstica, procedente de las diversas industrias y poblados asentados en la región y aledaños al ecosistema en estudio; como son la industria petrolera, petroquímica, automotriz, pesquera, curtimientos que, junto a los desechos domésticos de los poblados Guanta, Puerto la Cruz, Barcelona y a la escorrentía continental, son unas de las principales fuentes antrópicas de aporte de metales pesados. Estos comprenden una categoría de contaminantes de gran interés en los estudios de la calidad de agua y sedimentos, debido a sus efectos tóxicos altamente determinantes por los daños que causan en los diferentes niveles de organización biológica, así como a los ambientes de los diversos ecosistemas litorales, estando en los sedimentos regidos por los factores naturales, geodinámicos y de origen antropogénico. En estos sedimentos los metales Cu, Pb y Zn son indicadores de presencia o influencia humana, otros como Ni, V y Cr se consideran metales procedentes de las actividades industriales. (Luoma, 1990; UDO-Corpoven, 1990; González, 1991; González y Briggmann, 1991; González *et al.*, 1985, y 1993; Bonilla, 1993; Bonilla *et al.*, 1994, 1995 y 1998 y Fermín *et al.*, 1994).

En esta investigación se caracterizó el grado de contaminación existente por metales pesados en los sedimentos superficiales y el deterioro que pueden estar causando.

AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Bergantín (Figura 1) es un cuerpo de aguas semicerrado, que mantiene un intercambio directo entre el interior con el exterior, mediante la acción eólica de los vientos alisios prevalecientes con la masa de agua de la Bahía de Barcelona (área de Puerto la Cruz), con profundidad relativa de 12 m y un canal de circunnavegación de $\pm 22,0$ m; que permite la entrada de barcos petroleros de gran calado para sus operaciones industriales. Esta Bahía se encuentra ubicada al Noroeste del Estado Anzoátegui, comunicándose al Oeste con la Bahía de Pozuelos a través de los canales de navegación entre Punta Bergantín-Isla Burro (Isla Guaragua). Tiene una extensión de 1700 m Este-Oeste y un ancho de 450 m (UDO-Corpoven, 1990).

La Bahía de Bergantín, por tener en su litoral costero la infraestructura industrial de la empresa petrolera Corpoven, está constantemente sometida a un intenso tráfico de circunnavegación de tanqueros, lanchas

deportivas que llegan a sus muelles: De las refinerías de Corpoven y el Chaure para carga y descarga de petróleo (crudos) y sus derivados, así como de las urbanizaciones El Chaure y Guaraguao. También, sus aguas reciben los efluentes de las descargas cloacales de origen doméstico e industrial procedentes de la Refinería El Chaure en su parte más oriental, mientras que la Refinería CORPOVEN lo hace en su entrada. Sus fondos están conformados por sedimentos, arena-arcillosa, hacia su entrada (Estaciones 1 y 2) y arcilla-limosa con 73,34%, siguiendo en importancia la arena con 24,70% y en menor proporción la fracción grava con 1,96% (UDO-Corpoven, 1990). En su litoral costero se encuentran hábitats de ambientes rocosos, coralinos y praderas con escasos manglares.

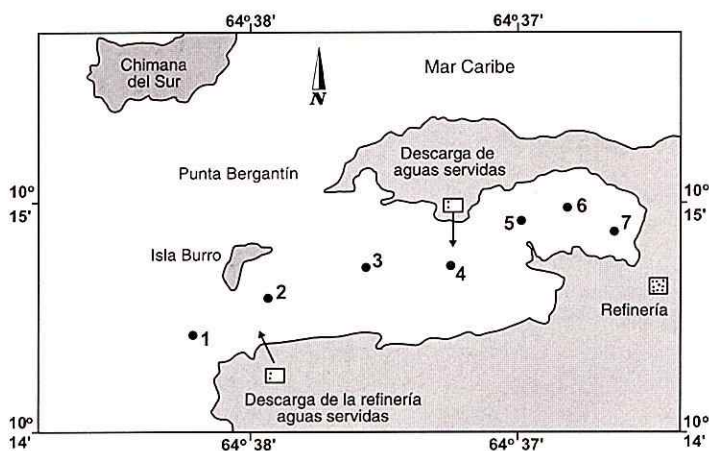


Figura 1. Mapa de la Bahía de Bergantín, señalando las estaciones de toma de las muestras.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en los sedimentos superficiales de la Bahía de Bergantín (Figura 1) en un perfil longitudinal en la Estación 7. Los sedimentos fueron recolectados durante el año 1989 a bordo del B/O Guaiqueri II del IOV-UDO, mediante dragado usando una draga tipo Diez Laffont de 0,02 m² de área y almacenados en bolsas plásticas bajo refrigeración, hasta su posterior análisis en los laboratorios del IOV. Estos sedimentos se deshidrataron mediante liofilización por 72 horas a -50°C en un liofilizador Vitris-Unitrap 10-100 y triturados mecánicamente hasta polvillo en un mortero eléctrico marca Fisher.

Metales:

Se determinaron por el método de Carmody *et al.*, 1973, cuantificándose los metales trazas por espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin-Elmer, modelo 403.

Tratamiento estadístico:

Se usaron las técnicas de análisis multivariantes: análisis de Componentes principales y análisis de Conglomerados (Cluster Analysis) según Anderberg, 1973; Mardia *et al.*, 1979 y González *et al.*, 1985. El análisis de componentes principales se aplicó con el objetivo de reducir la dimensión del fenómeno y de lograr cuantificar e identificar las variables (metales trazas) más contaminantes en los sedimentos superficiales en la Bahía de Bergantín, de manera que se tenga una visión global de la situación degradante. Las unidades experimentales fueron las estaciones de muestreo. Con el análisis de Conglomerados se intentó establecer agrupaciones de metales y/o estaciones. Como el método propuesto es de naturaleza jerárquica, se compararon los diferentes grupos y se logró determinar el grado de asociación dentro de cada una de las agrupaciones formadas. Se utilizó el método de Ward. Para las estaciones se utilizó la distancia euclidiana como medida de disimilitud y, para los metales, el coeficiente de correlación de Pearson multivariantes permitió el análisis de las estaciones y de los metales en su conjunto y de manera independiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido y distribución de los metales pesados Cd, Cu, Cr, Pb y Zn están caracterizando una mezcla de efecto tóxico contaminante de origen exógeno e industrial que son drenados y vertidos al bioecosistema en estudio a través de las fuentes de transporte, de los divergentes efluentes provenientes de las Refinerías Corpoven en su entrada y El Chaure en la parte más oriental (Figura 1) junto a las descargas de las aguas servidas de las urbanizaciones El Chaure, Guaraguao, obteniéndose el grado de asociación interdependiente de acuerdo al tratamiento estadístico multivariantes de componentes principales y análisis de conglomerados reseñados en los Cuadros 1-3 y Figuras 2-4.

En general, en el Cuadro 1 se aprecian los resultados obtenidos de los metales trazas de origen antropogénico en los sedimentos superficiales, mediante las discrepantes concentraciones absolutas representadas por la media, los máximos, mínimos, desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), los cuales están indicando que existe gran variabilidad, donde se encontraron altos valores de los metales trazas, Cd, Cu, Cr, Pb y Zn que se pueden considerar como indicadores de contaminación urbana/industrial, confirmando esto el intenso drenaje de afluentes antropogénicos hacia el ecosistema en estudio, causándole cierto grado de relativo deterioro como lo demuestran las altas concentraciones de metales trazas obtenidas, que inducen tendencia a la toxicidad.

Es interesante resaltar la afectación causada por los metales trazas Cd, Cu, Cr, Pb y Zn, donde señalan el más alto contenido, en forma similar y comparable para la Estación 4 donde se ubica el muelle y la descarga de

las aguas servidas de la Urbanización El Chaure y en la Estación 6 donde se encuentra el drenaje de efluentes industriales y domésticos de la Refinería El Chaure.

Existen indicios de contaminación de origen antropogénico en los sedimentos superficiales de la Bahía de Bergantín causados por los metales trazas (Cuadro 1) Cu, (15,04 $\mu\text{g/g}$); Cr (30,57 $\mu\text{g/g}$); Pb (28,55 $\mu\text{g/g}$) y Zn (129,90 $\mu\text{g/g}$); cuyas fuentes de contaminación son atribuidas a los aportes de la industria petrolera CORPOVEN y de los poblados existentes en la zona litoral entre Guanta-Barcelona, junto a los aportes exógenos, debido a la carga y descarga de tanqueros y embarcaciones menores que circunnavegan la Bahía en actividades industriales y turísticas (UDO-CORPOVEN, 1990; Bonilla, 1993; Bonilla *et al.*, 1994, 1998 y Fermín *et al.*, 1994).

Cuadro 1.
Media, mínimo, máximo, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) obtenidos en los sedimentos de la Bahía de Bergantín.

Ests.	METALES ($\mu\text{g/g}$)				
	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
1	1,88	11,56	22,51	29,08	78,77
2	1,88	13,31	27,11	34,40	141,80
3	1,88	13,36	28,89	29,27	113,13
4	1,91	17,94	32,42	27,02	152,60
5	1,80	15,09	33,36	25,74	117,10
6	1,86	16,98	34,58	26,88	146,98
7	1,94	17,07	35,10	27,48	158,89
\bar{x}	1,88	15,04	30,57	28,55	129,90
Mínimo	1,80	13,31	27,11	25,74	113,13
Máximo	1,94	17,94	35,10	34,40	158,89
DE	0,0434	2,3883	4,6109	2,8630	28,4265
CV (%)	2,31	15,88	15,08	10,03	21,88

De acuerdo al CV (Cuadro 1), se aprecia que los metales que están contaminando el ecosistema en estudio presentan gran variabilidad, destacándose como los metales que más varían: Zn (21,88%); Cu (15,88%); Cr (15,08%) y el Pb (10,03%); esto confirma que la fuente antropogénica de aporte de metales tóxicos al ecosistema es urbana/industrial.

También, se aprecia en el Cuadro 1 que el contenido de metales pesados en valores absolutos, en lo referente a las estaciones, se agrupa en dos maneras bien definidas; una con las Estaciones 1, 2 y 3 con valores promedios de 1,88 $\mu\text{g/g}$ (Cd); 12,63 $\mu\text{g/g}$ (Cu); 26,17 $\mu\text{g/g}$ (Cr); 30,29 $\mu\text{g/g}$ (Pb) y 111,23 $\mu\text{g/g}$ (Zn); que se ubica desde la región central frente a las descargas de las aguas servidas de la urbanización El Chaure hasta el extremo más oriental en la Refinería El Chaure, otra con las estaciones 4, 5, 6, 7 con valores promedios de 1,87 $\mu\text{g/g}$ (Cd); 16,77 $\mu\text{g/g}$ (Cu); 33,86 $\mu\text{g/g}$ (Cr); 26,78 $\mu\text{g/g}$ (Pb) y 143,89 $\mu\text{g/g}$ (Zn).

Los coeficientes de correlación señalados en la matriz de correlación del Cuadro 2 muestran que los metales trazas Zn, Cr presentan una mayor correlación con Cu ($r = 0,8413, 0,8981$); y el Zn la presenta con el Cr ($r = 0,7696$); mientras que el Cu y el Cr se asocian de manera antagónica principalmente con el Pb ($r = -0,5646, -0,6051$). Igualmente el Zn se asocia de manera moderada con el Cd ($r = 0,4195$).

Cuadro 2.

Matriz de correlación entre las concentraciones de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Bergantín.

	METALES ($\mu\text{g/g}$)				
	Cd	Cu	Cr	Pb	Zn
Cd	1,0000				
Cu	0,2672	1,0000			
Cr	0,0199	0,8981	1,0000		
Pb	0,1988	-0,5646	-0,6051	1,0000	
Zn	0,4195	0,8413	0,7696	-0,0571	1,000

Con el objetivo de caracterizar el ecosistema en relación al efecto contaminante por metales trazas, se utilizó el análisis de componentes principales. En la Cuadro 3, se describen las variables estudiadas en función de tres componentes principales. Estos componentes explican el 87% de la varianza del conjunto de las variables; el primer componente (CP1) posee un 59,8% de varianza explicada, el cual se conforma por las fuertes asociaciones positivas de éste con los metales Cu, Cr y Zn; y asociación negativa con Pb.

El segundo componente (CP2) se constituye por las correlaciones positivas con Cd y Zn y asociación negativa con el Pb y Cr, con un 27,5% de varianza explicada. El tercer componente (CP3) se conforma por una correlación fuerte negativa con Cd y correlación positiva con Pb y Zn, con un 11,3% de varianza explicada.

Cuadro 3.
Análisis de Componentes Principales (n=5) de las variables medidas.

	COMPONENTES		
	1	2	3
Cd	0,1533	0,7047	-0,6571
Cu	0,5695	0,0004	-0,0303
Cr	0,5487	-0,1714	0,2051
Pb	-0,3270	-0,5891	0,5993
Zn	0,4948	0,3554	0,4075
Varianza explicada	2,9915	1,3752	0,5646
% varianza explicada	58,8	27,5	11,3

En la Figura 2 se observa la correlación entre las variables y las dos primeras componentes principales, que confirma la existencia de dos grupos de metales trazas: el primero conformado por Pb y Cd mientras que el segundo por Zn, Cu y Cr que son buenos indicadores de contaminación urbana/industrial (González *et al.*, 1993 y Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1994).

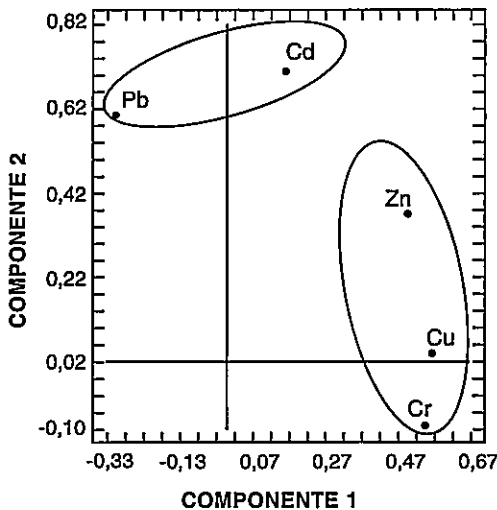


Figura 2.
Correlación entre los metales trazas y las dos primeras Componentes Principales.

Se aprecia en la Figura 3 la representación de agrupaciones de las estaciones en las primeras componentes principales donde se asocian de la siguiente manera, primero con las Estaciones 1, 2 y 3 que posiblemente tienen la misma fuente exógena de contaminantes y el segundo grupo las

Estaciones 4, 5, 6 y 7 con una característica algo diferente al grupo anterior donde prevalece el influjo antropogénico industrial enmarcado en el auge del crecimiento industrial de la empresa petrolera CORPOVEN.

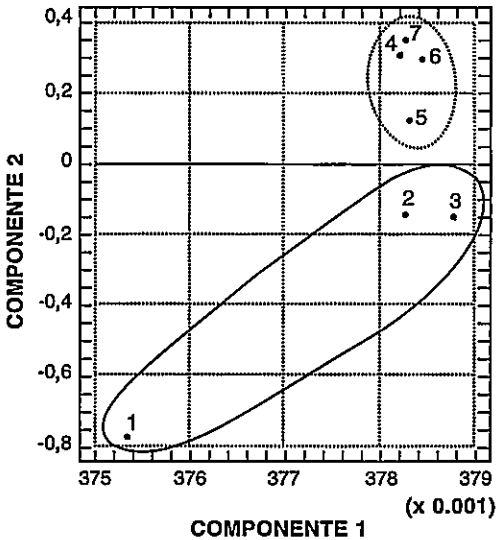


Figura 3. Correlación entre las agrupaciones de las estaciones de las dos primeras Componentes Principales.

Con el análisis de conglomerados se establecen agrupaciones de metales y/o estaciones. Como el método propuesto es de naturaleza jerárquica se compararon los diferentes grupos y se logró determinar el grado de asociación existente entre las agrupaciones de metales y/o estaciones formadas. Para las estaciones se utilizó la distancia euclidiana como medida de disimilitud y, para los metales, el coeficiente de correlación de Pearson como medida de similitud.

El comportamiento observado por los componentes principales es en parte corroborado en el dendograma de las variables metales trazas y/o estaciones, correspondientes al método de Ward, señaladas en las Figuras 4A y 4B.

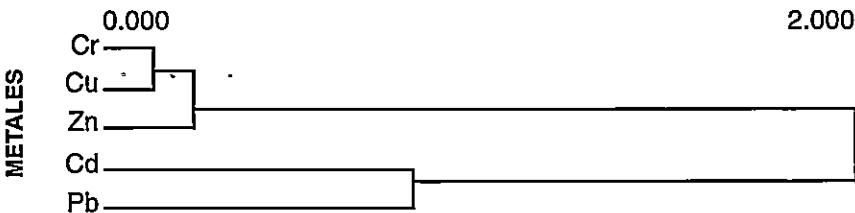


Figura 4-A. Dendograma de Similitud entre las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos superficiales.

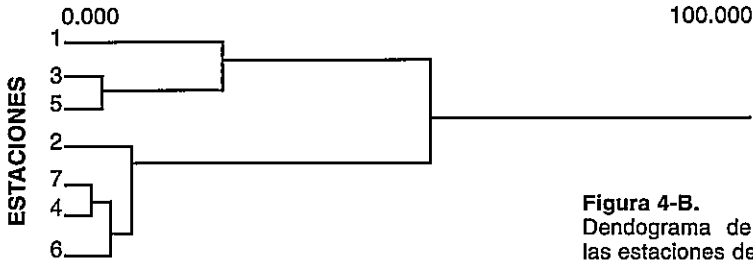


Figura 4-B.
Dendograma de Similitud entre las estaciones de muestreo.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo al contenido absoluto de metales trazas en los sedimentos superficiales del ecosistema Bahía de Bergantín se encontró un comportamiento decreciente en el orden siguiente $Zn > Cr > Pb > Cu > Cd$.
2. El uso combinado de las técnicas de análisis de componentes principales y de conglomerados determinó una mejor visualización de los metales contaminantes y de sus fuentes de origen industrial y urbana.
3. Se encontró un mayor aporte de metales pesados por los efluentes industriales de la parte central hacia la región más oriental del ecosistema en estudio y un flujo direccional de estos mismos metales de origen antrópico de tendencia urbano - industrial desde la entrada hacia la parte central.
4. Para poder definir, de una manera más precisa, el tipo de metal que señala si la contaminación es industrial o urbana, independientemente de su fuente natural o antropogénica de origen, se necesita realizar una investigación más a fondo del contenido de los metales pesados que están caracterizando la contaminación de los sedimentos superficiales de la Bahía de Bergantín, área de gran empuje industrial de la empresa petrolera CORPOVEN.

SUMMARY

Metal pollution and distribution in marine surface sediments of the Bahía de Bergantín were characterized during 1989. Data were processed through statistical techniques of multivariate analysis such as principal components analysis and cluster analysis. The first two principal components explain the 87,33% of the variance of the behaviour of all the metals. While with the cluster analysis were determined two groups well defined. The metals Cd, Cu, Cr, Pb and Zn were determined in surface sediments, which showed high correlation between Cu and Cr ($r=0,90$) with similar characteristics between Cu and Zn ($r=0,84$) and between Zn and Cr ($r=0,77$) which are indicators of industrial and urban pollution. It can be inferred that Pb follows a pattern totally opposite to Cu and Cr with a high correlation ($r=-0,56$ and $-0,61$).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERBERG, M. 1973. *Cluster Analysis for applications*. Londres: Academic Press. 250 pp.
- BONILLA R., J. 1993. **Características hidrogeoquímicas: comportamiento y significado de modelos estadísticos multivariantes en el bioecosistema marino costero de José, Estado Anzoátegui, Venezuela**. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. *Ascenso a titular*. 231pp.
- BONILLA R., J., FERMÍN, J., CABRERA, M. y GAMBOA, B. 1995. Caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales del ecosistema Marino Costero de José, Estado Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. de Oriente*, 34 (1y2), 5-23.
- BONILLA R. J., FERMÍN, J. y GONZÁLEZ, C. 1998. Análisis estadístico multivariante aplicado al grado textural y a los aspectos geoquímicos de los sedimentos del Bioecosistema Marino Costero de José. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente*, 37 (1y2), *en prensa*.
- BONILLA R., J., FERMÍN, J., MARTÍNEZ, G., MÁRQUEZ, A. y HERNÁNDEZ, J. 1994. **Caracterización geoquímica de los sedimentos superficiales del Puerto Pesquero de Cumaná**. XLIV Convención Anual de ASOVAC del 13 al 18 de Noviembre. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Coro, Venezuela.
- CARMODY, D.J., PEARCE, J.B. y YASSO. 1973. Trace metals in sediments of New York Bay. *Mar. Pollut. Bull.*, 4(9), 132-135.
- DOYLE, L.J. y FELDHAUSEN, P.H. 1981. Bottom sediments of the Eastern Gulf of Mexico examined with traditional and multivariante statistical methods. *Mathematical Geology*, 13, 93-117.
- FERMÍN, J.S., BONILLA R., J. y CABRERA, M. 1994. **Canonical correlation analysis between the variables of the organic and inorganic matter in the surface sediments of the José Cryogenic ecosystem, Venezuela**. IV Latin American Congress on Organic Geochemistry. Bucaramanga, Colombia.
- GONZÁLEZ, H. 1991. Heavy Metals surveys in sediments of five important Cuban Bays. *Biogeochemistry*, 14, 113-128.
- GONZÁLEZ, H y L, BRIGMANN. 1991. Heavy metals in Littoral Deposits of Havana City, Cuba. *Chem. Ecol.*, 5,171-179.
- GONZÁLEZ, H., LERA, L. y TORRES, I. 1985. Heavy metals distribution in surface sediments and core samples from Havana Bay, Cuba. *Proceedings International Conference*, 658-660.

GONZÁLEZ, H., LERA, L. y TORRES, I. 1993. Metales pesados en Bahías Cubanas. Excedentes de Episodios de Ozono. Nitratos en aguas subterráneas. Monitoreo Remoto del ambiente. Centro de Investigación en Matemática. A. C. Cuba, 1, 1-17.

GUTIÉRREZ-GALINDO, E., FLORES-MUÑOZ, G., V. ORTEGA-LARE, V. y VILLAESCUSA-CELAYA, J. 1994. Metales pesados en sedimentos de la costa Fronteriza Baja California (México)-California (EUA). *Ciencias Marinas*, 20(1), 105-121.

LUOMA, S.N. 1990. Processes affecting metal concentrations in estuarine and Coastal Marine sediments. En: **Heavy metals in the Marine Environments**. Eds: R. W. Furness y P. S. Rainlaw. Capítulo 4, p. 51-66. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.

MARDIA, K.V., KENT, J.T. y BIBBY, J.M. 1979. **Multivariate Analysis**. Londres: Academic Press, 521pp.

UDO-CORPOVEN. 1990. Estudio Ambiental del Ecosistema Marino de la Bahía de Bergantín y Área de José. Informe final. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, 1, 198.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos al Profesor G. Cedeño, Coordinador General del Proyecto Ambiental de los Ecosistemas Marinos de Bergantín y José; al personal científico y técnico del Departamento de Oceanografía del IOV-UDO, por sus invaluable contribuciones en la obtención y confiabilidad de la data. A C. Villarroel (IUT-Cumaná) por el diseño gráfico. A los Brs. S. Aranda, O. Mudarra y C. Márquez por su valiosa ayuda logística. A la Compañía Petrolera CORPOVEN, por el aporte prestado y factibilidad en la obtención y utilización de la data y a todas aquellas personas que, de una u otra forma, hicieron posible la realización de esta investigación.

ESPACIOS DÉBILMENTE COMPACTOS

GUTIÉRREZ, JAIME

Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias Naturales
Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá.

RESUMEN

El objetivo de estas notas es examinar la posibilidad de medir la compacidad de un espacio topológico (X, τ) a través de los ideales maximales del anillo de las funciones continuas definidas sobre X con valores en \mathbb{C} .

PALABRAS CLAVES

Compacidad, Espacios débilmente compactos, Ideales maximales.

INTRODUCCIÓN

A partir de los trabajos de Silvera (1997) nos hemos interesado, de forma especial, en la Teoría de Compacidad y temas relacionados. En particular, estudiamos condiciones suficientes para garantizar la compacidad a partir de propiedades más débiles.

La caracterización de los ideales maximales de un anillo arbitrario puede resultar poco sencilla. El resultado enunciado a continuación generaliza un problema considerado difícil por Herstein (1976).

Teorema:

Sean $X = [0,1]$ el intervalo unitario cerrado, y $C(X, \mathbb{R})$ el anillo de las funciones definidas y continuas sobre X con valores en \mathbb{R} . Para cada $x \in X$, consideramos $I(x) = \{ f \in C(X, \mathbb{R}) / f(x) = 0 \}$. Resulta que $I(x)$ es un ideal maximal de $C(X, \mathbb{R})$. Además si I es un ideal propio de $C(X, \mathbb{R})$, entonces, existe $x \in X$ tal que $I \subseteq I(x)$. Como corolario del teorema, tenemos que todo ideal maximal de $C(X, \mathbb{R})$ es del tipo $I(x)$ para algún $x \in X$.

Este artículo contiene una generalización del teorema, tomando como X cualquier espacio topológico compacto y reemplazando \mathbb{R} por \mathbb{C} . Además, se discute la necesidad de la compacidad del espacio para la validez del teorema, y se dan condiciones que garantizan la equivalencia entre la caracterización dada de los ideales maximales y la compacidad del espacio topológico.

DISCUSIÓN

Para facilitar la formulación de algunos enunciados, introducimos la definición siguiente:

Definición 1:

Un espacio topológico (X, τ) es débilmente compacto, si, y sólo si, todo ideal propio del anillo de las funciones continuas $C(X, \mathbb{C})$ está incluido en un ideal del tipo $I(x) = \{f \in C(X, \mathbb{C}) / f(x) = 0\}$, para algún $x \in X$. El resultado central de este artículo, generalización del teorema anterior, está contenido en la siguiente proposición y justifica la denominación débilmente compacto.

Proposición 1:

Todo espacio topológico compacto es débilmente compacto.

Demostración:

Sea I un ideal propio de $C(X, \mathbb{C})$. Si $I = \{0\}$ la afirmación es trivial. Supongamos que $I \neq \{0\}$. Para cada $f \in I$ consideramos $A_f = \{x \in X / f(x) = 0\}$. Como cada $f \in I$ es continua, resulta que A_f es un subconjunto abierto de X . Supongamos que

$$X = \bigcup_{f \in I} A_f.$$

Como X es compacto, existen $f_1, f_2, \dots, f_n \in I$ tales que

$$X = \bigcup_{i=1}^n A_{f_i}$$

Consideremos la función

$$f = \sum_{i=1}^n |f_i|^2$$

Es claro que $f \in I$, además para cada $x \in X$, existe $1 \leq j \leq n$ tal que $x \in A_j$ luego $f_j(x) \neq 0$, por lo tanto

$$f(x) = \sum_{i=1}^n f_i(x)^2 \neq 0, \text{ para cada } x \in X.$$

Esto implica que la función $f \in I$ es un elemento inversible del anillo $C(X, \mathbb{C})$ y por lo tanto $I = C(X, \mathbb{C})$, lo que contradice que I es un ideal propio de $C(X, \mathbb{C})$. Luego

$$X \not\subseteq \bigcup_{f \in I} A_f$$

con lo cual, existe $x \in X$ tal que $\forall f \in I, x \notin A_f$. Es decir, existe $x \in X$ tal que $\forall f \in I, f(x) = 0$, esto es $I \subseteq I(x)$.

Si el espacio (X, τ) es completamente regular, además de compacto, resulta que la correspondencia $x \rightarrow I(x)$, de X en el conjunto de los ideales maximales de $C(X, \mathbb{C})$, es biyectiva.

Corolario:

Sean (X, τ) un espacio topológico compacto y $C(X, \mathbb{C})$ el anillo de las funciones continuas definidas sobre X con valores en \mathbb{C} . Entonces, dado un ideal maximal I de $C(X, \mathbb{C})$, existe $x \in X$ tal que

$$I = I(x) = \{ f \in C(X, \mathbb{C}) / f(x) = 0 \}.$$

La demostración depende esencialmente del hecho de que, en un anillo unitario, todo ideal propio está contenido en un ideal maximal (Mutafian, 1980). En realidad, la Proposición 1 y su Corolario son equivalentes.

Ejemplo 1:

Consideramos (\mathbb{R}, τ) , donde τ es la topología usual de la recta real, Sea I el ideal de $C(\mathbb{R}, \mathbb{C})$ formado por las funciones de soporte compacto. Entonces I es un ideal no primo de $C(\mathbb{R}, \mathbb{C})$, por lo tanto no maximal. Para cada $\varepsilon > 0$ existe una función continua $f_\varepsilon : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$ tal que: $\forall x \in \mathbb{R}, f_\varepsilon(x) = 0$, si y sólo si, $x \notin \{ y \in \mathbb{R} / -\varepsilon < y < \varepsilon \}$. El soporte de f_ε es el intervalo cerrado $[-\varepsilon, \varepsilon] = \{ y \in \mathbb{R} / -\varepsilon \leq y \leq \varepsilon \}$, con lo cual $f_\varepsilon \in I$. Consideremos, para cada $f \in I, B_f = \{ x \in \mathbb{R} / f(x) = 0 \}$. Es claro que si $f \in I$, entonces $B_f \neq \emptyset$. Además,

$$\bigcap_{f \in I} B_f \subseteq \bigcap_{\varepsilon > 0} B_{f_\varepsilon} = \emptyset.$$

Por lo tanto, dado $x \in \mathbb{R}$ existe $f \in I$ tal que $x \notin B_f$ Luego $f(x) \neq 0$, así $I \not\subseteq I(x), \forall x \in \mathbb{R}$. Este ejemplo muestra que la condición de compacidad es necesaria en la Proposición 1.

Ejemplo 2:

Sean X un conjunto infinito y $p \in X$. Sobre X consideramos la topología τ_p , dada por $\tau_p = \{A \subseteq X / p \in A\} \cup \{\emptyset\}$. Resulta que (X, τ_p) es un espacio topológico no compacto y que las funciones continuas definidas sobre X son constantes. Por lo tanto $C(X, \mathbb{C}) \cong \mathbb{C}$, y su único ideal maximal es el ideal nulo $\{0\}$. Es inmediato entonces que (X, τ_p) es débilmente compacto, pero no compacto.

La siguiente proposición provee una condición suficiente para que un espacio débilmente compacto sea compacto.

Proposición 2:

Sea (X, τ) un espacio topológico débilmente compacto. Supongamos que para todo abierto, no vacío, A de X , $A \neq X$, existe una función continua $f_A : X \rightarrow \mathbb{C}$ tal que $\{x \in X / f_A(x) = 0\} = X \setminus A$. Entonces (X, τ) es compacto.

Demostración:

Sea $\{A_i\}_{i \in I}$ una familia de abiertos de X tal que

$$X = \bigcup_{i \in I} A_i$$

Podemos suponer que, $\forall i \in I, A_i \neq \emptyset$ y $A_i \neq X$. Resulta que para cada $i \in I$, existe $f_{A_i} \in C(X, \mathbb{C})$, tal que $\{x \in X / f_{A_i}(x) = 0\} = X \setminus A_i$. Consideremos el ideal J generado por la familia de funciones continuas $\{f_{A_i}\}_{i \in I}$. Asumamos que J es un ideal propio. Como (X, τ) es débilmente compacto, existe $x \in X$ tal que $J \subseteq \tilde{I}(x)$. Por lo tanto, para todo $i \in I$, $f_{A_i}(x) = 0$. Esto implica que $\forall i \in I, x \notin A_i$, lo cual es contradictorio. Por consiguiente $J = C(X, \mathbb{C})$. Podemos entonces garantizar la existencia de una cantidad finita de abiertos $A_{i(1)}, A_{i(2)}, \dots, A_{i(k)}$, y de funciones $g_{i(1)}, g_{i(2)}, \dots, g_{i(k)} \in C(X, \mathbb{C})$, tales que

$$1 = \sum_{j=1}^k g_{i(j)} f_{A_{i(j)}}$$

Afirmamos que

$$X = \bigcup_{j=1}^k A_{i(j)}$$

En efecto, sea $x \in X$ tal que $x \notin A_j(\emptyset), \forall j = 1, 2, \dots, k$. Entonces,

$$1 = 1(x) = \sum_{j=1}^k g_{i_j} f_{A_j}(x) = 0,$$

lo cual es un absurdo. Demostramos así nuestra afirmación y con ella la compacidad del espacio topológico (X, τ) .

Corolario 2:

Un espacio métrico es compacto, si y sólo si, es débilmente compacto.

Demostración:

Es inmediato, pues todo espacio métrico posee la propiedad enunciada en la Proposición 2.

Ejemplo 3:

Sean X un conjunto, no vacío y A un subconjunto propio, no vacío de X . Entonces $\tau = \{ \emptyset, X, A, X \setminus A \}$ es una topología sobre X y el espacio (X, τ) es compacto, por lo tanto débilmente compacto. Además, posee la propiedad enunciada en la Proposición 2, pero no es siempre un espacio topológico metrizable.

El ejemplo 3 pone de manifiesto que la tesis del Corolario 2 no es sólo válida para espacio metrizable.

SUMMARY

In this paper we examine the possibility of measuring the compactness of a topological space X through the maximal ideal of the rings of continuous complex-valued functions on X .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HEINRICHSEN, D. y FERNÁNDEZ, J. 1977. **Topología General**. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación. 494 pp.

HERTEIN, I. 1976. **Álgebra Modern**. México: Editorial Trillas. 392 pp.

MUTAFIAN, C. 1980. **Campos y Teoría de Galois**. México: C.E.C.S.A. 381 pp.

SILVERA, L. 1997. **Aspectos históricos y didácticos sobre el concepto de compacidad**. Tesis de Maestría, Universidad de Panamá, Panamá. 95 pp.



VALORES PROPIOS DE LA MATRIZ DE VARIANZA, COVARIANZA MUESTRAL Y SU DISTRIBUCIÓN

CARRASCO, GONZALO Y MEJÍA C., AURORA

Departamento de Estadística,
Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Universidad de Panamá.

RESUMEN

En este trabajo se obtuvo la distribución asintótica de los valores propios generados por la matriz de varianza covarianza muestral, a través del Teorema Central del Límite.

PALABRAS CLAVES

Valores propios, descomposición espectral, distribución Wishart, convergencia en probabilidad, convergencia en distribución.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo obtener la distribución de los valores propios de la matriz de varianza covarianza muestral.

Para iniciar el trabajo fue necesario definir la descomposición espectral, la cual relaciona la matriz ortonormal de vectores propios y la matriz de valores propios. Se define, además, la distribución Wishart centrada de una matriz de datos multivariados.

Se muestran, además, algunos resultados importantes, entre los cuales tenemos la distribución de la suma de matrices que sigue una distribución Wishart y la distribución de la matriz de varianza covarianza muestral.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Definición 1 (Matriz de Valores Propios):

Sea X_{pxn} una matriz de datos multivariados, con matriz de varianza covarianza Σ , donde para cada $1 \leq \alpha \leq n$, cada columna X_α de X_{pxn} corresponde al α -ésimo vector aleatorio de orden $px1$ y L una matriz ortonormal donde para cada $1 \leq i \leq p$, cada columna l_i corresponde a un vector propio de orden $px1$ de Σ y tal que:

$$L' \Sigma L = \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ 0 & & & \lambda_p \end{bmatrix} \text{ con } \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$$

Llamaremos a los λ_i , $1 \leq i \leq p$, valores propios de Σ , y a Λ la matriz de valores propios de Σ .

Definición 2 (Descomposición Espectral):

Sea Σ_{pxp} una matriz simétrica con valores propios λ_i para cada $1 \leq i \leq p$ y L la matriz ortonormal cuyas columnas l_i son los vectores propios de Σ . Definiremos la descomposición espectral de Σ como:

$$\Sigma = L \Lambda L'$$

Definición 3 (Distribución Wishart Centrada):

Diremos que una matriz M_{pxp} sigue una distribución Wishart centrada, que denotaremos $W_p(\Sigma, n)$, si y solo si, existe una matriz de datos multivariados X_{pxn} que sigue una distribución normal:

$$X \sim N(0, I \otimes \Sigma) \text{ y tal que } M = XX'$$

Proposición 1:

Sea $\{M_i\}_{i=1}^q$ una familia finita de matrices aleatorias mutuamente independientes, tales que, para cada $1 \leq i \leq q$, $M_i \sim W_p(\Sigma, n_i)$ entonces:

$$\sum_{i=1}^q M_i \sim W_p(\Sigma, n) \text{ donde } n = \sum_{i=1}^q n_i$$

- Demostración

Sea $\{M_i\}_{i=1}^q$ una familia finita de matrices aleatorias mutuamente independientes, tales que, para cada $1 \leq i \leq q$, $M_i \sim W_p(\Sigma, n_i)$. Entonces para cada $1 \leq i \leq q$, existe una matriz aleatoria, X_i , de orden $p \times n_i$ que sigue una distribución normal

$$X_i \sim (0, I \otimes \Sigma) \text{ y tal que } M_i = X_i X_i'$$

Si para $1 \leq i \leq q$ y $1 \leq \alpha \leq n_i$, X^α corresponde a la α -ésima columna de X_i entonces:

$$X^\alpha \sim N(0, \Sigma)$$

Consideremos ahora $\sum_{i=1}^q M_i = \sum_{i=1}^q X_i X_i'$ y como para cada $1 \leq i \leq q$

$$X_i X_i' = \sum_{\alpha=1}^{n_i} X^\alpha X^{\alpha'}$$

Renumerando las columnas de las matrices X_i , con $1 \leq i \leq q$, de la siguiente manera:

para cada $\sum_{j=1}^{i-1} n_j \leq \alpha \leq \sum_{k=1}^i n_k$ X^α corresponde a la $(\alpha - \sum_{j=1}^{i-1} n_j)$ -ésima

$$\begin{aligned} \text{columna de } X_i, \text{ tendremos } \sum_{i=1}^q M_i &= \sum_{i=1}^q \sum_{\substack{\alpha=1 \\ \alpha=\sum_{j=0}^{i-1} n_j}}^{\sum_{k=1}^i n_k} X^\alpha X^{\alpha'}, \text{ donde } n_0=1 \\ &= \sum_{\alpha=1}^n X^\alpha X^{\alpha'} \text{ donde } n = \sum_{i=1}^q n_i \end{aligned}$$

Como además M_1, M_2, \dots, M_q son mutuamente independientes, entonces para cada $1 \leq i \leq q$ las matrices aleatorias X_i son mutuamente independientes lo que corresponde afirmar que, para cada $1 \leq \alpha \leq q$ los X^α son mutuamente independientes y $X^\alpha \sim N(0, \Sigma)$.

Consideremos la matriz aleatoria $X_{p \times n}$ tal que X^α corresponde a la α -ésima columna de X , entonces $X \sim N(0, I \otimes \Sigma)$, por lo tanto,

$$\sum_{i=1}^q M_i = X X' \sim W_p(\Sigma, n)$$

Proposición 2:

Sean $X_{p \times n}$ una matriz de datos multivariados, tal que $X \sim N(0, I \otimes \Sigma)$, $B_{n \times n}$ una matriz ortonormal con su última fila igual a

$$\sqrt{n} (1, \dots, 1), Z = XB' \text{ y } A = XX' - n \bar{X} \bar{X}', \text{ entonces:}$$

- La última columna de Z es igual $Z_n = \sqrt{n} \bar{X}$
- $A = Z^* Z^{*'}$ donde Z^* es una matriz de orden $p \times n-1$.
- $S = 1/(n-1) A$ es un estimador insesgado de Σ .

- Demostración

Sean $X \sim N(0, I \otimes \Sigma)$, y $B_{n \times n}$ la matriz ortonormal tal que:

$$b_n = (1/\sqrt{n}) (1, 1, \dots, 1)$$

Tenemos que; $XX' = ZZ'$ (Anderson, 1958, pág. 52).

Además como $Z = XB'$ tenemos que la n -ésima columna de Z estará dada por:

$$Z_n = \sqrt{n} \bar{X}, \text{ lo que demuestra (a).}$$

$$\text{Luego, } Z_n Z_n' = n \bar{X} \bar{X}'$$

$$\text{Como } A = XX' - n \bar{X} \bar{X}'$$

$$\text{entonces } A = XX' - n \bar{X} \bar{X}'$$

$$= ZZ' - Z_n Z_n'$$

$$= \sum_{\alpha=1}^n Z_{\alpha} Z_{\alpha}' - Z_n Z_n'$$

$$= \sum_{\alpha=1}^{n-1} Z_{\alpha} Z_{\alpha}'$$

$$= Z^* Z^{*'} \text{ lo que prueba (b)}$$

Por otro lado, como $Z = XB'$ y $X \sim N(0, I \otimes \Sigma)$, entonces $Z \sim N(0, I \otimes \Sigma)$ y en particular, $Z^* \sim N(0, I \otimes \Sigma)$.

Además, como $1/n A$ es un estimador de máxima verosimilitud de Σ (Anderson, 1958, pág. 48), veamos que $S = 1 / (n - 1) A$ es un estimador insesgado de Σ .

$$\begin{aligned} \text{Como } \hat{\Sigma} &= 1/n A \\ &= 1/n Z^*Z^{*'} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Entonces, } E(\hat{\Sigma}) &= E(1/n A) \\ &= 1/n E(Z^*Z^{*'}) \\ &= 1/n (\text{Tr } I) \Sigma \quad (\text{Mejía, 1986, pág. 9}) \\ &= n-1 / n \Sigma \end{aligned}$$

luego, un estimador insesgado de Σ es:

$$\begin{aligned} n/n-1 \hat{\Sigma} &= n/n-1 * 1/n A \\ n/n-1 \hat{\Sigma} &= 1/n-1 * A \\ &= S \end{aligned}$$

lo cual verifica (c)

- Consecuencia

Si $A = Z^*Z^{*'}$ con $Z \sim N(0, I \otimes \Sigma)$, entonces $(n-1)S \sim W_p(\Sigma, n-1)$ y por ende $A \sim W_p(\Sigma, n-1)$.

Proposición 3:

Sean $\Sigma_{p \times p}$ una matriz definida positiva con valores propios distintos, $A \sim W_p(\Sigma, n-1)$, $U = (n-1)^{-1} A$, $\Sigma = L \Lambda L'$ y $U = G D G'$ la descomposición espectral de Σ y U , respectivamente, y finalmente λ y d dos vectores de orden $p \times 1$ de elementos de la diagonal de Λ y D , respectivamente.

Entonces $d \sim N_p(\lambda, 2/(n-1) \Lambda^2)$ esto es, los valores propios de U son asintóticamente normales, insesgados, mutuamente independientes y para cada $1 \leq i \leq p$, la varianza de d_i es igual a $2 \lambda_i^2 / n-1$.

- Demostración

Sea Σ una matriz definida positiva cuyos valores propios distintos son los elementos de la matriz diagonal Λ . Consideramos la matriz A , dada por, $A = Z^*Z^{*'}$, donde

$$Z^* \sim N_{px(n-1)}(0, I \otimes \Sigma)$$

luego, $A \sim W_p(\Sigma, n-1)$.

Definimos $M = L' A L$, entonces $M \sim W_p(\Lambda, n-1)$, pues $\Sigma = L \Lambda L'$ y Λ es la matriz de valores propios de Σ . Tomando $U = (n-1)^{-1} M$ tendremos:

$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad E(U) &= E((n-1)^{-1} M) \\ &= E((n-1)^{-1} L' A L) \\ &= L' E(S) L \\ &= L' \Sigma L \\ &= \Lambda \end{aligned}$$

Además, la matriz de covarianza de U esta dada por:

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad V(U) &= \text{Tr } I_{n-1} (\Lambda \otimes \Lambda + \Lambda \overset{\circ}{\otimes} \Lambda) \text{ (Mejía, 1986, pág. 13)} \\ &= 1/(n-1)(\Lambda \otimes \Lambda + \Lambda \overset{\circ}{\otimes} \Lambda) \end{aligned}$$

De (a) y (b) tenemos que:

$$\begin{aligned} E(u_{ii}) &= \lambda_i \text{ para cada } 1 \leq i \leq p \\ E(u_{ij}) &= 0 \text{ para cada } 1 \leq i, j \leq p \text{ } i \neq j \\ V(u_{ii}) &= 2/(n-1) \lambda_i^2 \text{ para cada } 1 \leq i \leq p \\ V(u_{ij}) &= 1/(n-1) \lambda_i \lambda_j \text{ para cada } 1 \leq i, j \leq p \text{ } i \neq j \\ \text{COV}(u_{ii}, u_{jj}) &= 0 \text{ para cada } 1 \leq i, j \leq p \text{ } i \neq j \end{aligned}$$

Por proposición 1, M puede ser representada como la suma de $n-1$ matrices independientes $W_p(\Lambda, 1)$. Luego, si consideramos el vector aleatorio $u' = (u_{11}, u_{22}, \dots, u_{pp})$ con vector de media $\lambda' = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ y matriz de covarianza $2/n-1 \Lambda^2$, aplicando el teorema central del límite tenemos que:

$$\begin{aligned} &D(\text{Convergencia en distribución}) \\ (n-1)^{1/2} (u - \lambda) &\rightarrow N_p(0, 2 \Lambda^2) \text{ (Mardia } et al., 1979, \text{ pág. 231)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &D(\text{Convergencia en distribución}) \\ (n-1)^{1/2} u_{ij} &\rightarrow N_p(0, \lambda_i \lambda_j) \text{ para } 1 \leq i, j \leq p, i \neq j \text{ (Mardia } et al., 1979, \text{ pág. 231)} \end{aligned}$$

luego $u = \lambda + Op((n-1)^{-1/2})$ y $u_{ij} = Op((n-1)^{-1/2})$.

Por lo que las raíces $l_1 > l_2 > \dots > l_p$ del polinomio $|U - dI|$ convergen en probabilidad a las raíces $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$ del polinomio $|\Lambda - dI|$; esto es

$$u - d \xrightarrow{p \text{ (convergencia en probabilidad)}} 0$$

de aquí que:

$$(n-1)^{1/2}(d - \lambda) = (n-1)^{1/2}(u - \lambda) + O_p((n-1)^{-1/2}) \xrightarrow{D \text{ (convergencia en distribución)}} N_p(0, 2 \Lambda^2)$$

de donde abusando del lenguaje tendremos que:

$$l \sim N_p(\lambda, 2/(n-1) \Lambda^2)$$

CONCLUSIÓN

1. La suma de matrices que siguen una distribución Wishart se distribuye como Wishart.
2. La matriz de varianza covarianza muestral sigue una distribución Wishart, esto es $(n-1)S \sim W_p(\Sigma, n-1)$.
3. La distribución de la matriz D resulta ser asintóticamente normal, con matriz de media Λ , luego D es un estimador insesgado de Λ .
4. Los valores propios sintetizan la variabilidad de los datos originales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, T.W. 1958. *An Introduction multivariate analysis*. Nueva York: J. Willey and Sons Inc. 374 pp.

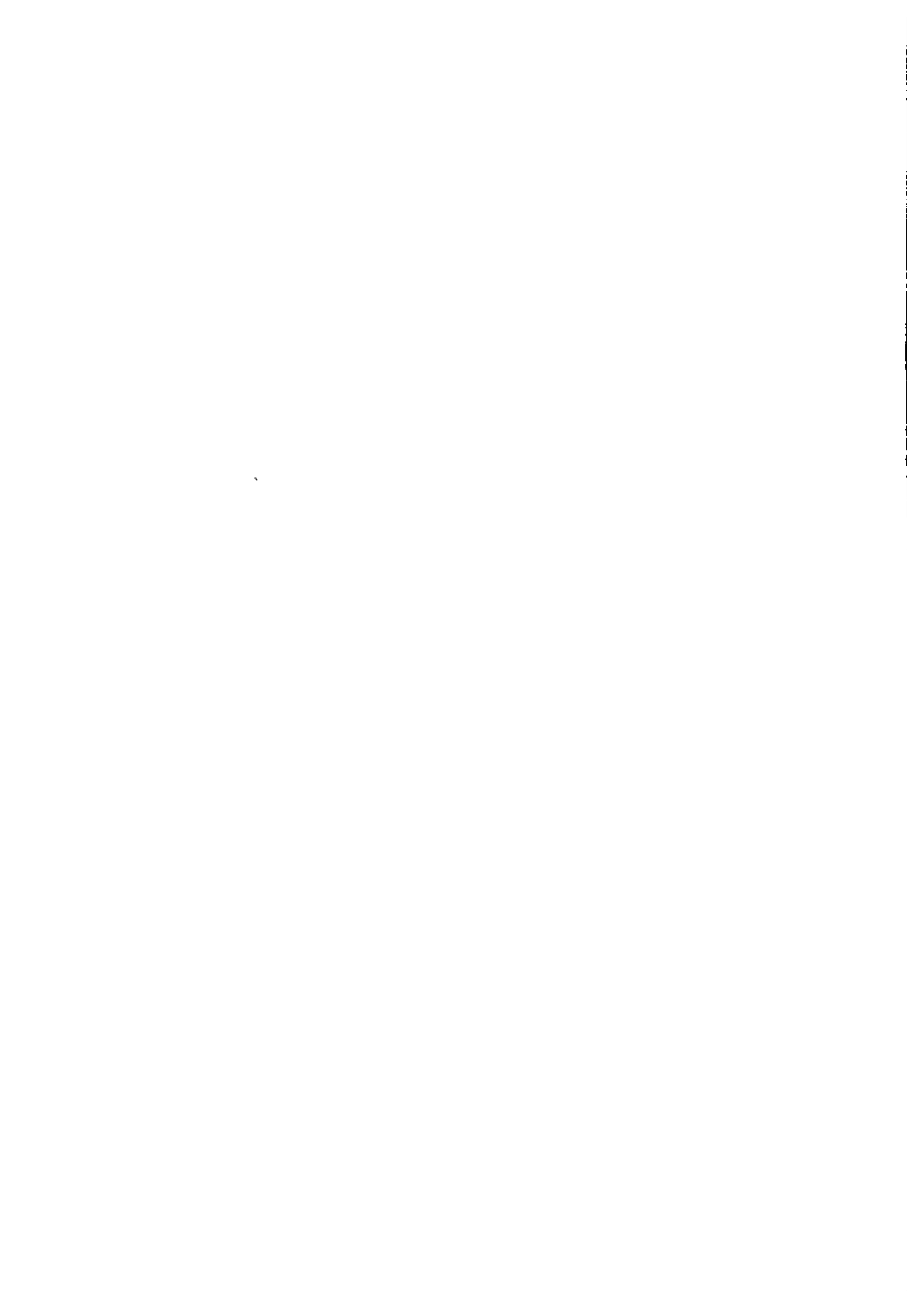
JOHNSON, R. y WICHERN, D. 1982. *Applied multivariate statistical analysis*. Nueva Jersey: Prentice Hall Inc. 574 pp.

MARDIA, K.V., KENT, I.T. y BIBBY, J.M. 1979. *Multivariate analysis*. Londres: Academic-Press. 521 pp.

MEJÍA, A. 1986. *Aspectos de la distribución Wishart en estadística multivariada*. Tesis de Maestría, Departamento de Estadística, Universidad de Panamá, Panamá. 81 pp.

MORRISON, D.F. 1976. *Multivariate statistical methods*. Nueva York: McGraw-Hill. 415 pp.

SISTACHS, V., ACOSTA, L. y LINARES, G.I. 1986. *Estadística multivariada*. La Habana: Universidad de La Habana. 320 pp.



SOBRE EL NIVEL JERÁRQUICO DEL RASGO DE LATERALIDAD

HIM FÁBREGA, RODRIGO

Departamento de Español, Facultad de Humanidades,
Universidad de Panamá.

RESUMEN

El artículo busca determinar, mediante la aproximación de la Geometría de Rasgos (Clements, 1985), la línea de asociación básica para la colocación de [lateral] dentro de la jerarquía de valores fonológicos. La discusión aporta una revisión de propuestas anteriormente formuladas por el autor.

PALABRAS CLAVES

Geometría de Rasgos, lateralidad, Modo de Articulación, subespecificación, sonancia, segmentos líquidos, segmentos continuos.

INTRODUCCIÓN

Este artículo se refiere al problema de la asignación jerárquica de la especificación de lateralidad en las configuraciones de la geometría de rasgos fonológicos. Consiste en una revisión de la propuesta que se formuló en Him (1995). La discusión involucra un tema importante que fue examinado inadecuadamente en el trabajo citado, y en esa medida es oportuna. Sin embargo, no parece que los puntos medulares de ese estudio se vean afectados por los comentarios que siguen, puesto que en su mayor parte no dependen de la consideración del valor jerárquico del rasgo de lateralidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Lateral como Modo o como Lugar de Articulación:

Con respecto al rasgo en cuestión, en la literatura figuran las tres hipótesis de asignación jerárquica que se caracterizan en (1).

- (1) a. El rasgo depende de la especificación positiva de [continuo].
- b. Se desprende del nodo de coronalidad.
- c. Está dominado directamente por el nodo de Lugar.

La hipótesis (1a) es la que se defiende en la sección 6.1 de Him (1995). La (1b) refleja el tratamiento de trabajos como los de Archangeli y Pulleyblank (1989) y Myers (1991), mientras que la (1c) forma parte de la aproximación de Akinlabi (1993).

Los argumentos que se enumeran en la sección 6.1 de Him (1995) para preferir el de (1a) sobre los otros análisis de (1) son, en realidad, más débiles de lo que allí se sugiere. La idea principal, que concuerda con un punto de vista ya expresado en Trubetzkoy (1939/1970), consiste en hacer de [lateral] una especificación supeditada al valor general de Modo de Articulación, y parece que puede mantenerse en lo esencial. Pero lo mismo no es aplicable a la declaración según la cual el análisis de (1a) se ve favorecido porque logra dar cuenta de la correlación universal que vincula los atributos [+continuo] y [lateral]. Tal correlación, en efecto, nunca ha sido establecida sobre bases suficientemente sólidas. Otro aspecto que está sujeto a revisión es la supuesta independencia de [lateral] con respecto al rasgo de sonorancia. La discusión que sigue enfocará en particular estas dos cuestiones.

Relaciones entre [continuo] y [lateral] (R/CL, en adelante):

La forma en que se interrelacionan los rasgos de continuidad y lateralidad ha sido el objeto de una disputa bien documentada (véase Contreras y Lleó 1982:30). Sus comienzos se remontan al menos a los reparos formulados en el capítulo 7, sección 5.1, de Chomsky y Halle (1968/1979; SPE, en adelante) contra el análisis seminal de Jakobson, en el que las vibrantes y las laterales son diferenciadas por virtud de especificarse como segmentos no continuos y continuos, respectivamente (cfr. Jakobson y Halle 1956/1967:42). Sin adoptar una posición definitiva en lo que concierne a esta asignación de valores, en SPE se sugiere que las especificaciones deberían conmutarse (de modo que sea [+lateral] el rasgo que coaparece con [-continuo]). Como era de esperarse, tanto el análisis de Jakobson (cfr. Alarcos 1968:179), como el de SPE (cfr. Harris 1974:32, 59), se encuentran reflejados en trabajos clásicos de la fonología española.

Es importante notar que los dos tratamientos discutidos, antes que garantizar una vinculación necesaria entre [+continuo] y [lateral], la rechazan. En tal sentido, la propuesta ofrecida en (1a) se presenta como inédita, y en abierta oposición a las anteriores, porque se sostiene sobre el presupuesto de una correlación que, contrariamente a lo que se afirma en Him (1995), está lejos de haber sido fundamentada a cabalidad.

En defensa del análisis de (1a), se podría decir que los argumentos que se esgrimen en apoyo de la aproximación de Jakobson, por un lado, o de la

de SPE, por otro, no son concluyentes. Así, contra la afirmación de que son las vibrantes los segmentos interrumpidos cabe oponer las objeciones que se formulan en SPE mismo. Una vez que tales objeciones son admitidas, el problema que confronta (1a) se reduce a la tarea de suministrar una respuesta apropiada para el hecho de que bajo ciertas condiciones la líquida [l] parece comportarse como un segmento no continuo.

Se trata de fenómenos como los siguientes:

- (i) En español, las obstruyentes sonoras, representadas por apego a la tradición como /b, d, g/, se realizan regularmente como espirantes en el interior de las locuciones. Esto no se cumple, sin embargo, cuando siguen a nasales homorgánicas. Además, /d/ (y sólo /d/) es oclusiva cuando sigue a [l]. Tal distribución de valores es explicable si se admite que la lateral no es continua. Propiamente, según ello, dentro de las locuciones las obstruyentes sonoras del español son espirantes, excepto cuando siguen a sonantes homorgánicas no continuas (Harris 1974:59s.).
- (ii) En ciertos dialectos del inglés localizados en Escocia (SPE: sección 5.1) se encuentran diptongos relajados y tensos delante de no continuas y de continuas, respectivamente. Estos condicionamientos se manifiestan en el dominio de las líquidas de acuerdo con un patrón que asocia [l] con las no continuas y [r] con las continuas. La distribución de los diptongos en la cercanía de las líquidas se obtiene directamente de asignarles a la vibrante el valor positivo de la especificación de continuidad, y a la lateral el valor opuesto.

Como se ha indicado atrás, a despecho de que no es ajeno a datos como los que se acaba de registrar, la posición de SPE en lo concerniente a la caracterización de [l] es ambivalente. La razón es que otros fenómenos parecen apuntar en la dirección contraria. Un ejemplo de esto lo proporciona el chipewyano (una de las lenguas atabascanas del Canadá). En esta lengua, el criterio de simetría lleva a la suposición de que [l] ha de ser un segmento continuo. Así se asegura efectivamente que a la serie de sonidos no laterales de (2a) le corresponda punto por punto la serie de laterales de (2b). (L representa una lateral sorda; la marca ^, colocada detrás de un símbolo de segmento, señala de manera explícita la condición de espirante de su porción final; los tres primeros segmentos de (2a) son africados).

- (2) a. c^ j^ c^l s^ z^
 b. tL dL tL' L l

Nótese que en (2b), a las laterales africadas se las representa con un primer símbolo que da expresión a la parte no continua inicial de cada segmento, mientras que el símbolo de la lateral sorda denota la porción continua final. Además, las laterales no africadas /L, l/ han de ser continuas para que se correspondan con las fricativas /s^, z^/ de (2a).

Las propiedades discordantes de datos como los que se revisan arriba insinúan que el valor de continuidad de los segmentos líquidos (y en particular, el de [l]) puede estar fijado en términos de las condiciones particulares de cada sistema lingüístico. De acuerdo con ello, mientras que en español las laterales se especificarían negativamente, en chipewyano recibirían el signo positivo para el rasgo de continuidad. Obviamente, el adoptar este punto de vista obliga a una reconsideración de la estructura que se despliega en (3), equivalente a la (32) de Him (1995:sección 6.1).

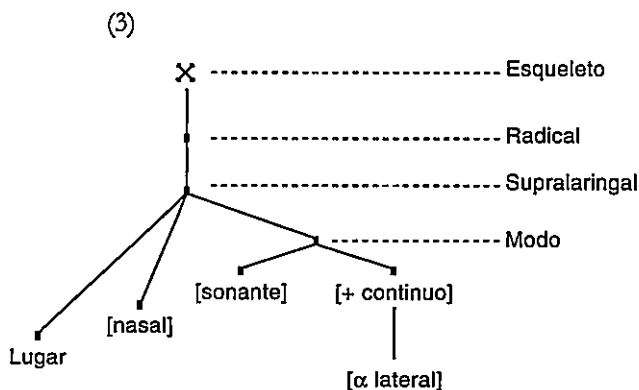


Figura 1.
Línea de asociación constante para [lateral].

Una forma de hacerlo, sin alterar las líneas de dominación jerárquica, consiste en extender el recurso notacional de las variables griegas para aplicarlo también al rasgo de continuidad, tal como se muestra en (4).

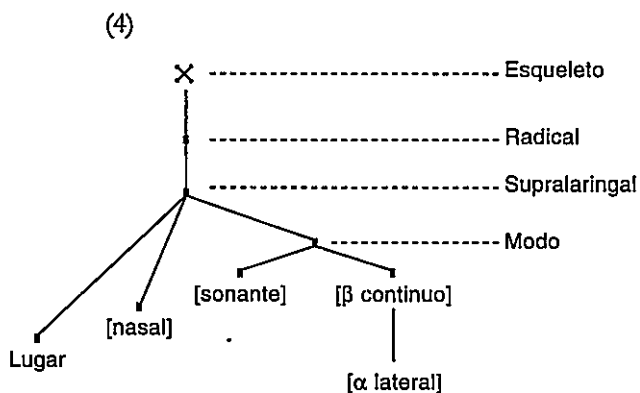


Figura 2.
Línea de asociación variable para [lateral].

Dado (4), se tendría entonces que en español β varía en función del valor que se le adjudica a α (más precisamente, $\beta = -\alpha$). Pero en chipewyano β obtiene el valor positivo de manera constante, justo como se indica en (3).

Sonancia y lateralidad:

La representación (4) indica una de las direcciones que se pueden recorrer con el propósito de ajustar la propuesta ofrecida en Him (1995: sección 6.1). En (1b-c) se formulan dos alternativas que tienen consecuencias algo más radicales, en la medida en que exigen asignaciones geométricas distintas para el rasgo de lateralidad. La misma observación se le aplica a la propuesta según la cual dicho rasgo se encuentra bajo la dominación de la especificación de sonancia, tal como se muestra abajo en la representación (5).

Esta estructura, propiamente, nos introduce en la segunda cuestión planteada al final de la sección 2 de este artículo, a saber: la de la supuesta independencia, entrañada por el esquema dado en (3), del rasgo de lateralidad con respecto al de sonancia.

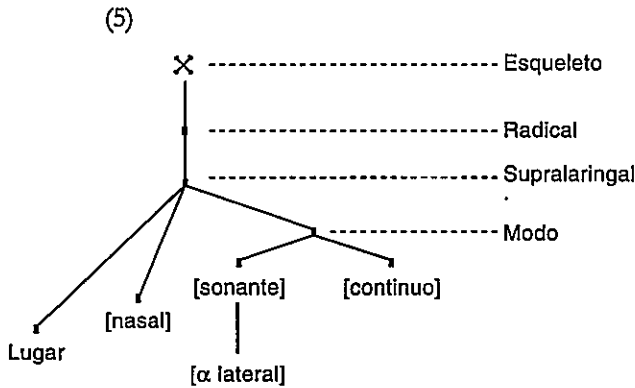


Figura 3.
Atribución de [lateral] al modo de sonancia.

La razón que se ofrece en Him (1995) para invalidar una representación como la de (5) se limita a la mera constatación de que existen lenguas que poseen líquidas no sonantes (esto es, laterales o vibrantes obstruyentes). Un análisis más reposado del asunto, sin embargo, revela que el argumento es endeble en dos sentidos que se complementan. En primer lugar, las laterales obstruyentes constituyen una posibilidad marcada de los sistemas fonológicos (Trubetzkoy 1939/1970 157s., SPE:Cap 9, Calabrese 1995: 419ss.).

En segundo término, representaciones de la especie de la de (5), en realidad, no excluyen tal posibilidad. Dado (5), se podría perfectamente hacer que las líquidas obstruyentes sean especificadas en el nivel fonológico como unidades de tipo [α lateral, -sonante]. Las líquidas normales quedarían meramente como segmentos de tipo [+sonante], con el rasgo de lateralidad sujeto a las condiciones de los atributos subespecificados. Las líquidas obstruyentes se convierten, así, en otro de los fenómenos especiales incluidos en el dominio de la teoría de subespecificación.

Jerarquía y coaparición de propiedades:

Las configuraciones de rasgos ofrecidas en (4) y (5) comparten con el análisis de (1a) la idea central de que [lateral] es una especificación de Modo. Como se ha observado atrás, (4) resulta de alterar mínimamente la hipótesis (1a) con objeto de permitir que el valor de continuidad de las líquidas se establezca de manera distinta en sistemas fonológicos distintos. La discusión que sigue está destinada a demostrar que el análisis de (4) constituye una aproximación implausible para el tratamiento de los problemas que aquí se plantean. La consecuencia inmediata de ello es que, sobre la de (4), ha de ser preferida la configuración que se despliega en (5), junto con el análisis que la soporta.

El punto medular de la cuestión radica en el notable grado de generalidad del rasgo [continuo]: de una manera o de otra (que en ningún caso parece ser un asunto trivial), todos los segmentos lo comparten, independientemente de cuál sea el nivel en que se les asigne en las derivaciones. Esto significa que la razón para admitir la existencia de una correlación de [continuo] con respecto a los sonidos líquidos no es más fuerte que la que se podría aducir para cualquier otro tipo de segmentos. La situación es semejante a la que se encuentra al considerar las propiedades de coaparición del rasgo de sonoridad. Así, pongamos por caso, el hecho de que las nasales sean normalmente sonoras no garantiza que entre los rasgos de [nasal] y [sonoro] haya una determinada dependencia jerárquica. En rigor, no parece recomendable tratar de capturar esa simple observación en virtud de asignaciones configuracionales de la especie de la de (4). En su lugar, es corriente la práctica de expresar la generalización a través de reglas de redundancia.

Considérese, como ilustración adicional, la clase de las espirantes subyacentes del español. De conformidad con una pauta básica, se acepta que todas ellas son sordas. Se admitirá, sin embargo, que a partir de este dato aislado difícilmente se puede argumentar que la condición de elemento espirante (esto es, el conglomerado de propiedades [+continuo, -sonante]) ha de estar supeditada a la especificación negativa del rasgo de sonoridad. La covariación se despacha directamente estipulando la subespecificación del valor de sonoridad de las espirantes.

A la luz de los anteriores comentarios, las afirmaciones de Him (1995) con respecto al carácter continuo de las líquidas españolas pierden casi toda su fuerza. Supóngase que en efecto se da tal correlación. En tal caso, no menos que en el de las espirantes, pueden ser invocados los mecanismos de que dispone la teoría de subespecificación. Aquí, es el valor de continuidad de las líquidas el atributo que estaría sujeto a la aplicación de una regla de redundancia. Nótese que dicho tratamiento, en la circunstancia de que pudiese mantenerse, podría contribuir a dar cuenta de los fenómenos recalcitrantes examinados arriba (en la sección R/CL). Si, de acuerdo con lo que se admite en Him (1995:sección 6.1), la sonante que exhibe subespecificación total en español es [l], se hace comprensi-

ble que tal segmento no esté plenamente capacitado para poner en actividad determinados procesos fonológicos. La regla de asimilación que afecta a las obstruyentes sonoras españolas (que puede ser reformulada ahora para que sea sensible al valor [+continuo] del segmento ubicado en el margen izquierdo de la unidad asimilada) sería uno de estos procesos. Queda por dilucidar, sin embargo, por qué [r] sí logra activar la mencionada regla. La supespecificación parcial de [r] pudiera ser un factor determinante en este asunto, pero para saberlo con alguna certeza se requiere proseguir con la investigación del problema.

Coaparición y proximidad:

A pesar de lo dicho, debe concederse que las relaciones de coaparición son inseparables de las estructuras que se establecen en la geometría de rasgos. En efecto, toda asignación jerárquica determina algún vínculo de coaparición. Lo que en rigor ha mostrado la discusión previa es que la afirmación inversa no es igualmente válida. Esto significa que los vínculos de coaparición actúan como condiciones necesarias, pero no suficientes, en el establecimiento de las asignaciones jerárquicas. Se sigue que, para garantizar la validez de las mismas, la condición de configuración debe ir acompañada por otros factores.

Según lo anterior, si el análisis de (5) es correcto, junto a la mera coaparición de los rasgos de sonancia y lateralidad, debe incluir esos otros factores. Un argumento en apoyo de que éste es el caso se deriva de que la asociación de las propiedades involucradas permite una delimitación precisa y poco costosa de la clase de las sonantes. Por ejemplo, dicho análisis dispone de los mecanismos que se requieren para dar expresión a los contrastes mínimos que se caracterizan en (6).

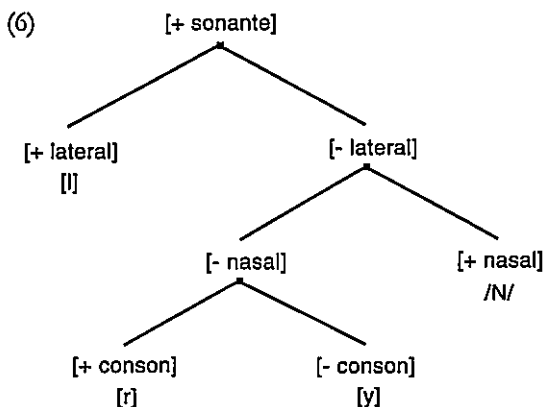


Figura 4.
Rasgos definitorios de una clase de sonantes.

La capacidad de delimitación de la combinación de [continuo] y [lateral] es en este sentido considerablemente menor. Nótese en particular que el complejo [+continuo, -lateral] constituye una clase que en principio es

coextensiva con la del simple [+continuo] (suponiendo, de conformidad con lo que se declara en la sección R/CL, que [l] no es continuo). En la clase correspondiente entrarían al lado de [r], al menos todas las vocales y todas las espirantes. Lo cual revela que las virtudes definitorias de la combinación [α continuo, β lateral] están en realidad muy por debajo de las que se alcanzan a través del emparejamiento [α sonante, β lateral].

Estas observaciones dan espacio para la creencia de que los otros factores a que se ha aludido hace un momento se refieren al nivel de proximidad que existe entre las especificaciones, computado en términos de la capacidad para definir apropiadamente las clases de segmentos, estableciendo los contrastes mínimos que los distinguen.

CONCLUSIÓN

Diversas razones llevan a rechazar la propuesta de jerarquía de rasgos formulada en la sección 6.1 de Him (1995). Tampoco parece viable, como se acaba de mostrar, la versión mínimamente ajustada de (1a) que se despliega en (4). Pero aun así, es posible mantener la idea básica de que el rasgo de lateralidad introduce un atributo (secundario) de Modo de Articulación, adoptando un análisis de la especie del que se ofrece en (5), que por lo demás concuerda con la idea tradicional de que la clase de los segmentos líquidos normales está contenida en la de los sonantes. La misma intuición se le escapa a otros tratamientos discutidos en la literatura (véase (1b) y (1c)), según los cuales [lateral] es una especificación de Lugar. Sobre estas alternativas, por tanto, recae la objeción de que no parecen permitir una caracterización simple y directa de los segmentos sonantes. Además, la aproximación general que les subyace debe hacer frente a la observación de Trubetzkoy (1939/1970:156), de acuerdo con la cual las líquidas quedan fuera de las series de localización en muchas lenguas. Estos son aspectos que decididamente empujan el fiel de la balanza en la dirección del análisis que incorpora a (5).

SUMMARY

This article seeks to determine, under the Feature Geometry approach (Clements 1985), the basic association line for the placement of [lateral] into the hierarchy of phonological values. The discussion adjusts proposals outlined by the author in earlier work.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINLABI, A. 1993. Underspecification and the phonology of Yoruba / r /. *Linguistic Inquiry*, 24,139-60.
- ALARCOS, E. 1968. *Fonología Española*. 4ª Edición Aumentada. Madrid: Gredos.

ARCHANGELI, D. y PULLEYBLANK, D. 1989. Yoruba Vowel Harmony. *Linguistic Inquiry*, 20, 173-217.

CALABRESE, A. 1995. A constraint-based theory of phonological markedness and simplification procedures. *Linguistic Inquiry*, 26, 373-463.

CLEMENTS, G.N. 1985. The Geometry of Phonological Features. *Phonology Yearbook*, 2, 225-252.

CHOMSKY, N. y HALLE, M. 1968/1979. Principios de Fonología Generativa. Madrid: Editorial Fundamentos. (Traducción de *The Sound Pattern of English*. Nueva York: Harper & Ro.).

CONTRERAS, H. y LLEÓ, C. 1982. Aproximación a la Fonología Generativa. Barcelona: Editorial Anagrama.

HARRIS, J. 1974. *Fonología Generativa del Español*. Barcelona: Editorial Planeta.

HIM, R. 1995. Segregación de Planos en Sistemas con Orden Lineal Contrastivo. Universidad de Panamá. (*En manuscrito*).

JAKOBSON, R. y HALLE, M. 1956/1967. *Fundamentos del Lenguaje*. Madrid: Editorial Ciencia Nueva.

MYERS, S. 1991. Persistent rules. *Linguistic Inquiry*, 22, 315-44.

TRUBETZKOY, N.S. 1939/1970. *Principes de Phonologie*. París: Editions Klincksieck.



INSTRUCCIONES PARA LOS COLABORADORES

POLÍTICA

El propósito de la Revista *Scientia* es publicar resultados de investigación originales e inéditas, en ciencias básicas y tecnología. La Revista se reserva el derecho de aprobar o rechazar los trabajos presentados a su consideración. Los originales de los trabajos aprobados permanecerán en los archivos del Editor.

Los trabajos aceptados serán publicados bajo el entendimiento de que el material presentado, o parte del mismo, no ha sido publicado previamente, ni tampoco esté siendo considerado para su publicación en otra revista, siendo los autores los únicos responsables por la exactitud y la veracidad de los datos y afirmaciones presentadas, y también por obtener, cuando el caso lo requiera, los permisos necesarios para la publicación de los datos extraídos de trabajos que ya estén en la literatura.

Todos los manuscritos presentados a la consideración de esta Revista, serán evaluados por especialistas que asesoran al Director y Editor, quienes juzgarán el contenido de los mismos, de acuerdo a su excelencia técnica y a las instrucciones editoriales vigentes.

Los nombres de los evaluadores serán mantenidos en estricta reserva; sin embargo, sus comentarios y recomendaciones serán enviados por el Editor a los autores para su debida consideración. Una vez evaluado el trabajo, le será devuelto a los autores junto con los informes del

Editor y los Evaluadores. El Director se reserva el derecho de introducir modificaciones, cuando lo juzgue conveniente.

La Revista publicará cada dos años un suplemento que contendrá los Índices de Materias y de Autores.

Las galeras serán enviadas a los autores, antes de la impresión final, para que hagan las debidas correcciones.

Los artículos deben estar redactados en idioma español, portugués o inglés. Los artículos redactados en otros idiomas deberán ser consultados con el Consejo Editorial.

Para todas las unidades utilizadas en el trabajo se adoptará el Sistema Internacional de Unidades de acuerdo con el informe publicado por la Organización Mundial de la Salud: **Las Unidades SI para las Profesiones de la Salud**, 1980.

Se espera que los artículos presentados contengan información novedosa y que estos representen una contribución substancial al avance de esa área del conocimiento. La Revista también podrá publicar Notas y Comunicaciones Cortas como una vía rápida de divulgación de resultados recientes de marcada relevancia científica, producto de investigación en curso o terminadas; en estos casos, los autores deben escribir sus resultados en forma de párrafos, manteniendo al mínimo el

uso de figuras, cuadros y subtítulos, sin excederse de 1500 palabras o su equivalente. Su aceptación y publicación final quedan a criterio del Director. Se recomienda reducir al máximo las notas de pie de páginas. Estas deben ser designadas con sobrescritos arábigos en el orden en que aparecen en el texto.

PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

CORRESPONDENCIA

Los manuscritos y toda correspondencia deberán ser dirigidos al Director de la Revista *Scientia*, Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá, Estafeta Universitaria, Panamá, República de Panamá. Tel. 223-9985 y 264-4242.

TEXTO

El texto de los trabajos (incluyendo el resumen, las referencias bibliográficas y las notas, así como los cuadros e inscripciones de las figuras) debe ser presentado en triplicado (originales y 2 copias), escritas mediante el procesador de palabras Microsoft Word e impreso a doble espacio, en tinta negra y en papel bond 22 x 28 cm (8-1/2" x 11"). El margen izquierdo debe ser de 4.0 cm (1.2") y el derecho de 2.5 cm (1") y el inferior de 2.5 cm (1"). Los autores deben indicar en el texto o mediante anotaciones al margen, la localización de las figuras, los cuadros, los esquemas, etc.

En la primera página del artículo debe aparecer: el título en mayúsculas centrado seguido del primer nombre, la inicial y el apellido del autor (o autores) debidamente espaciado del título también centrado. Seguidamente del (los) autor(es) debe aparecer la dirección postal completa de la Unidad Académica o institución donde fue realizado el

trabajo. De ser posible, suministre el teléfono del autor principal por separado. Si la dirección actual de alguno de los autores fuera diferente de la anterior, indíquese en esta página colocando un número sobrescrito sobre el nombre de ese autor y colocando la dirección en una nota de pie. Se entenderá que el primero de los autores mencionados será a quien se le enviará la correspondencia, a menos que se indique lo contrario. Inmediatamente después de la dirección postal debe aparecer el Resumen en español seguido de un mínimo de palabras o frases-claves para el Índice de Materias.

Los subtítulos principales en el texto (v.g. RESUMEN, INTRODUCCIÓN, etc.) se colocarán en el margen izquierdo en mayúscula.

Cualquier otro subtítulo debe colocarse también al margen izquierdo, pero con sólo la primera letra de cada palabra en mayúscula.

Cada página debe ser enumerada e identificada escribiendo el apellido del autor(es) y el año: (D'Croze, 1998); (v.g. Villarreal, 2 de 10).

Las referencias que se mencionan en el texto deben ir entre paréntesis con el apellido del autor(es) y el año (D'Croze, 1998); Torres, Paredes y Averza (1997); (Díaz *et al.*, colaboradores, 1996).

ESTRUCTURACIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito debe estructurarse de la siguiente manera: RESUMEN, PALABRAS O FRASES CLAVES, INTRODUCCIÓN, PARTE EXPERIMENTAL, RESULTADOS y DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN, SUMMARY (resumen en inglés), REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS y AGRADECIMIENTO.

La selección del título conlleva una gran responsabilidad ya que debe reflejar en pocas palabras la esencia del trabajo y debe facilitar la recuperación de la información pertinente a través de sistemas computarizados.

RESUMEN

Todo artículo debe contener un resumen de no más de 200 palabras y debe describir, en forma concisa y precisa, el objetivo de la investigación, así como los principales logros y conclusiones. Debe poder leerse y entenderse en forma independiente del texto principal pero podrán citarse figuras, cuadros, etc., del texto. Se debe tener presente que el resumen será la parte más leída de su trabajo.

INTRODUCCIÓN

La introducción debe dejar claro el propósito de la investigación, los antecedentes y su relación con otros trabajos en el mismo campo, sin caer en una revisión exhaustiva de la literatura pertinente.

PARTE EXPERIMENTAL

Esta sección debe contener todos los procedimientos con el detalle suficiente de los pasos críticos que permita que el trabajo pueda ser reproducido por un personal idóneo. Los procedimientos que ya estén en la literatura sólo deben ser citados y descritos, a menos que se hayan modificado substancialmente. Se debe incluir también el detalle de las condiciones experimentales bajo las cuales fueron obtenidos los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados pueden presentarse en forma de figuras, esquemas o cuadros; sin embargo, los resultados simples se pueden presentar directa-

mente en el texto. La discusión debe ser concisa y debe orientarse hacia la interpretación de los resultados.

CONCLUSIÓN

Esta sección debe incluir solamente un resumen de las principales conclusiones del trabajo y no debe contener la misma información que ya ha sido presentada en el texto en el resumen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Se debe utilizar el sistema de Harvard para las referencias bibliográficas, con el(los) apellido(s) del(los) autor(es) y la fecha de publicación en el texto, y el listado de las referencias debe estar ordenado alfabéticamente, considerando solamente el apellido del primer autor citado para cada referencia.

El título de las revistas debe ser abreviado de acuerdo con algunas de las siguientes referencias: *World List of Scientific Periodical* (4^a ed.), *World Medical Periodical* (UNES-CO, 2^{da} ed.) o *Bibliographic Guide for Editors and Authors*. The American Chemical Society (disponible en el Centro de Información y Documentación Científica y Tecnológica de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado). Si la abreviatura de la revista no está listada en ninguna de estas publicaciones, se debe escribir el título completo.

La exactitud de las referencias bibliográficas citadas es de la entera responsabilidad del autor. Los trabajos no publicados pero formalmente aceptados para su publicación deben citarse "en prensa"; de otra forma, cítelos como "resultados no publicados". Las "comunicaciones personales" deben indicarse en el texto e incluir fecha de comunicación y dirección de la persona.

Las referencias bibliográficas deberán aparecer ordenadas de la siguiente forma:

- Artículos científicos:

AGUIRRE, R.L., MARTINEZ, I.S. y CALVO, C. 1986. Mecanismos de la acción antiespasmódica intestinal de las flores de *Matricaria chamomilla* L. Rev. Biol. Trop., 27(2), 189-201.

- Libros:

BUNGE, M. 1984. La investigación científica: su estrategia y filosofía. Colección "Convivium" No. 8. Barcelona: Editorial Ariel, S.A. 544 pp.

HOLMES, W.N. y DONALDSON, E.M. 1969. The body compartments and the distribution of electrolytes. En: Fish Physiology. Eds: W.S. Hoar y D. Randall. Vol. 1, p. 1-89. Nueva York: Academic Press.

FARMACOPEA INTERNATIONAL. 1980. 3ª edición. Vol. I. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 56 pp.

HARRIS, J. y DUNCAN, I.S. (Eds.) 1982. Constantes de disociación de ácidos orgánicos en solución acuosa. Londres: Butterworth: págs. 234 y 296.

- Tesis:

LEON, A.J. 1986. Estructura Económica de Panamá. Tesis de Doctorado, Universidad de Londres, Londres. 120 pp.

- Simposium-Seminario-Conferencia:

MARINO, I.C. 1984. La problemática de la economía panameña. II Congreso Científico Nacional, 2-4 diciembre. Universidad de Panamá. Resumen No. 28. (en manuscrito)

NAVARRO, S.G., VEGA, J. y SERRANO, I. Resultados no publicados.

AGRADECIMIENTO

Seguido de las referencias, puede incluir un párrafo breve de agradecimiento por apoyo económico, técnico o de cualquier otra índole.

ILUSTRACIONES

Las figuras (un original y dos copias) deben presentarse en su forma final para su reproducción; es decir en tinta china y en papel especial de dibujo de tamaño 22 x 28 cm (8-1/2" x 11"). Cada figura debe estar acompañada de un título una inscripción explicativa. No escriba ni el título ni la inscripción sobre la figura.

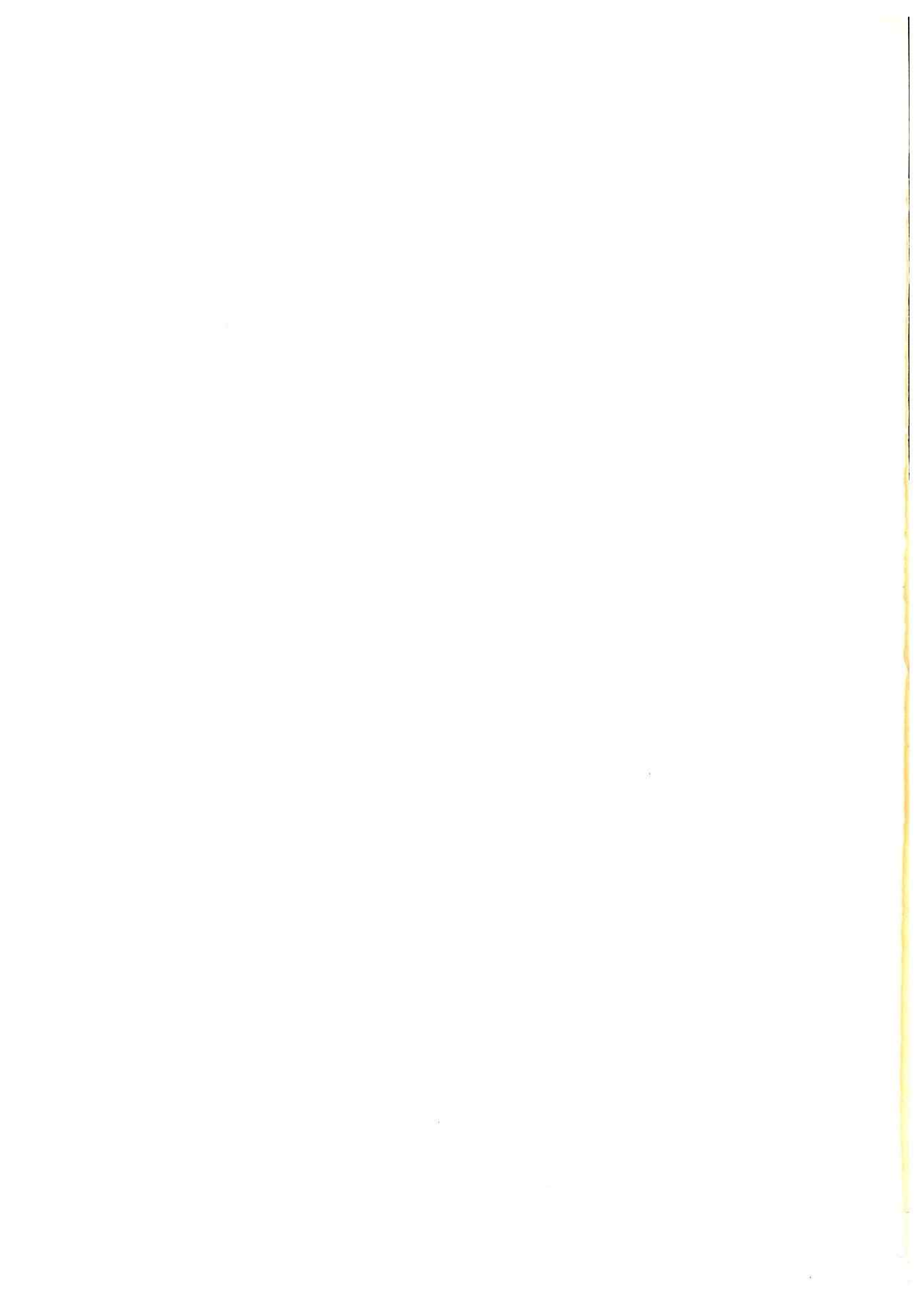
Los títulos y las respectivas inscripciones de cada figura deben ser escritos a máquina a doble espacio en hojas separadas en forma de listado. Detrás de cada figura debe aparecer el nombre de los autores, el título del manuscrito, el número y una señal que indique la parte superior de la figura, todo esto escrito tenuemente con lápiz. Las ilustraciones pueden también presentarse en papel brillante de fotografía en blanco y negro. Las fotografías no deben ser menores de 10 x 12 cm (6" x 4"). Cada ilustración (con su título e inscripción debe ser inteligible en forma independiente del texto principal.

CUADROS

Los cuadros (un original y dos copias) deben ser utilizados solamente para presentar información en forma más efectiva que en el texto. Deben poseer un título bien descriptivo, el cual, junto con los encabezados de las columnas, deben describir su contenido en forma inteligible sin necesidad de hacer referencias al texto principal. La misma información no debe ser reproducida en los cuadros y en las figuras. Se deben numerar en forma consecutiva (usando números arábigos) en el orden en que se citan en el texto. Las notas de pie en los cuadros se deben entrar en letra minúscula y se deben citar en el cuadro como sobrescrito.

*Esta revista se terminó de imprimir en
los talleres de la Imprenta de
la Universidad de Panamá,
bajo la administración del
Dr. Gustavo García de Paredes,
en el mes de febrero de
1999*

1999: AÑO DE LA IDENTIDAD Y LA SOBERANÍA - IMPRENTA DE LA UNIVERSIDAD DE PANAMÁ



ÍNDICE

BIOLOGÍA

DUPUY, O.A. y VILLARREAL, C.A.
Respuestas del epitelio branquial del
guapote, *Dormitator latifrons* (Richardson,
1837) durante adaptación osmótica..... 7

CIENCIAS DEL MAR

GÓMEZ, J.A., SEGNINI DE BRAVO, M.I. y
FUENTES, M.V.
Efecto del cobre sobre la condición
fisiológica de *Lima scabra*, medida por la
razón ARN/ADN..... 27

BONILLA R., J., QUINTERO R., A., ÁLVAREZ,
M., DE GRADO, A., GIL, H., GUEVARA, M.,
MARTÍNEZ, G. y SANT, S.
Condición ambiental de la Ensenada Gran-
de del Obispo, Estado Sucre, Venezuela..... 35

FERMÍN, J. y BONILLA R., J.
Aplicación de análisis estadístico multi-
variante al contenido de metales pesados
en sedimentos de la Bahía de Bergantín,
Estado Anzuátegui, Venezuela..... 61

MATEMÁTICA

GUTIÉRREZ, J.
Espacios débilmente compactos..... 73

ESTADÍSTICA

CARRASCO, G. y MEJÍA C., A.
Valores propios de la matriz de varianza,
covarianza muestral y su distribución..... 79

LINGÜÍSTICA

HIM F., R.
Sobre el nivel jerárquico del rasgo de
lateralidad..... 87

Imprenta de la Universidad de Panamá