



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

**OTOLITOS *SAGITTA* DE ESPECIES SELECTAS DE GERREIDAE
(TELEOSTEI: PERCIFORMES): VARIACIÓN INTERESPECÍFICA Y
SU APLICACIÓN TAXONÓMICA**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO
EN MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

Bertha Paulina Díaz Murillo

LA PAZ, B.C.S., JUNIO 2010



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 13:00 horas del día 18 del mes de Junio del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"OTOLITOS *Sagitta* DE ESPECIES SELECTAS DE GERREIDAE (TÉLEOSTEI: PERCIFORMES):
VARIACIÓN INTERESPECÍFICA Y SU APLICACIÓN TAXONÓMICA"

Presentada por el alumno:

DÍAZ
Apellido paterno

MURILLO
materno

BERTHA PAULINA
nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	2	5	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Director(a) de Tesis

DR. JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO

DR. ADRIAN FELIPE GONZÁLEZ ACOSTA

MC. FELIPE NERMELIO BARRERA

MC. GUSTAVO DE LA CRUZ AGÜERO

DR. FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



IPN
CICIMAR
DIRECCION



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 21 del mes Junio del año 2010, el (la) que suscribe B.M. BERTHA PAULINA DÍAZ MURILLO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro B081251 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. JOSÉ DE LA CRUZ AGÜERO y cede los derechos del trabajo titulado:

"OTOLITOS *Sagitta* DE ESPECIES SELECTAS DE GERREIDAE (TELEOSTEI: PERCIFORMES)

VARIACIÓN INTERESPECÍFICAS Y SU APLICACIÓN TAXONÓMICA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: diazp_2000@yahoo.com jcruz@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Bertha Paulina Dz.

B.M. BERTHA PAULINA DÍAZ MURILLO

nombre y firma

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE	I
GLOSARIO	II
LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	9
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GENERLES	14
OBJETIVOS PARTICULARES	14
MATERIALES Y MÉTODOS	15
OBTENCION DE MUESTRAS Y PROCESO DE EJEMPLARES	15
EXTRACCIÓN DE OTOLITOS	16
CATALOGACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LOS OTOLITOS	16
DESCRIPCIÓN DE CARACTERES Y FICHAS SINÓPTICAS	17
ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS	18
ÍNDICES DE FORMA Y PROPORCIONES MORFOMÉTRICAS	18
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	22
ANÁLISIS DE CORRELACIÓN (AC)	22
ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)	22
ANÁLISIS DE CONTORNO: ANÁLISIS DE FOURIER Y DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	24

ANÁLISIS DE FOURIER	23
ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	26
RESULTADOS	27
TRATAMIENTO DE MUESTRAS Y PROCESO DE EJEMPLARES	27
EXTRACCIÓN DE OTOLITOS	28
CATALOGACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LOS OTOLITOS	28
DESCRIPCIÓN DE CARACTERES Y FICHAS SINÓPTICAS	29
ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS	36
ÍNDICES DE FORMA Y PROPORCIONES MORFOMÉTRICAS	36
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	38
ANÁLISIS DE CORRELACIÓN (AC)	38
ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)	39
ANÁLISIS DE FOURIER Y COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	52
DISCUSIÓN	57
CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	67
Apéndice 1: Curvas de normalidad obtenidas de los datos	
de las mediciones de los otolitos de las especies analizadas.	77
Apéndice 2: Matriz de correlación de mediciones e índices obtenida	
de los ejemplares de otolitos de las especies seleccionadas.	81

GLOSARIO

Análisis Discriminante: un método de análisis de grupos ponderado encaminado a aumentar al máximo la probabilidad de identificar correctamente a un objeto desconocido que pertenece a uno de dos o más taxa de difícil distinción.

Análisis de grupos: procedimiento que progresivamente une las entidades (especies-especímenes) en grupos con base en sus atributos (por ejemplo la similitud global). Normalmente sólo usado para referirse a las técnicas fenéticas mas que en los análisis cladísticos.

Análisis de componentes principales: (ACP) un procedimiento de ordenación multifactorial usado para determinar a qué grupos pertenece un conjunto de datos.

Análisis Canónico de Variables (ACV): Véase Análisis Discriminante.

Antirrostro: Prolongación del borde dorsal del otolito, que se proyecta desde el extremo anterior y que sobresale de la masa principal del cuerpo del mismo, siguiendo la dirección del eje mayor.

Borde dorsal: Se extiende desde el antirrostro hasta el extremo posterior.

Borde ventral: Se extiende desde el extremo del rostro hasta el nivel de la finalización del *sulcus*, donde un accidente situado en la parte superior o inferior, marca su terminación. Es generalmente mas curvado que el borde dorsal.

Cara interna: Superficie de la *sagitta* que posee la identificación específica: generalmente es convexa, raramente plana.

Cara externa: Superficie de la *sagitta* que posee variabilidad dentro de cada especie, generalmente cóncava, raramente plana.

Cauda: Región posterior del *sulcus*, posterior al *collum*.

Cisura: Escotadura profunda en borde ostial, delimitada por dos salientes, una dorsal (antirrostro) y uno ventral (rostro).

Clasificación: área de la taxonomía relativa al arreglo de los taxa en una clasificación biológica.

Clave Dicotómica: una serie o conjunto de preguntas que requieren una decisión sobre los taxa para llevar a su eventual determinación.

Concreciones calcáreas: Agregaciones calcáreas que se localizan en la cara externa, generalmente en forma de tubérculo.

Crinado: Tipo de borde que presenta regulares, compactas y pequeñas cúspides.

Dentado: Tipo de borde con proyecciones regulares, separadas una de otras, con crestas aplanadas, del pez, generalmente presenta rostro y antirrostro.

Descriptor elíptico de Fourier: conjunto de curvas seno y coseno generadas por medio de una expansión de Fourier de los radios vectoriales calculados a partir del centroide de un objeto.

Excisura: porción anterior del margen del otolito, donde comienza la abertura del *ostium*. Normalmente, se localiza entre el *rostrum* y el *antirostrum*, cuando ambos se encuentran diferenciados.

Extremo posterior del otolito: Extremo del otolito cuya dirección coincide con el extremo posterior del pez.

Familia: categoría taxonómica de una clasificación formal ubicada entre el orden y género.

Feneticismo: normalmente referido a la taxonomía numérica y sobre todo a métodos que agrupan a los taxa con base en su similitud.

Fenograma: cualquier diagrama ramificado con taxa terminales cuya estructura representa la similitud fenotípica entre los taxa sin implicar necesariamente una relación evolutiva.

Feret: es la distancia medida entre líneas paralelas teóricas que son dibujadas de manera tangente al perfil del objeto o partícula y perpendiculares a la escala del ocular a un ángulo arbitrario determinado (en la práctica, se utiliza 90°).

Filogenia: la historia evolutiva de un grupo de organismos que pertenecen al mismo taxa.

Formas: Son los límites del cuerpo del otolito. Tienen aspectos variables en las distintas especies.

Género: Un grupo taxonómico clasificatorio formal que comprende una o más especies que se consideran emparentadas de manera cercana

Nombre válido: el nombre científico aceptado para un taxón.

Nombre científico: para las especies, su binomio (es decir su género y el nombre de la especie), para una subespecie, su trinomio (es decir su género, especie y nombre de la subespecie).

Nomenclatura: proceso de asignar los nombres científicos correctos a los organismos de acuerdo con los Códigos pertinentes.

Normalización: un procedimiento matemático que convierte un conjunto de caracteres continuos a un conjunto con una media de cero y una desviación estándar de 1.0.

Monotípico: Un taxón que contiene a sólo un miembro de un taxón subordinado; por ejemplo, un género que contiene sólo una especie o un orden que contiene sólo una familia

Ostio: *Ostium*, porción anterior del *sulcus*.

Rostro: Prolongación del borde ventral del otolito que se proyecta desde el extremo anterior y que sobresale de la masa principal del cuerpo del mismo, siguiendo la dirección del eje mayor.

Sagitta: En el aparato vestibular, las células sensoriales que recubren las cámaras óticas (*mácula*) secretan carbonato de calcio formando a los otolitos. El otolito que se encuentra en el sáculo es conocido como sagitta. En la mayoría de los casos es el de mayor tamaño.

Similitud: una medida del parecido entre dos taxa u especímenes.

Sistemática: algunas veces tratada como sinónimo de taxonomía, entendida aquí como una rama de la biología que estudia la clasificación y origen de los organismos en sus aspectos nomenclaturales, filogenéticos, evolutivos y biogeográficos.

Sulcus: Depresión longitudinal situada en la parte media de la cara interna de la *sagitta* y orientado en forma paralela al eje mayor de la misma. Se puede dividir el *sulcus* en una región posterior con aspecto de canaleta que constituye la cauda. El *sulcus* tiene una profundidad variable en las diferentes especies.

Taxón: cualquier unidad taxonómica definible, por ejemplo la subespecie, la especie, la tribu, el género, la familia. Plural: taxa; e.g. Gerreidae, Eucinostomus.

Taxonomía: considerada aquí como una subdivisión de la sistemática que trata de la clasificación, nomenclatura y otros aspectos de la definición, nomenclatura e identificación de los taxa.

REFERENCIAS

- De La Cruz - Agüero, J.** 2001. Sistemática y Biogeografía del género *Eucinostomus* (Teleostei: Gerreidae). *Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México.
- Díaz - Murillo, B. P.** 2007. Catalogo de Otolitos de Peces Marinos de las costas adyacentes a Baja California Sur. *Tesis de Licenciatura en Biología Marina*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- Tuset, V. M.** 2000. Morfología del otolito *Sagitta* y determinación del crecimiento en especies del género *Serranus* (Osteichthyes, Serranidae). *Tesis Doctoral*. Universidad de La Laguna. España.
- Tuset., V., A. Lombarte y C. Assis.** 2008. Otolith Atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia marina*. 7-198.
- Tuset, V. M., I. J., Lozano, J. A., González, J. F. Pertusa y García - Díaz, M. M.** 2003. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. 19, 88–93.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría.** 2000. *Catálogo y Claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino*. Ed. Dunken. Argentina.

Lista de tablas

Tabla 1.- Mediciones y proporciones morfométricas consideradas en el análisis de forma de los otolitos de las especies de Gerreidae incluidas. (B = 3.14 valor de π). Unidades de LM, AM, LO, AO, LC, AR, Dmx, Dmn, D, Rmx y Rmn en milímetros (mm). 21

Tabla 2.- Resumen de los datos de talla en cm, así como el tamaño de muestra (N) y número de otolitos (No), para cada especie de Gerreidae consideradas en el presente estudio 28

Tabla 3.- Promedios de los factores o índices de forma de las estructuras del lado proximal de los otolitos tratados, obtenidos por medio de el programa de computo IMAGE PRO-PLUS v. EC = *Eucinostomus currani*, ED = *E. dowii*, ED = *E. entomelas*, EL = *Eugerres lineatus* y GC = *Gerres cinereus*. Variable o medida (en columnas) (en negritas los valores promedio más altos observados). Se incluye la desviación estándar (desv. estd.). Acrónimos de variables en tabla 1. 37

Tabla 4. Promedios de los resultados de las proporciones consideradas de las estructuras del lado ventral de los otolitos sagitta (proporciones: longitud de la cauda- longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*- ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la *cauda* - ancho del *rostrum* (LC/ AR) de las especies tratadas en el análisis. Acrónimos de variables en tabla 1. 38

Tabla 5.- Resumen del análisis discriminantes (AD) aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de las variables de los otolitos *Sagitta*. Prueba de Chi cuadrada (X^2). Ra (raíz o función discriminante); g.l. (grados de libertad); R (Correlación canónica); (Lambda de Wilks); p-nivel (nivel de significancia) 39

Tabla 6.- Resumen del AD para las variables de los otolitos *Sagitta* analizados. Lambda de Wilks = .00809 aprox. F (50,1590)= 59.658 $p < 0.0000$ (en negrita las variables significativas). 40

Tabla 7.- Coeficientes normalizados derivados del análisis discriminantes (AD) aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de las variables analizadas de los otolitos *sagitta* de las especies tratadas en el análisis. Acrónimos de variables en tabla 1. 41

Tabla 8.- Matriz de clasificación producida por el análisis discriminante (AD), *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *E. currani* (EC), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC). En los renglones se muestra el número de individuos (otolitos) analizados por especie. 42

Tabla 9.- Distancias cuadráticas de Mahalanobis obtenidas de las distancias entre los centroides o valores promedio de las medias de las variables morfométricas cuantificadas en el análisis discriminante (AD) sobre los índices en los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC). 43

Tabla 10.- Resumen del análisis discriminantes (AD) aplicado a las 6 especies consideradas en este estudio por medio de los índices obtenidos de las proporciones de las estructuras encontradas en la cara proximal del otolito. Prueba *Chi cuadrada* (X^2) con remoción de raíces: VC (variable canónica o función discriminante); g.l. (grados de libertad); R (Correlación Canónica); λ (Lambda de Wilks); nivel-p (nivel de significancia). 46

Tabla 11.- Resumen de la función de AD para cuatro variables analizadas. Lambda de Wilks = 0.00971 aprox. F (20,704) =107.16 $p < 0.0000$ * variable no significativa (en negrita). Longitud de la cauda-longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR). 47

Tabla 12.- Coeficientes normalizados derivados del análisis discriminantes (AD) aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de los índices obtenidos de las proporciones del *sulcus*, así como de la longitud y el ancho máximo del otolito 47

Tabla 13.- Matriz de clasificación producida por el análisis discriminante (AD), *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC). En los renglones se muestra el número de individuos (otolitos) analizados por especie 48

Tabla 14.- Distancias cuadráticas de Mahalanobis obtenidas de las distancias entre los centroides o valores promedio de las medias de las variables morfométricas cuantificadas en el análisis discriminante (AD) sobre la cara distal de las especies *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC).

49

Tabla 15.- Tabla de coeficientes normalizados derivados de los análisis de componentes principales aplicado a las seis especies consideradas en este estudio, coeficientes obtenidos del análisis de Fourier. Porcentaje (%) representa el tanto por ciento de la variabilidad explicada en cada componente. La columna de > **1/77** representa los componentes principales (PC1, ..PCN).

53

Lista de Figura

Figura 1.- Esquema de del oído interno de un teleósteo típico, así como la ubicación de los otolitos en los canales semicirculares correspondientes (Modificado de Secor *et al.*, 1991). 3

Figura 2.- Esquema de las partes de un otolito típico de Perciformes (modificado de Tuset *et al.*, 2008). 5

Figura 3.- Esquema de el contorno de un otolito y su reconstrucción a través de un análisis de Fourier (Modificado de Friedland y Redding, 1994) 7

Figura 4.- Distancias Feret, ilustradas en una figura hipotética (modificado de Chollet-Villalpando, 2009) 20

Figura 5.- Proyección en plano de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 2 (73% de la varianza expresada), a partir de las variables de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc). 44

Figura 6.- Proyección en plano de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 3 (60% de la varianza expresada), a partir de las variables de los otolitos de de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc). 45

Figura 7. Proyección en plano de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 2, (99% de la varianza expresada) a partir de los índices de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc). Utilizando las variables de las proporciones del *sulcus* 50

Figura 8.- Proyección en plano de las variables del análisis discriminante obtenidos de las raíces 1 y 3 (76.9% de la varianza expresada) a partir de los índices de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc). Utilizando las variables de la dimensión del sulcus.

51

Figura 9.- Variación en la forma del otolito en las especies de Gerreidae seleccionadas del PC1 al PC5 (84.6% acumulada). Morfología reconstruida a partir de los descriptores elípticos de Fourier (DEF) igualando el coeficiente para el correspondiente a cada PC, a su media y añadiendo (+2Std) o restando (- 2Std) el valor de dos veces la desviación estándar.

54

Figura 10.- Proyección en plano de las variables del Análisis de Componentes Principales (CP) 1, 2 y 3 (74.84% de la varianza expresada) a partir de los DEF extraídos de los contornos de los otolitos de las especies: *Diapterus brevirostris* (amarillo, Db), *Eugerres lineatus* (rojo, El), *Eucinostomus dowii* (verde, Ed) *E. entomelas* (guinda, Ee), *E. currani* (azul rey, Ec) *Gerres cinereus* (naranja, Gc)

55

Figura 11.- Fenograma de disimilitud morfológica (Distancia Euclidiana, Ligamiento Completo. Distancias de Mahalanobis, Tabla 10), de las seis especies de Gerreidae analizados: Db: *Diapterus brevirostris*. Ec: *Eucinostomus currani*. Ee: *Eucinostomus entomelas*. El: *Eugerres lineatus*, Ed: *Eucinostomus dowii* y Gc: *Gerres cinereus*

63

Figura 12.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Diámetro mínimo de los otolitos

77

Figura 13.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Diámetro máximo de los otolitos

77

Figura 14.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Radio máximo de los otolitos

78

Figura 15.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Radio mínimo de los otolitos

78

Figura 16.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Longitud (LM) o talla de los otolitos 79

Figura 17.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Feret mínimo de los otolitos 79

Figura 18.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Feret máximo de los otolitos 80

Resumen

Los otolitos son depósitos de carbonato de calcio dentro del oído interno de los peces. El otolito *sagitta* es el más grande y por su morfología compleja ha sido utilizado en la identificación de especies y en ocasiones, como carácter taxonómico-filogenético, por lo que es importante su valoración, en grupos con problemáticas taxonómicas y nomenclaturales. Los peces de la familia Gerreidae (mojarras), se distinguen por poseer una boca protráctil y la aleta caudal ahorquillada y no obstante de ser muy estudiadas, el estatus taxonómico-nomenclatural de la mayoría de las especies es controversial. Por lo que el presente trabajo propone analizar la variación morfológica de los otolitos *sagitta* en las especies de gerreidos del Pacífico mexicano, para explorar su valor diagnóstico y su aplicación taxonómica. Se revisaron los otolitos depositados en la Colección Ictiológica (CI) del CICIMAR-IPN, además de otros obtenidos por recolectas en diversas localidades. Para el estudio de los otolitos, se siguieron los protocolos de extracción, curación y catalogación convencionales. Las estructuras se fotografiaron en distintos ángulos (proximal, dorsal) con una cámara Olympus® SP-320 adaptada a un estereoscopio Olympus® SZ2-LGBST. Se cuentan con 160 ejemplares, de las siguientes especies: *Diapterus brevirostris* (Sauvage, 1879) (n = 22), *Eucinostomus entomelas* Zahuranec en Yáñez-Arancibia, 1980 (n = 36), *Eucinostomus dowii* (Gill, 1863) (n = 12), *E. currani* Zahuranec en Yáñez-Arancibia, 1980 (n = 28), *Eugerres lineatus* (Humboldt, 1821) (n = 27) y *Gerres cinereus* (Walbaum, 1792) (n = 35). En los resultados se presenta una descripción detallada de las características, obteniendo diferentes índices de forma (circularidad, elipticidad, rectangularidad y factor de forma) utilizando el programa de cómputo *Image Pro-Plus* v.6. El análisis del contorno de los otolitos, fue realizado con el programa *Shape 1.2*, obteniendo los descriptores elípticos de Fourier, los cuales resultan estimadores insesgados de la forma de los otolitos. Tales descriptores se analizaron con herramientas de estadísticas multifactoriales (Análisis Discriminante Múltiple y de Componentes Principales) para evaluar las afinidades y diferencias de la forma de los otolitos entre las especies. Tanto los índices y proporciones morfométricas, como el análisis de la forma (contornos) indicaron una separación significativa entre las especies de Gerreidae aquí consideradas, indicando el valor taxonómico de la estructura.

Palabras clave: Otolitos, Gerreidae, Análisis de forma, Índices de forma, Taxonomía

Abstract

The otoliths are calcium carbonate deposits in the inner ear of fish. The otolith *sagitta* is the largest pair and its complex morphology has been used in fish species identification and sometimes as a taxonomic-phylogenetic character, so its analysis is essential in groups with taxonomic and nomenclatural problems. Family fish Gerreidae (mojarras) is distinguished by having a protruding mouth and a forked caudal fin, but the taxonomic-nomenclatural status of most species is controversial. The purpose of this study will analyze the morphology of the otoliths in the species of Gerreidae in the Mexican Pacific, to assess its diagnostic value and its taxonomic significance. We reviewed the otolith deposited in the Ichthyological Collection (IC) CICIMAR-IPN, along with other samples obtained at various locations. For the study of the otoliths, we used traditional extraction and cataloging protocols. The structures were photographed at different angles (e.g. proximal, dorsal) with a Olympus ® SP-320 camera adapted to a stereoscopic Karl Olympus ® SZ2-LGBST. In the present study were processed 160 samples of specimens of the following species: *Diapterus brevirostris* (Sauvage, 1879) (n = 22), *Eucinostomus entomelas* Zahuranec in Yañez-Arancibia, 1980 (n = 36), *Eucinostomus dowii* (Gill, 1863) (n = 12), *E. currani* Zahuranec in Yañez-Arancibia, 1980 (n = 28), *Eugerres lineatus* (Humboldt, 1821) (n = 27) y *Gerres cinereus* (Walbaum, 1792) (n = 35). The results provide a detailed description of characteristics, obtaining different shape indices (circularity, ellipticity, rectangularity and form factor) using the computer program Image-Pro Plus v.6®. Contour analysis of the otoliths was done with the computer program Shape 1.2, obtaining elliptic Fourier descriptors (EFD), which are unbiased estimators of the form of otoliths. Such shape indexes and descriptors were analyzed by multivariate statistical tools (e.g. discriminant function analysis and principal component analysis) to determine similarities and differences in the otoliths of the species. Both morphometric indexes and ratios, as the analysis of the shape (contours), indicated a significant separation between the Gerreidae species analyzed, revealing the importance of the otoliths as a taxonomic character.

Keywords: Otoliths, Gerreidae, Shape analysis, Shape indices, Taxonomy.

INTRODUCCIÓN

En los peces teleósteos el aparato vestibular u oído interno es un órgano pareado que forma parte del sistema sensorial relacionado con las funciones de equilibrio, además actúa como un sistema electro-receptor o transductor de ondas, convirtiendo a éstas, en señales eléctricas por medio de las células sensoriales que recubren su epitelio (Morales-Nin, 1992). Estas células que detectan las vibraciones de la masa de agua, son sensibles a la posición y a los movimientos de la cabeza del organismo en relación con la atracción gravitatoria, coadyuvando a la orientación y equilibrio de los peces. Estructuralmente el oído interno está formado por tres canales semicirculares (Figura 1), dentro de los cuales se ubican los otolitos (Popper y Hoxter, 1981; Álvarez *et al.*, 2008).

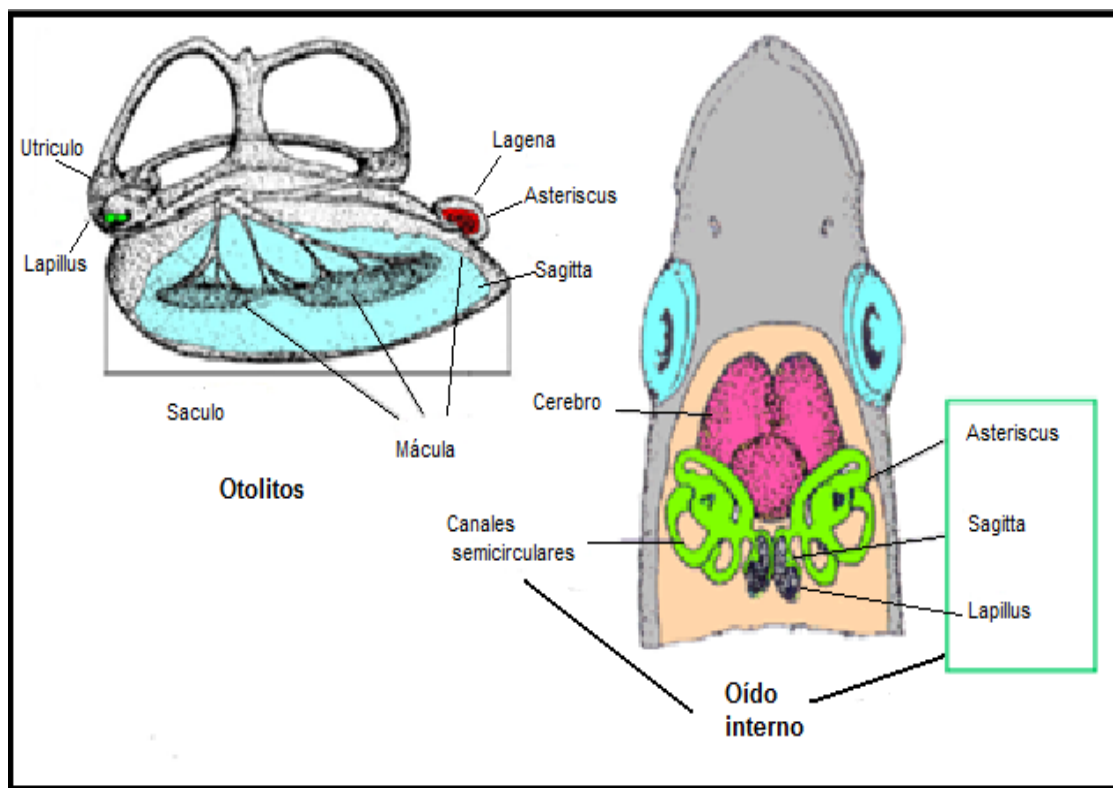


Figura 1.- Esquema del oído interno de un teleosteo típico, así como, la ubicación de los otolitos en los canales semicirculares (Modificado de Secor *et al.*, 1991).

Los tres pares de órganos otolíticos (e.g. canal semicircular) son: el utrículo, el sáculo y lagena, que están asociados a un tipo específico de otolito: *lapillus*, *sagitta* y *asteriscus*, respectivamente (Popper *et al.*, 2005; Díaz-Murillo, 2007) (Figura 1). Estas últimas estructuras son depósitos de Carbonato de Calcio (CaCO_3) en forma de piezas sólidas constituidos por cristales de aragonita dispuestos sobre una matriz formada por una proteína fibrosa llamada otolina (Godos, 2001). La mineralización y crecimiento de los otolitos es periódica en forma de anillos concéntricos, propiedad que ha sido ampliamente utilizada a partir de su descubrimiento en estudios de edad y crecimiento (Panella, 1971), en especial de aquellas especies de interés comercial (e.g. Harvey *et al.*, 2000; Xie *et al.*, 2005).

Los otolitos poseen una morfología compleja que se ha utilizado en estudios tan variados como de ecología trófica (L'AbCe-Lund *et al.*, 1992), determinación de poblaciones o *stocks* (Campana y Casselman, 1993; Cadrin y Friedland, 1999; Begg *et al.*, 2001), identificación de especies (Hecht y Appelbaum, 1982; Lombarte *et al.*, 1991; García-Rodríguez y Auriolles-Gamboa, 2004) y en descripciones paleo-ictiológicas (Lowenstein, 1971; Popper y Coombs, 1980; Nolf, 1985; Gaemers, 1986; Murray y Wilson, 1999). En la mayoría de las especies de teleósteos, los otolitos *sagitta* son los de mayor tamaño, por lo que han sido los más utilizados para estudios como los antes mencionados, además de que se ha establecido que de los tres pares de otolitos, el par *sagitta* es el que presenta mayor variación interespecífica (Harvey *et al.*, 2000).

Un otolito *sagitta* típico (Figura 2) presenta una forma comprimida en su plano lateral, es más largo que ancho, con una depresión longitudinal que se encuentra sobre la cara interna o proximal del mismo; esta depresión es conocida como *sulcus*, la cual se divide en dos partes, la primera y más ancha llamada *ostium* y la segunda mas angosta se conoce como *cauda*, las cuales se delimitan por la *crista* (Popper y Coombs, 1980). En la parte anterior, se reconoce al *rostrum* y la *excisura* hasta la *crista* posterior, que a partir de la *excisura* es por lo

general, cerrada y curva. El *rostrum* es la protuberancia anterior sobre el margen ventral y el *antirostrum* es una protuberancia de menor tamaño sobre el borde dorsal (Tuset *et al.*, 2008).

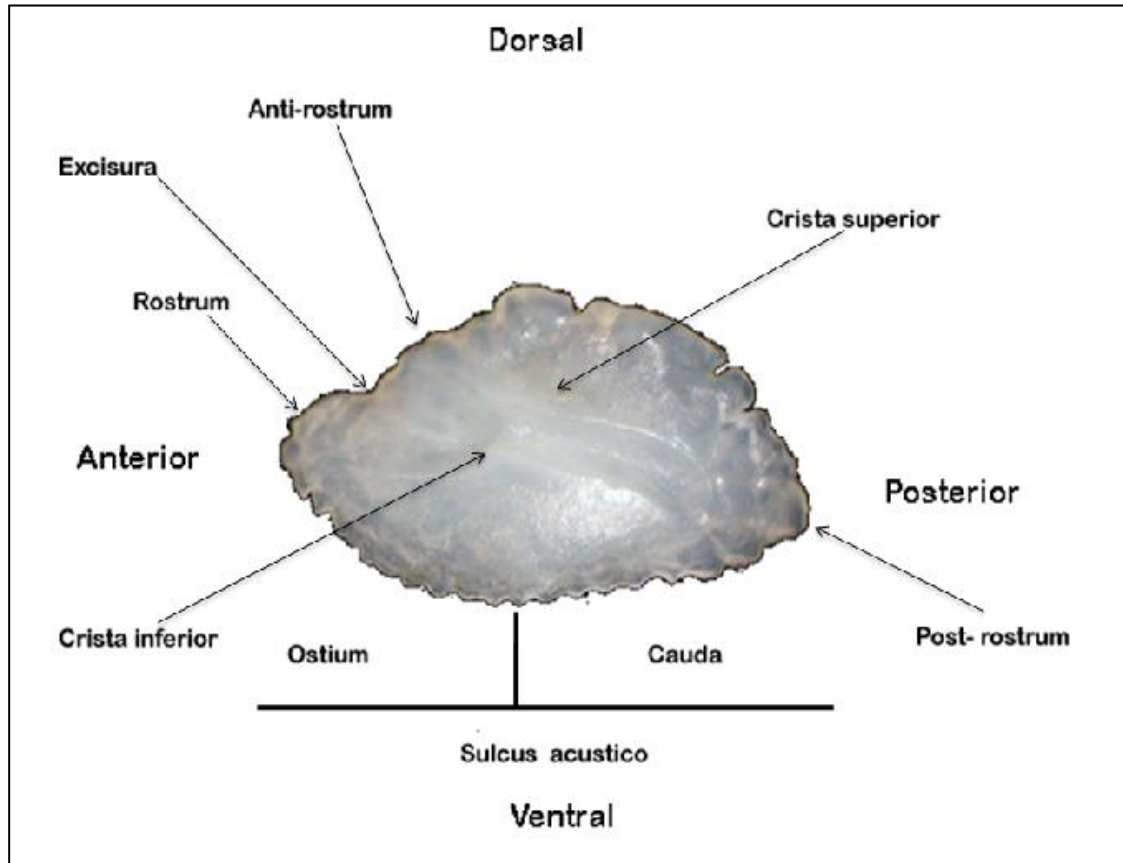


Figura 2.- Esquema que muestra las partes de un otolito típico de Perciformes (modificado de Tuset *et al.*, 2008).

De manera particular, las características cuantificables del otolito que incluyen su morfometría lineal y del contorno, han permitido que se reconozcan como caracteres diagnósticos por su utilidad para la identificación de especies y poblaciones bajo explotación pesquera (*e.g.* Ihssen *et al.*, 1981; Begg y Brown, 2001; Galley *et al.*, 2006). De ahí que se ha establecido que las características morfológicas de los otolitos están relacionadas con la ancestría común de las

especies (Nolf, 1985), por lo que pueden ser indicadores de la relación entre los taxa y una potencial fuente de información taxonómica y filogenética (Lombarte *et al.*, 1991).

Dentro del contexto anterior, el análisis de la forma es importante para comprender los patrones de la evolución morfológica, ya que la variación de la forma entre los taxa puede ser una respuesta a diferentes factores tanto intrínsecos (*e.g.* cambios en el desarrollo ontogenético) como extrínsecos (*e.g.* enfermedades, variaciones ambientales, etc.). En este sentido, cada estructura contiene información, según las propiedades que posea (*e.g.* proporciones), por lo que para poder reconocer las diferencias entre dichas propiedades, deben emplearse métodos que cuantifiquen las mismas y faciliten su interpretación (Navarro *et al.*, 2004).

Los análisis de la variación interespecífica a través de los otolitos han experimentado un auge en los últimos tiempos, gracias al desarrollo de las técnicas de análisis de imágenes y de la morfometría geométrica (Cadrin y Friedland, 1999; DeVries *et al.*, 2002). Estas técnicas de análisis, aunadas a la utilización de métodos numéricos (*e.g.* multifactoriales) para el estudio de la forma, facultan la comparación e interpretación objetiva y precisa de los patrones de variación y co-variación de los caracteres [*del otolito*] entre los organismos bajo estudio (Cavalcanti *et al.*, 1999; Begg *et al.*, 2005).

Si bien la morfometría puede definirse como “el estudio estadístico de la covariancia entre los cambios de la forma y sus factores causales”, con la incorporación de conceptos geométricos en los análisis morfométricos, una definición apropiada de la morfometría sería: “el estudio estadístico de todas las propiedades de una configuración de puntos que no se alteran por efectos de su tamaño, posición u orientación” (Monteiro y Dos Reis, 1999).

La morfometría geométrica puede dividirse en dos categorías, de acuerdo con la naturaleza de estas configuraciones de puntos: el análisis de contornos y los análisis de cotas o marcas homólogas. Los métodos de contornos utilizan funciones trigonométricas (e.g. polinomios, series de Fourier) u otras funciones empíricas para representar las coordenadas de la forma del contorno (Figura 3).

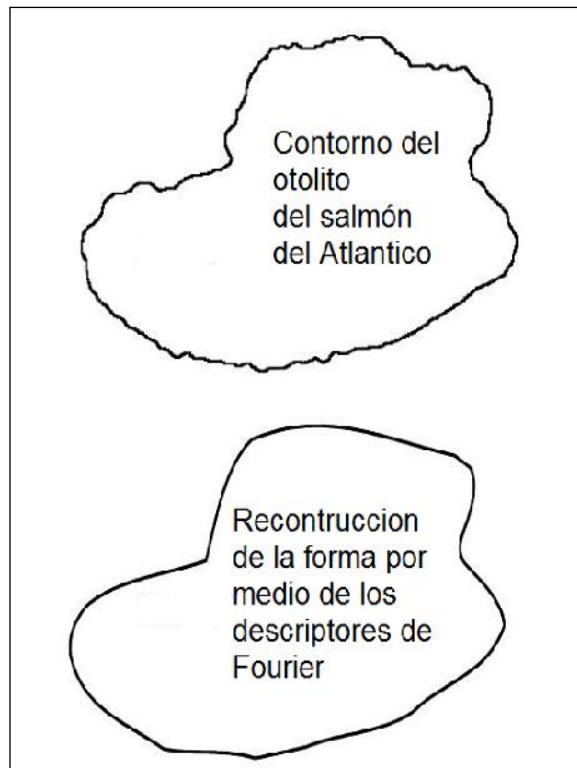


Figura 3.- Esquema del contorno de un otolito y su reconstrucción a través de un análisis de Fourier (Modificado de Friedland y Redding, 1994)

En los peces los métodos de contornos se han utilizado ampliamente en el estudio comparativo de escamas y otolitos (e.g. Friedland, 1996; Begg y Brown, 2000), aunque también se han utilizado en otros campos de la biología tales como: la dinámica de poblaciones, (Daverat *et al.*, 2005; Stransky *et al.*, 2005), biología pesquera, (Casselman *et al.*, 1981; Begg y Waldman, 1999) y ecología (Morales-Nin, 1992; Lombarte y Castellón, 1991; Volpedo y Echeverría, 2000).

Las especies de la familia Gerreidae son conocidas comúnmente como mojarras y no obstante de ser objeto de diversos estudios desde el siglo XIX, especialmente sobre aspectos ecológicos (véase: De La Cruz-Agüero, 2001), en la actualidad algunas de ellas aún presentan problemas de reconocimiento y validez taxonómica (e.g. *Ulaema lefroyi*, *Xystaema havana*, *Diapterus aureolus*, *Eugerres periche*). Nominalmente dentro de la familia se reconocen poco más de 100 especies (Eschmeyer, 1998), agrupadas en ocho géneros. De estos, dos se reconocen como monotípicos: *Parequla* y *Pentaprion*; siete especies se admiten como válidas en *Eugerres*, cuatro en *Diapterus*, 11 en *Eucinostomus* y 26 en *Gerres* (Froese y Pauly, 2009). Sin embargo, el estatus taxonómico de más de 50 especies nominales y el propio de los géneros *Ulaema* y *Xystaema*, no ha sido revisado, por lo que la composición nominal podría variar de forma significativa (De La Cruz-Agüero, 2001).

Las especies que constituyen a la familia Gerreidae es un grupo de organismos que son identificados a nivel genérico, considerando diversos caracteres tales como: el número de espinas anales, la forma y grado de fusión de los dos primeros pterigióforos anales (e.g. cono interhemal), la coloración del cuerpo y la presencia o ausencia de “dientecillos” o sierras en los huesos preorbital y preopercular. Por otro lado, los procesos de decoloración *post-mortem* y los valores sobrepuestos de los caracteres morfométricos y merísticos entre las especies, dificultan su correcta identificación. Esto ha contribuido a la persistencia de problemas taxonómico-nomenclaturales en las especies de gerreidos de las costas del Pacífico mexicano.

Otras de las contribuciones a este conflicto taxonómico, resulta la inadecuada e incompleta descripción de los materiales originales, el mal estado o la pérdida de los mismos, además de que la mayoría de las revisiones realizadas en el grupo, no han sido publicadas (e.g. Curran, 1942; Zahuranec, 1967; Deckert, 1973; Matheson, 1983; De La Cruz-Agüero, 2001; Burnes-Romo, 2009).

En este contexto, el propósito del presente trabajo es describir las características morfológicas y cuantificar la variación morfométrica del otolito *sagitta* de especies selectas de la familia Gerreidae, determinando coeficientes de forma, proporciones morfométricas y análisis de contorno, bajo la perspectiva de un análisis taxonómico comparativo, para determinar la utilidad de esta estructura en la diferenciación de géneros y especies.

ANTECEDENTES

Según Chaine y Duvergier (1934), la existencia de un par de “piedras” dentro del esqueleto cefálico de algunos peces fue mencionada por primera vez por Aristóteles (S. IV A.C). Para los naturalistas de esta época antigua y aún en las más recientes, los otolitos se consideraban solo una estructura anatómica sin ninguna aparente singularidad. De manera particular, durante la primera mitad del S. XVII, los otolitos adquirieron popularidad ya que se les atribuía poderes divinos o propiedades curativas, las cuales incluían desde adivinar las condiciones climáticas marinas, hasta la cura para enfermedades como la malaria, hemofilia y fiebres, entre otras (Tuset *et al.*, 2008).

George Cuvier, a principios del Siglo XIX, fue el primer naturalista que describió a las “piedras” del oído de los peces, reconociendo un grado de especificidad morfológica, la cual podría ser utilizada para el reconocimiento de especies (Koken, 1884; Chaine y Duvergier, 1934; Nolf, 1985).

Sin duda fue E. Koken, naturalista alemán del S. XIX, el primer investigador en realizar trabajos de manera formal y extensa, acumulando conocimiento acerca de los otolitos. Este autor describió por primera vez la morfología básica de los otolitos, proponiendo una terminología que fue utilizada especialmente para el

reconocimiento de taxa fósiles. Desde entonces, la forma de los otolitos ha ido generando información valiosa que ha sido utilizada en estudios taxonómicos y filogenéticos (e.g. Nolf, 1985; Gaemers, 1986; Maisey, 1987; Murray y Wilson, 1999; Volpedo y Echeverría, 2000; Assis, 2003).

Sin embargo, el verdadero interés por el estudio de estas estructuras comienza en el último tercio del siglo XX, ya que en 1971 se produce un descubrimiento que revolucionaría por completo el campo de investigación de los otolitos. En ese año, como fue mencionado, G. Panella observa por primera vez la presencia de anillos de crecimiento diario en los otolitos y reconoce la utilidad para estimar la edad y el crecimiento de los organismos, a través de las capas concéntricas que lo forman (Campana, 2005).

Las investigaciones que incluyen a los otolitos, han tenido su mayor auge en los tiempos recientes, creciendo de manera exponencial los estudios sobre estas estructuras en los últimos 35 años. Estas investigaciones no se han limitado a los estudios de edad y crecimiento, si no que las técnicas analíticas se han refinado, a la par que se han explorado otras propiedades que poseen estas estructuras. Así por ejemplo, cada vez son más frecuente los análisis morfométricos para la identificación de especies (e.g. Assis, 2003; Tuset *et al.*, 2003; Volpedo y Echeverría, 2003; Lychakov *et al.*, 2006; Tuset *et al.*, 2006) y los de la distinción de *stocks* o poblaciones bajo explotación pesquera (e.g. Begg *et al.*, 2001; Gauldie y Crampton, 2002; Parisi *et al.*, 2005; Galley *et al.*, 2006).

Debido a que la forma de los otolitos presenta caracteres importantes para el reconocimiento de especies, diversos trabajos de ecología trófica han utilizado otolitos para determinar la diversidad en la dieta de especies ictiófagas (e.g. García y Auriol, 2004), lo que a ha dado pie a que se elaboren obras descriptivas monográficas o catálogos específicos de otolitos (e.g. Frost, 1981; Harkonen, 1986; Lemos *et al.*, 1993; Harvey *et al.*, 2000; Mascareñas-Osorio 2002; Campana, 2004; Lombarte *et al.*, 2006; Díaz-Murillo, 2007).

Una de las técnicas de análisis de otolitos que se ha implementado de manera frecuente es la morfometría. El matemático y biólogo escocés, D'Arcy Wentworth Thompson, a principios del siglo pasado, realizó los primeros trabajos que sugerían que las variaciones morfométricas pueden ser explicadas por una serie de transformación de caracteres similares en un espacio coordinado. Sin embargo, aun cuando sus ideas en relación a la geometría corporal tenían sentido, probar su cuantificación era complicado en sus tiempos, sobre todo por los problemas de la alometría en el crecimiento (Huxley, 1932).

El matemático francés G. Teissier en 1938, en un estudio sobre el dimorfismo existente entre un grupo de arácnidos, fue el primero que extendió la teoría de la alometría, aplicando un análisis de componentes principales para resolver la co-varianza existente entre las múltiples dimensiones morfométricas. Esta técnica multifactorial de los componentes principales, es un procedimiento estadístico capaz de manejar la información de un conjunto de variables en un espacio multifactorial reducido, basado este último, en la co-variancia o correlación de tales variables (Cadrin y Friedland, 1999).

En las últimas dos décadas, el desarrollo de técnicas para capturar y procesar imágenes digitales ha revolucionado las investigaciones basadas en técnicas morfométricas típicas. La tradicional morfometría multifactorial es cada vez más eficiente en la identificación de grupos, a través de una mejor recolecta de datos y de descripciones cada vez más completas con el uso de sistemas de análisis de imágenes (Reyment, 1991). Desde la década de 1990 en particular, estas diferentes técnicas han sido implementadas para determinar aquellas características morfológicas de la línea de contorno del otolito, basado en la representación uni-dimensional de su perímetro. Esta es una curva que se obtiene mediante la descomposición del contorno en varios fragmentos, calculándose las distancias entre el final de cada fragmento y el centro de gravedad del otolito analizado (Bird *et al.*, 1986).

Un problema para la descomposición del contorno es determinar cómo discriminar entre las diferentes representaciones uni-dimensionales del contorno de los diferentes grupos analizados. Un método utilizado de manera convencional para lo anterior, es aplicando la expansión de la curva harmónica a través de las transformaciones de Fourier (Parisi *et al.*, 1999).

Por otro lado, la importancia de los peces conocidos comúnmente como mojarras, se manifiesta en el papel que desempeñan en el sustento de los recursos pesqueros, así como en la estructura y función de los ecosistemas costeros de regiones tropicales y subtropicales del mundo (González-Acosta, 2005), por lo cual han sido objeto de números estudios, principalmente sobre su ecología (De La Cruz-Agüero, 2001).

La similitud morfológica que presentan las especies de esta familia y el grado diferencial de importancia dado a los caracteres usados en la identificación taxonómica, además de la subjetividad de algunas descripciones originales, han propiciado una taxonomía un tanto confusa, que en ciertas especies prevalece aún en nuestros días (e.g. De La Cruz-Agüero, 2001; González-Acosta, 2005; Ortiz-Galindo, 2009).

El presente trabajo es el primer antecedente de la utilización de la morfología del otolito *sagitta* en el contexto de la taxonomía de las especies de la familia Gerreidae en el Pacífico oriental, que pretende contribuir información a la generada actualmente al esclarecimiento y mejor comprensión de la taxonómica de dicha familia.

JUSTIFICACIÓN

La variabilidad inter-específica e inter-genérica de la familia Gerreidae ha sido analizada con distintas técnicas, como la genética (e.g. Ruiz-Carus, 1995), morfometría externa (De La Cruz-Agüero, 2001; González-Acosta, 2005, Burnes-Romo, 2009) y osteológica (Álvarez-Pliego, 2004; Kobeslkwosky, 2004).

De las técnicas anteriores, la osteológica es una importante fuente de información para los estudios taxonómicos y sistemáticos, ya que el sistema óseo y sus componentes, entre los que se encuentra a los otolitos, son en general más conservativos que muchos otros caracteres utilizados en la taxonomía de los peces (Helfman *et al.*, 1997) y su implementación es relativamente sencilla y accesible en costos. Si bien, los otolitos no son “huesos verdaderos”, sino depósitos de carbonato de calcio, estos han sido utilizados como una herramienta en estudios de naturaleza descriptiva y sistemática debido a la especificidad de su forma.

Los otolitos no han sido incluidos de manera general en las diagnósis de las especies de peces, en especial en aquellos taxa que presentan problemas taxonómico-nomenclaturales y filogenéticos como el caso de la familia Gerreidae. En estas especies el grado de similitud corporal inter-específica y los valores sobrepuestos de los caracteres tradicionalmente usados en las claves para la determinación de especies, han representado una dificultad taxonómica.

Una alternativa, tanto para la determinación de las entidades taxonómicas bajo estudio, como para la exploración de las interrelaciones de las especies, resultan los análisis morfométricos. Estos análisis, aunados al desarrollo de las técnicas de proceso de imágenes digitales, potencian el estudio de los otolitos y de sus características morfológicas.

Específicamente dentro de la familia Gerreidae, los otolitos solo han sido descritos para algunas de las especies que la componen, sin evaluar su aporte como un carácter que contribuya a la resolución de la problemática taxonómica, de ahí el planteamiento de la presente propuesta.

OBJETIVO GENERAL

Analizar las propiedades morfológicas de los otolitos *sagitta* de especies selectas de la familia Gerreidae, como un carácter de diagnóstico taxonómico.

Objetivos específicos.

Describir la morfología de los otolitos de las especies de la familia Gerreidae consideradas en el presente trabajo.

Caracterizar morfométricamente las variaciones interespecíficas del otolito *sagitta*.

Determinar la correspondencia entre las variaciones morfológicas del otolito *sagitta* de las especies consideradas y la composición taxonómica actualmente reconocida.

MATERIALES Y MÉTODOS

I. OBTENCIÓN DE EJEMPLARES Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Se utilizaron los otolitos de ejemplares de especies de la familia Gerreidae preservados y catalogados en la Colección Ictiológica (CI) del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). Con la finalidad de complementar el acervo de la CI (véase: <http://colección.cicimar.ipn.mx>) y aumentar el número de ejemplares de las especies analizadas, se llevaron a cabo recolectas de campo en diversas localidades costeras de Baja California Sur, así como, de zonas cercanas a los puertos de Mazatlán, Sinaloa y Acapulco, Guerrero. Los peces fueron capturados con distintas artes de pesca, tales como: pistola de arpón, arpón hawaiano, redes de arrastre y trampas, en concordancia con la zona y las tallas de captura de los especímenes. Finalmente, los mercados de las localidades consideradas, fueron una fuente importante de ejemplares.

Una vez que los especímenes fueron obtenidos, se transportaron a la CI del CICIMAR-IPN, donde se procesaron como se describe a continuación. El material íctico fue identificado utilizando las principales guías y claves de identificación de especies de la región, tales como: De la Cruz-Agüero *et al.* (1997) y Castro-Aguirre *et al.* (1999), así como claves especializadas para la familia de manera particular las propuestas por De la Cruz-Agüero (2001), González-Acosta *et al.* (2005) y González-Acosta *et al.* (2007). De particular importancia resultó el acervo ictiológico contenido en la CI, la cual fue la fuente primaria para la identificación de las especies aquí tratadas.

Una vez que los ejemplares fueron identificados, se tomaron diversas mediciones biométricas de cada espécimen (e.g. talla y peso) y una muestra representativa de cada recolecta fue depositada y catalogada dentro del acervo de la CI.

II. EXTRACCIÓN DE OTOLITOS

Los otolitos fueron extraídos haciendo una incisión por debajo de las aberturas branquiales, removiendo con extremo cuidado la parte superior de los arcos branquiales para llegar a la cámara ótica donde se alojan los otolitos. Esta cámara fue abierta con pinzas de presión o tijeras cuidando de no romper los otolitos (en especial con los especímenes de menor tamaño), extrayéndolos finalmente con unas “pinzas de relojero” (véase: Secor *et al.*, 1991).

En el caso de los especímenes que provenían de zonas foráneas (e.g. Mazatlán y Acapulco), estos se congelaron y trasladaron al laboratorio para su procesamiento siguiendo el protocolo tradicional. Una vez extraídos los otolitos, fueron lavados en una solución diluida de agua y detergente con la finalidad de remover todo residuo orgánico, en caso de que estos residuos, estuviesen fuertemente adheridos, los otolitos se dejaron reposando en un periodo de uno a cinco días en la misma solución. Después, los otolitos fueron lavados nuevamente con agua y tallados finamente con un cepillo de cerdas suaves y cortas. Cuando el residuo orgánico fue completamente removido, los otolitos se secaron en papel absorbente. Se procedió a guardar las muestras en seco; almacenándolas en frascos viales de 5 ml.

III. CATALOGACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE OTOLITOS

Los otolitos procesados fueron etiquetados mediante un código con las siguientes características: Los dos primeros códigos son caracteres alfabéticos que corresponden a las iniciales del género y de la especie, seguidos por una serie de números que corresponden a la fecha. El primer par indica el día, el segundo par indica el mes y el tercer par indica el año. Finalmente, separado por un guion, los últimos dígitos indican el número del ejemplar al que pertenece ese otolito en particular.

Con la información obtenida se elaboró una hoja de datos utilizando el programa de cómputo MSEXcel®, versión 2007, que además incluye los datos relativos a: familia, género, especie, No. clave especie-espécimen, talla (longitud patrón o estándar) y la localidad de recolecta.

Los otolitos fueron fotografiados en sus dos caras (distal y proximal) con un microscopio-estereoscópico Olympus ® SZ61 equipado con un adaptador para cámara Olympus ® SP-320 con un zoom óptico de 3X y una fuente de luz Olympus ® SZ2-LGBST para resaltar los bordes de las estructuras.

Durante el proceso de digitalización, en cada una de las fotografías se utilizó una escala estandarizada y la respectiva clave de registro de cada estructura. Las fotografías fueron realizadas colocando los otolitos sobre un fondo de color negro. Para eliminar errores al momento de la digitalización de las muestras, así como imperfecciones o cualquier sesgo respecto a la calidad de la imagen, estas fueron procesadas en el programa Adobe Photoshop ® versión 7.0, para corregir balance, nitidez, color, contraste y brillo.

Las imágenes se encuentran archivadas y disponibles en formato digital (*JPG*) con dimensiones de 3072 x 2304 pixeles y 24 bits de profundidad, ordenadas en 6 folders o carpetas digitales diferentes, correspondientes a cada especie. El número de serie de cada imagen se encuentra en una base de datos dentro de la CI, en formato MSEXcel® con el conjunto de datos (mediciones) de los otolitos correspondientes a cada espécimen.

La información morfométrica fue procesada con el programa de cómputo *Statistica* versión 7., donde se verificó la normalidad para cada una de las variables por especie ($p > 0.05$). (Véase Apéndice 1).

IV. DESCRIPCIÓN DE CARACTERES Y FICHAS SINÓPTICAS

Se realizó una descripción detallada de las características y estructuras de los otolitos de cada especie considerada, de acuerdo a la terminología propuesta por Volpedo y Echeverría, (2000) y Tuset *et al.* (2008).

Las características morfológicas consideradas para las descripciones son aquellas recomendadas por Díaz-Murillo (2007), tales como: forma geométrica de la estructura (cuadrangular, romboidal, circular, trapezoidal y triangular), forma de los bordes, del rostro, del antirostro y la excisura; además del tipo de *sulcus*, *ostium* y *cauda*, así como la presencia o ausencia de formaciones y concreciones calcáreas (Figura 2).

Además de las descripciones de los otolitos, en el presente trabajo se incluye una ficha sinóptica de las especies analizadas, incluyendo el número de organismos considerados en la descripción, así como notas acerca de su biología y distribución. Se incluye también una imagen de las caras interna y externa del otolito *sagitta* por especie.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS

Se realizó una caracterización de la morfometría de las estructuras. En el presente trabajo se consideraron dos aspectos principales del campo de la morfometría, que incluyen a aquellos en los que se analiza la línea externa o contorno (*outline*) y aquellos en los que se analizan las proporciones y relaciones entre la forma (*e.g.* altura, anchura), a manera de índices o proporciones.

I. ÍNDICES DE FORMA Y PROPORCIONES MORFOMÉTRICAS

Las imágenes de los otolitos fueron medidas utilizando el programa de computo IMAGE PRO-PLUS v.6. Con el cual se obtuvieron dos grupos de medidas o variables. El primer grupo considerando las dimensiones del *sulcus*, que son delimitadas por el usuario, estas medidas son; longitud del *ostium* (LR), ancho del *ostium* (AO) y longitud de la *cauda* (LC), en esta se incluyen las mediciones de longitud máxima (LM), anchura máxima (AM) del otolito. El segundo grupo formado por aquellas variables extraídas por detección automática del mismo programa de cómputo.

De la diversas variables ofrecidas se consideraron en este análisis las medidas, índices y factores de forma propuestos por Volpedo y Echeverría (2000) y Tuset *et al.* (2003), los cuales incluyen: área (a), circularidad, elipticidad, factor de forma dado por la longitud y el ancho del objeto (R/r), perímetro (P), redondez, rectangularidad (Tabla 1). Para calcular estos últimos factores geométricos, es necesario obtener la longitud de Feret (FL) y sus dos componentes: Feret máximo (Fmx) y Feret mínimo (Fmn). En microscopia y análisis de imágenes, el Feret (Figura 4) es la distancia medida entre líneas paralelas teóricas que son dibujadas de manera tangente al perfil del objeto o partícula y perpendiculares a la escala del ocular a un ángulo arbitrario determinado (en la práctica, se utiliza 90°) (Pertusa, 2003).

En el presente trabajo, el feret (FL) es la distancia media obtenida de las proyecciones de la imagen rotadas a x número de ángulos sobre su centroide. El Feret máximo (Fmx), es así equivalente a la longitud máxima de esta distancia tangente (rectángulos incluyentes) proyectada sobre el perfil de los otolitos. Por su parte el Feret mínimo (Fmn) es la distancia mínima obtenida de las proyecciones de la imagen rotadas a x número de ángulos sobre su centroide. El Feret mínimo es así equivalente a la longitud mínima de esta distancia tangente (rectángulos incluyentes) proyectada sobre el perfil de los otolitos (Figura 4).

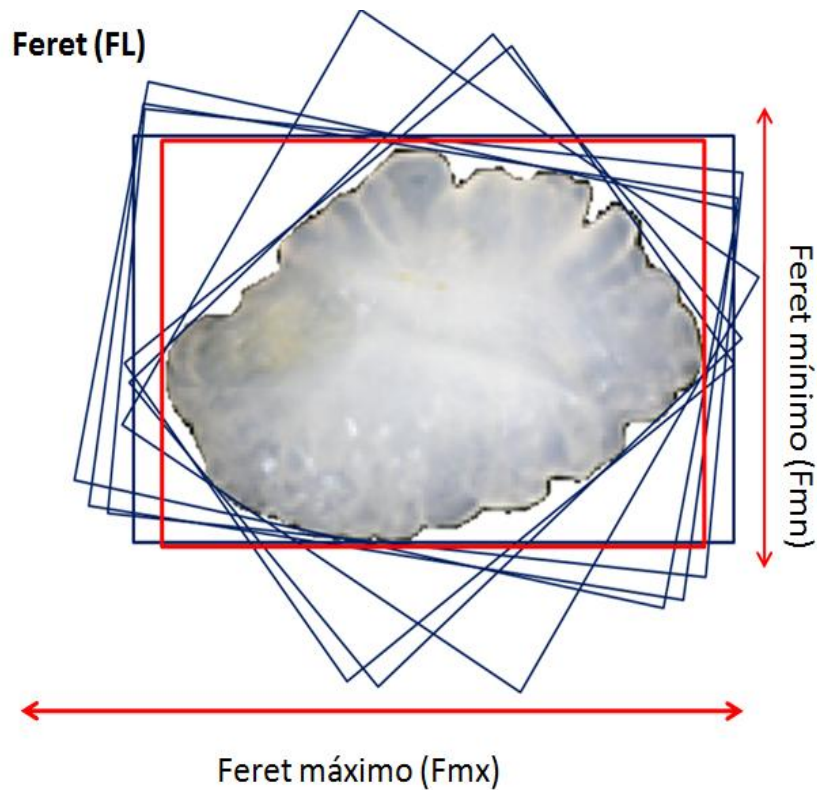


Figura 4.- Distancias Feret, ilustradas en un segmento de una figura hipotética (modificado de Chollet-Villalpando, 2009).

El área en el presente trabajo se define como la extensión o superficie comprendida dentro de una figura de dos dimensiones, expresada en unidades de medida denominadas de superficie. En el presente trabajo se considero el área del objeto (otolito) expresada en cm^2 .

El perímetro es la suma de todos los lados de una figura. En el presente trabajo es la longitud total de una cuerda trazada alrededor del contorno del otolito, dada en cm.

La redondez o circularidad proporciona información sobre la proximidad morfológica de una figura a un círculo, tomando respectivamente un valor mínimo de 1π (3.1416) y 4π (12.57) cuando es un círculo perfecto.

La rectangularidad por su parte, representa las variaciones existentes de la anchura y la longitud respecto al área de una figura, tomando el valor de 1 para un cuadrado perfecto. Por último, la forma elíptica indica si los cambios en los ejes de la figura son proporcionales (Tabla 1).

Tabla 1.- Mediciones y proporciones morfométricas en el análisis de forma de los otolitos de las especies de Gerreidae incluidas. (B = 3.14 valor de π). Unidades de LM, AM, LO, AO, LC, AR, Dmx, Dmn, D, Rmx y Rmn en milímetros (mm).

Medidas	Proporciones	Formulas
Longitud del otolito (LM)	Longitud <i>cauda-ostium</i>	= LC/LO
Ancho del otolito (AM)	Longitud del <i>ostium</i> /ancho del <i>ostium</i>	= LO/AO
Longitud del <i>ostium</i> (LO)		
Ancho del <i>ostium</i> (AO)	Longitud <i>cauda</i> –ancho <i>rostrum</i>	= LC/AR
Longitud de la <i>cauda</i> (LC)	Proporción longitud-ancho	= LM/AM
Ancho del <i>rostrum</i> (AR)	Redondez	= (4a)/(B*FL ²)
Área (a)	Rectangularidad	= a/(FL*FW)
Perímetro (P)	Elipticidad	= (FL-Fmx)/(FL+Fmn)
Longitud del Feret (FL)	Circularidad	= P ² /a
Ancho del Feret (FW)	Factor de forma (R/r)	= Dmx/Dmn
Feret máximo (Fmx)		
Feret mínimo (Fmn)		
Diámetro máximo (Dmx)		
Diámetro mínimo (Dmn)		
Diámetro promedio (D)		
Radio máximo (Rmx)		
Radio mínimo (Rmn)		

II. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Posteriormente los coeficientes o proporciones de las estructuras (por especie-espécimen) fueron analizados por medio de herramientas de estadística multifactorial para determinar las afinidades (similitudes y diferencias) entre las diferentes morfologías de los otolitos de las especies. El análisis multifactorial es una rama de la estadística y del análisis de datos, que estudia e interpreta el material estadístico sobre la base de un conjunto de $n > 1$ variables, que pueden ser del tipo cuantitativo, cualitativos o una mezcla de ambos. La información en un análisis multifactorial es, por lo tanto, de carácter multidimensional (Cuadras, 1998).

II.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN (AC)

Al total de datos obtenidos (ejemplares de otolitos por especie) por medio de las mediciones descritas, se les aplicó un análisis de correlación (AC) con la finalidad de observar el grado o intensidad de la relación que existía entre dos o más variables. La aplicación de este análisis evitó aportar información redundante, permitiendo así tomar una decisión, acerca de las variables a incluir en los análisis multifactoriales subsecuentes.

II.2 ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)

El análisis discriminante (AD) es una técnica estadística multifactorial cuya finalidad es analizar si existen diferencias significativas entre grupos de objetos respecto a un conjunto de variables medidas sobre los mismos. El AD ayuda a

identificar las características que diferencian o discriminan a dos (análisis discriminante simple) o más grupos (análisis discriminante múltiple o análisis de variables canónicas) y proporcionar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos determinados (Pardo y Ruiz, 2001).

El propósito de la aplicación de esta técnica es presentar gráficamente en pocas dimensiones (idealmente en dos o tres) la separación entre las especies, relativa a la variación intra-interespecífica de las variables morfométricas utilizadas. Esta técnica, también proporciona el aporte diferencial de cada variable a la discriminación de las especies en las funciones discriminantes, las cuales pueden ser utilizadas para posteriormente, identificar o asignar nuevos especímenes de identidad desconocida a una u otra especie (Reyment *et al.*, 1984; De La Cruz-Agüero, 2001).

En el AD, se obtiene una matriz de clasificación que asigna cada ejemplar incluido en el análisis, a un determinado taxón, de acuerdo con la combinación lineal de sus variables y a su distancia mínima a cada función discriminante producida. El porcentaje de asignación correcta de los ejemplares, calculado dentro de la matriz de clasificación, puede entonces ser utilizado como una medida de la afinidad morfométrica entre los taxa y como prueba de la estructura taxonómica establecida *a priori* (e.g. la identidad producida por las claves de identificación convencionales).

Las distancias de Mahalanobis y su aproximación al estadístico de prueba F, fueron utilizadas para probar las diferencias significativas entre los centroides de las especies (promedio de las medias de todas las variables utilizadas). La significación estadística del AD, se determinó con base en el valor del estadístico de prueba de Lambda de Wilks (LW) donde un valor de LW ≈ 0 indica un buen ajuste del modelo y valores ≈ 1 indican un ajuste con poco poder de discriminación (Moran y Clements, 2002).

En el AD, una forma de calcular la contribución de cada variable a una función discriminante es examinar las correlaciones entre los valores de la función y los valores de las variables. Se calculan, dentro de cada grupo, las correlaciones entre las variables y las puntuaciones; luego se combinan en una matriz de correlación (*pooled within-groups correlation matrix*). Los valores obtenidos dan una medida de las contribuciones de las variables (De La Cruz-Agüero, 2001).

En el presente trabajo se analizaron los dos grupos de variables, aquellas extraídas por detección automática del mismo programa de cómputo, en este segundo grupo se consideraron las que presentaron una menor correlación y que además han sido recomendadas por autores ya mencionados. El segundo AD analizando, al grupo formado por variables son las obtenidas considerando las dimensiones del *sulcus* y que son delimitadas por el usuario.

II.3 ANÁLISIS DE CONTORNO: ANÁLISIS DE FOURIER Y DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

II.3.1. ANÁLISIS DE FOURIER

Se aplicó un análisis de contorno de tipo Fourier a las imágenes o proyecciones bidimensionales de la cara distal de los otolitos, obtenidas en el proceso de digitalización. Este método descompone la forma irregular del contorno de los otolitos en una serie de componentes ortogonales, llamados “descriptores elípticos de Fourier” (DEF) o armónicas. Tales son, un conjunto de curvas seno y coseno generadas por medio de una expansión de Fourier de los radios vectoriales calculados a partir del centroide de un objeto (en este caso las imágenes de los otolitos).

Para la obtención de los DEF se utilizó el programa *Shape* versión 1.2 (Iwata y Ukai, 2002). Este programa incluye las siguientes rutinas utilizadas para el propósito:

ChainCoder: extrae el contorno de un objeto a partir de su imagen digital, almacenando la información relevante en un “código de cadena” (variable que describe el contorno de un objeto por medio de una sucesión de símbolos que representan un conjunto discreto de vectores). Este proceso implica dividir la imagen en tres colores (rojo, verde y azul; RGB por sus siglas en inglés) con una resolución de 256 niveles de gris, para posteriormente convertirla en una imagen en blanco y negro (binarizada), con un determinado contraste y resolución. El contorno del objeto luego es extraído por medio de la detección automática de su perímetro y la información relevante se almacenará como un código de cadena.

Chc2Nef: obtiene los coeficientes DEF normalizados (NDEF) a través de una transformación discreta de Fourier de los códigos de cadena del contorno de los objetos. Estos DEF son automáticamente normalizados en relación a la primer armónica (representada por un círculo virtual y sin información sobre la forma del contorno; Rohlf y Archie, 1984) y en consecuencia, estos resultan invariantes o libres del efecto del tamaño, posición y orientación (e.g. el punto de inicio del código de cadena) (Kuhl y Giardina, 1982; Iwata y Ukai, 2002).

PrinComp: realiza un análisis de componentes principales (ACP) a partir de los NDEF derivados por el *ChC2Nef*. Cuando el contorno de una forma es descrito por las primeras 20 armónicas de los coeficientes de Fourier, el número de coeficientes NDEF calculados es grande (hasta 80). Sin embargo, el ACP puede resumir eficientemente la información contenida en los mismos (Rohlf y Archie, 1984).

PrinPrint: despliega la variación de la forma contenida por cada componente principal, utilizando un procedimiento propuesto por Furuta *et al.* (1995): primero, los coeficientes de los descriptores elípticos de Fourier son calculados, igualando el valor de un componente principal particular a la media, +/- dos veces la desviación estándar (e.g. la raíz cuadrada del eigenvalor del componente) y los valores de los componentes restantes igualados a cero. Así, la forma del contorno puede ser reconstruida a partir de una transformación inversa de los coeficientes. Esta visualización puede apoyar la interpretación de la variación morfológica promedio evaluada por cada componente principal.

CHcViewer y *NefViewer*: despliegan los contornos en la forma de un código de cadena y como NDEF, respectivamente. Con estos visualizadores, también se puede verificar la dirección del trazo del contorno en los códigos de cadena y en los NDEF (Figura 3).

II.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística que no requiere la asignación *a priori* de los ejemplares a un taxón determinado, sino que el ACP define las relaciones entre los individuos en función de la afinidad morfométrica producida por el conjunto de variables incluidas en el análisis (De La Cruz-Agüero, 2001). De esta forma, la estructura taxonómica es proyectada en el espacio multidimensional de los componentes principales, sin considerar la pertenencia o membrecía de los especímenes a un taxón particular, la cual se infiere o determina *a posteriori*, de acuerdo a las distancias inter-individuales producidas por los coeficientes de ordenación en cada componente principal resultante (Reyment, 1991).

Los componentes principales o factores derivados serán así, una combinación lineal de las variables originales y además estos componentes serán independientes entre sí (ortogonales). Las nuevas variables son en realidad, una serie de combinaciones lineales de las anteriores (unas “metavARIABLES”) y se van construyendo según el orden de importancia en cuanto a la variabilidad total obtenida de la muestra. Si las variables originales están correlacionadas *a priori*, entonces no tiene sentido realizar un análisis de componentes principales (González-Martin *et al.*, 2004).

RESULTADOS

I. TRATAMIENTO DE MUESTRAS Y PROCESO DE EJEMPLARES

En el presente estudio fueron recolectados o procesados un total de 156 especímenes pertenecientes a seis especies de peces de la familia Gerreidae (Apéndice 1). Las recolectas se realizaron en diversos puntos de la costa del Pacífico mexicano, tales como: Bahía de La Paz, Isla Espíritu Santo y Bahía Magdalena en Baja California Sur, Mazatlán, Sinaloa y Acapulco, Guerrero. Igualmente se obtuvieron muestras en mercados locales provenientes de diversos puntos pesqueros de la región, principalmente de las bahías mencionadas. El intervalo de talla del total de los especímenes utilizados, se ubicó entre los 5.5 cm de longitud patrón (LP) observado en *Diapterus brevirostris* y la máxima observada de 24.5 cm de LP en *Gerres cinereus* (Tabla 2).

II.- EXTRACCIÓN DE OTOLITOS

De los ejemplares recolectados se lograron extraer un total de 230 otolitos *sagitta* completos (Tabla 2).

Tabla 2.- Resumen de los datos de talla en cm, así como el tamaño de muestra (N) y número de otolitos (No), para cada especie de Gerreidae consideradas en el presente estudio.

Especies	N	Talla cm		No
		promedio	Intervalo	
<i>Diapterus brevirostris</i>	22	15.68	5.5 – 17	37
<i>Eugerres lineatus</i>	27	16.6	7.9 – 20	36
<i>Eucinostomus entomelas</i>	36	17.8	8.3 - 11.5	43
<i>Eucinostomus currani</i>	28	14.03	6.0 – 17	45
<i>Eucinostomus dowii</i>	12	16.8	12 - 16.2	21
<i>Gerres cinereus</i>	35	24.3	11 - 24.5	48

Durante el proceso de extracción de los otolitos, no fue posible obtener todos los pares completos, esto debido a diferentes circunstancias entre las más usuales, la propia posición de la estructura dentro de su cámara ótica y el grosor de la misma. Por otra parte, algunos otolitos ya estaban fraccionados o rotos, debido al manejo de los especímenes, así como, al grosor o fragilidad particular de la propia estructura, que no siempre es la misma entre los mismos. Cabe mencionar que el método utilizado para la extracción de los otolitos fue el adecuado, ya que por lo general, permite la extracción completa de los otolitos, sin alterar de manera significativa al espécimen, lo que facultó su conservación y catalogación dentro de la CI.

III.- CATALOGACION Y DIGITALIZACIÓN DE OTOLITOS

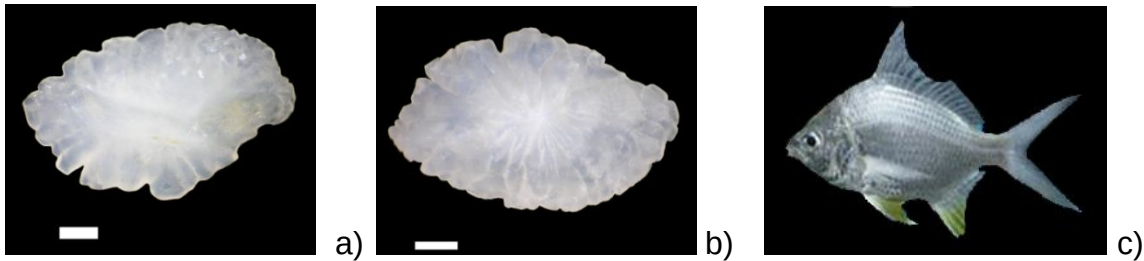
De las muestras de otolitos extraídos ($n = 230$), todas se encuentran conservados en seco y depositadas en frascos viales de 5 ml y catalogados dentro del acervo de la CI de CICIMAR-IPN, con una etiqueta única para cada espécimen. Como se menciono las estructuras fueron fotografiadas en ambos lados (distal y proximal), sin embargo, para el presente análisis se consideraron solo las imágenes del lado proximal, ya que es donde se observan las características distintivas de los otolitos (Figura 2).

IV. DESCRIPCIÓN DE CARACTERES Y FICHAS SINÓPTICAS

Se realizó una de descripción detallada del estado de los caracteres, utilizando la terminología propuesta por Tuset *et al.* (2003) y Volpedo *et al.* (2008) incluyendo información sobre las especies, tal como: breve descripción diagnóstica, notas biológicas y distribución geográfica (fuentes: Fischer *et al.*, 1995; De La Cruz-Agüero *et al.* 1997; De La Cruz-Agüero 2001 y González-Acosta (2005). Se incluyen las imágenes de los otolitos en posición proximal (a) y distal (b), así como la imagen de un espécimen por especie (c), la escala señalada en las figuras a y b de cada ficha, es equivalente a 1mm. Adicionalmente se muestran los promedios de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR). (Fotos: B.M. Paulina Díaz).

ESPECIES

Diapterus brevirostris (Sauvage, 1879)



Otolito: Forma del otolito: semicircular. *Sulcus* acústico: ostial a mediano. *Ostium*: rectangular. *Cauda*: ligeramente curvada. Región anterior: angulado. Margen proximal: lobulado. Margen dorsal: crinado.

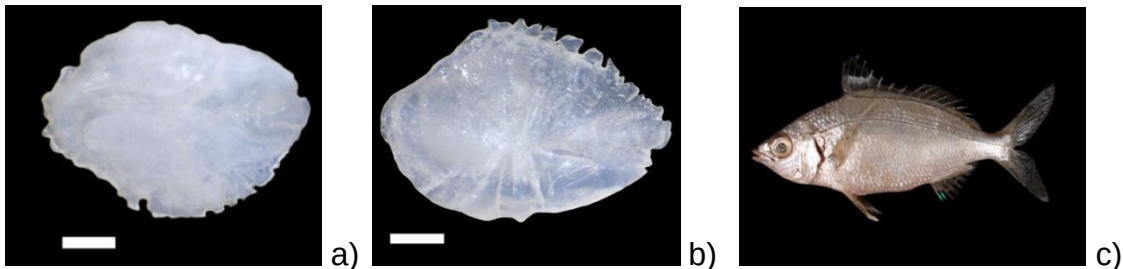
Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) = 1.313, longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) = 1.229y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR) = 1.607.

Descripción: Espinas dorsales totales: IX. Radios dorsales totales: 10. Espinas anales: III Radios anales: 8. La especie se distingue por presentar los márgenes de los huesos pre-operculares e infraorbitales con “dientecillos” o sierras finas.

Biología: Habita en bahías, preferentemente en estuarios y lagunas costeras, rodeadas por manglares, sobre fondos lodosos, fangosos y arenosos y puede entrar en aguas continentales. Son organismos carnívoros, se alimentan principalmente de organismos bentónicos, tales como: copépodos, ostrácodos, foraminíferos, poliquetos y moluscos.

Distribución: Pacífico oriental: en las costas de la península de Baja California (desde Bahía Magdalena, B.C.S.), incluyendo el Golfo de California hasta Perú.

***Eucinostomus currani* Zahuranec en Yáñez-Arancibia, 1980**



Otolito: Forma del otolito: oval. *Sulcus* acústico: ostial a mediano. *Ostium*: rectangular. *Cauda*: ligeramente curvada. Región anterior: angulado. Margen proximal: lobulado. Margen dorsal: dentado. Observaciones: La dentición del margen dorsal se observó en ejemplares mayores a 4 cm de longitud patrón.

Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) = 2.528, longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) = 1.251 y longitud de la *cauda*- ancho del *rostrum* (LC/AR) = 3.049.

Descripción: Cuerpo fusiforme y comprimido, su altura de 2.5 a 3.1 veces en su longitud patrón. Aletas pélvicas largas, su longitud alcanza el orificio anal. Extremo posterior del maxilar situado por debajo del borde anterior del ojo, borde del preopérculo y lacrimal liso. De color plateado uniforme, sin marcas, aleta dorsal tricolor (carácter diagnostico), tercio distal de color negro, tercio medio sin coloración, transparente, tercio proximal de color gris o finamente punteado. No menos de 23 radios procurentes caudales. Espina hemal 2 de grosor superior al parahipural.

Biología: Habita preferentemente en zonas de esteros y bahías protegidas, asociadas a fondos suaves, arenosos y lodosos. Peces omnívoros, que presentan tallas alrededor de los 15 cm LP.

Distribución: Desde California, E.U.A. a Perú, incluyendo el Golfo de California e Islas Galápagos.

***Eucinostomus dowii* (Gill, 1863)**



Otolito: Forma del otolito: semicircular. *Sulcus* acústico: ostial a mediano. *Ostium*: funnel-like (forma de surco o acanalada). *Cauda*: fuertemente curvado. Región anterior: truncado. Margen proximal: sinuoso. Margen dorsal: sinuoso a crinado.

Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) = 2.488, longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) = 1.415 y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR) = 3.474.

Descripción: Cuerpo más alto que largo (altura de 2.6 a 3.0 veces la longitud patrón). Aletas pélvicas relativamente largas, su longitud alcanza el orificio anal. Extremo posterior del maxilar situado por debajo del borde anterior del ojo, bordes del preopérculo y preorbital lisos. Cuerpo de color plateado uniforme y sin marcas; aleta dorsal de color uniforme. Menos de 23 radios procurrentes caudales. Espina hemal 2 de grosor proporcional al parahipural.

Biología: Habita preferentemente sobre fondos arenosos y fangosos de esteros y bahías protegidas e incursionan en aguas continentales. Su alimentación

se compone básicamente de organismos que se encuentran en el bentos, tales como crustáceos, moluscos y algas. Alcanza una talla máxima de 15 cm LP.

Distribución: Desde el sur de California, E.U.A. a Ecuador, incluyendo el Golfo de California e Islas Galápagos.

***Eucinostomus entomelas* Zahuranec en Yáñez-Arancibia, 1980**



Otolito: Forma del otolito: semicircular. *Sulcus* acústico: ostial a mediano. *Ostium*: rectangular. *Cauda*: ligeramente curvada. Región anterior: angulado. Margen proximal: lobulado. Margen dorsal: crinado.

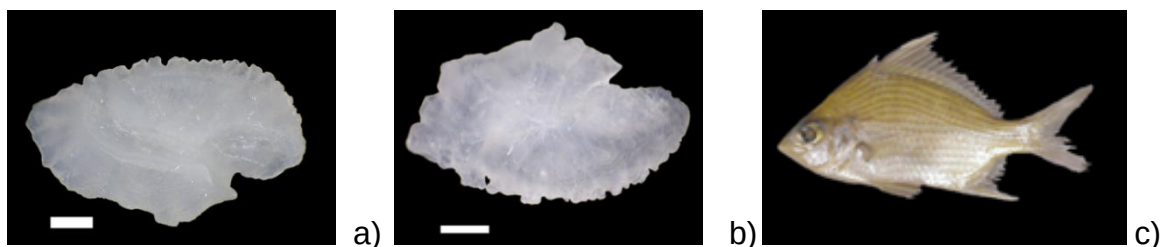
Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) = 3.348, longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) = 1.159 y longitud de la *cauda*- ancho del *rostrum* (LC/AR) = 3.832.

Descripción: Cuerpo proporcionalmente más alto que largo, su altura equivale 2.4 a 2.9 veces de la longitud patrón. Aletas pélvicas largas, su longitud alcanza el orificio anal. Cuerpo de color plateado uniforme, aleta dorsal de color uniforme. Con una mancha de color negro sobre la parte superior de la cámara branquial; perfil o dorso del arco neural del centro preural de forma sigmoidea. Menos de 23 radios procurrentes caudales

Biología: Son peces demersales que habitan comúnmente en las lagunas costeras y esteros, preferentemente sobre fondos arenosos. Son peces omnívoros, con una talla máxima registrada de 17 cm LP.

Distribución: desde Bahía Magdalena B. C. S. a Perú, incluyendo el sur del Golfo de California.

Eugerres lineatus (Humboldt, 1821)



Otolito: Forma del otolito: oval. *Sulcus* acústico: ostial a mediano. *Ostium*: rectangular. *Cauda*: ligeramente curvada. Región anterior: angulado. Margen proximal: lobulado. Margen dorsal: dentado. Observaciones: Algunos ejemplares obtenidos presentaron deformaciones en la región posterior.

Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) = 1.413, longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) = 1.208 y longitud de la *cauda* - ancho del *rostrum* (LC/AR) = 1.684.

Descripción: Longitud cefálica de 1.4 a 2.5 veces la longitud de la segunda espina dorsal. Las aletas pélvicas alcanzan el origen de la aleta anal; la segunda espina anal plegada alcanza la base del pedúnculo *caudal*, origen de la aleta dorsal sobre el origen de las pectorales y delante de las pélvicas. Bordes del preopérculo y del hueso preorbitario finamente aserrados en adultos. Franjas

longitudinales café-oscuros presentes en las regiones altas y media de los flancos, siguiendo las hileras de escamas.

Biología: Habita estuarios y lagunas costeras. Debido a que es eurihalina, también puede penetrar en aguas continentales. Omnívoro. El patrón de dentición y anatomía bucal podrían relacionarse con el consumo de organismos del meiobentos con estructuras duras. Longitud máxima de 19 cm LP.

Distribución: se distribuye desde Bahía Magdalena, B.C.S. hasta Panamá, incluyendo el Golfo de California.

Gerres cinereus (Walbaum, 1792)



Otolito: Forma del otolito: oblongo. *Sulcus* acústico: *funel-like* (forma de surco o acanalada). *Ostium*: tubular. *Cauda*: marcadamente curvada. Región anterior: angulado. Margen proximal: sinuoso. Margen dorsal: sinuoso. Observaciones: El margen proximal presenta una proyección que se dirige hacia la cara externa del otolito, semejante a una aletilla.

Resumen de las proporciones: longitud de la *cauda*- longitud del *ostium* ($LC/LO = 2.118$), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* ($LO/AO = 1.261$) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* ($LC/AR = 2.664$).

Descripción: Altura de 2 a 2.5 veces en la longitud patrón. Borde del preopérculo liso. De 5 a 7 barras laterales oscuras evidentes en los costados. Aleta dorsal escotada, aletas pélvicas, anal y parte proximal de la dorsal con una pigmentación amarilla (desaparece gradualmente al morir el organismo).

Biología: Habitan aguas costeras poco profundas, fondos arenosos y bahías cerca de manglares. Se alimentan de organismos bentónicos. El tamaño máximo reportado es de 50 cm LP.

Distribución: Se distribuye desde Bahía Magdalena, B.C.S. hasta a Panamá.

ANÁLISIS MORFOMÉTRICOS

I. ÍNDICES DE FORMA Y PROPORCIONES MORFOMÉTRICAS

En términos generales se encontraron otolitos de mayor tamaño, tanto en largo como ancho y en consecuencia con los mayores valores de áreas y perímetros, en los ejemplares de la especie *Diapterus brevirostris*; en contraposición de aquellos de la especie *Eucinostomus currani*, que presentó las menores dimensiones (Tabla 3). De estos se puede observar en los resultados obtenidos de relación R/r es en *Eugerres lineatus* (EL) donde se encuentra el valor más cercano a 1, es decir de longitud máxima y la mínima, con valores cercanos. El resto de los valores mostrados en la tabla 3 por si mismos no explican la formación de grupos mediante estas variables, por lo cual es necesario observar el análisis discriminante correspondiente.

Con los datos de las mediciones lineales obtenidas sobre la cara proximal del otolito se calcularon índices de forma, correspondientes a la proporción de esta en las estructuras, dados por las relaciones: longitud de la *cauda*-longitud del

ostium (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR). En la primera proporción se hace referencia a los dos componentes de *sulcus* acústico. Los valores igual o cercanos a 1 indicarían que presentan longitudes semejantes, por lo tanto la posición de la crista sería cercana al punto medio del otolito, como se puede observar en *Diapterus brevirostris*, seguido por *Eugerres lineatus*. El caso contrario se observa que en *Eucinostomus entomelas*, la *cauda* es de mayor longitud con respecto al *ostium*. La variable LO/AO, muestra el valor más pequeño en *E. entomelas* y el mayor en *Eucinostomus dowii*. En la razón LC/AR se observó que *D. brevirostris* y *E. lineatus* presentan los valores más bajos, mientras que las especies del género *Eucinostomus* presentan los más altos (Tabla 4).

Tabla 3.- Promedios de los factores o índices de forma de las estructuras del lado proximal de los otolitos tratados, obtenidos por medio de el programa de computo IMAGE PRO-PLUS v. EC = *Eucinostomus currani*, ED = *E. dowii*, ED = *E. entomelas*, EL = *Eugerres lineatus* y GC = *Gerres cinereus*. Variable o medida (en columnas) (en negritas los valores promedio más altos observados). Se incluye la desviación estándar (desv. estd.). Acrónimos de variables en tabla 1.

Variable/Especie	DB promedio	desv stand	EL promedio	desv stand	ED promedio	desv stand	EE promedio	desv stand	GC promedio	desv stand
Dmx	8.11	0.69	7.27	0.84	6.95	0.38	5.30	0.35	6.96	0.81
Dmn	4.49	0.34	3.92	0.31	3.57	0.23	3.50	0.23	3.01	0.44
D	5.93	0.45	5.15	0.37	4.85	0.23	4.23	0.26	4.44	0.50
Rmx	4.14	0.36	3.76	0.43	3.64	0.21	2.73	0.19	3.65	0.42
Rmn	2.09	0.17	1.80	0.17	1.71	0.15	1.64	0.10	1.46	0.21
P	24.42	2.31	22.91	2.95	19.68	1.21	16.26	1.44	20.19	2.02
Lm	8.06	0.69	7.29	0.83	7.00	0.37	5.30	0.35	7.09	0.82
Ancho	5.03	0.38	4.39	0.28	3.92	0.26	3.95	0.30	3.41	0.47
a	28.85	4.24	21.93	3.42	19.52	1.82	14.35	1.71	16.94	3.82
Fmn	4.99	0.38	4.36	0.28	3.87	0.23	3.87	0.27	3.39	0.46
Fmx	8.14	0.70	7.36	0.83	7.03	0.38	5.32	0.34	7.10	0.82
FL	6.58	0.51	5.88	0.51	5.59	0.25	4.54	0.28	5.34	0.58
R/r	1.99	0.19	1.66	0.15	2.13	0.19	1.67	0.10	2.53	0.28
Redondez	1.66	0.20	1.92	0.35	1.58	0.10	1.47	0.16	1.96	0.24
Circularidad	300.90	54.99	266.58	73.72	194.34	24.44	133.23	23.79	205.77	41.28
Elipticidad	0.24	0.03	0.25	0.04	0.29	0.03	0.16	0.03	0.35	0.04
Rectangularidad	0.71	0.02	0.68	0.03	0.72	0.02	0.70	0.02	0.70	0.02

Tabla 4.- Promedios de las proporciones consideradas de las estructuras del lado proximal de los otolitos *sagitta* (proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR), de las especies tratadas en el análisis. Acrónimos de variables en tabla 1.

Especies	Proporciones		
	LC/LO	LO/AO	LC/AR
<i>Diapterus brevirostris</i>	1.313	1.229	1.607
<i>Eucinostomus currani</i>	2.528	1.251	3.049
<i>Eucinostomus dowii</i>	2.488	1.415	3.474
<i>Eucinostomus entomelas</i>	3.348	1.159	3.832
<i>Eugerres lineatus</i>	1.413	1.208	1.684
<i>Gerres cinereus</i>	2.118	1.261	2.664

II. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

II.1 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN (AC)

En el AC se consideraron tanto las mediciones lineales, así como los índices obtenidos (Tabla 3). Las variables que resultaron tener una mayor correlación estadística ($p < 0.05$) fueron: 1) Dmx con P-Lm, a con D-Rmx-Fmx, FL con Circularidad. Mientras que las que presentaron una menor correlación resultaron: Rmx con Rectangularidad-Lm y a con redondez-R/r y Fmx con Rectangularidad (ver Apéndice 3).

II.2 ANÁLISIS DISCRIMINANTE (AD)

A partir de los resultados obtenidos en el AC, así como de la bibliografía consultada, se seleccionaron las variables consideradas para la aplicación del AD, el cual se realizó en dos partes, la primera utilizando las variables de detección automática del programa de computo consideradas con menor correlación (Dmx, Rmx, Rectangularidad, Lm, a, Redondez, R/r Fmx, FL). En el segundo análisis se consideraron las proporciones de la dimensión del *sulcus*: (LC/LO, LO/AO y LC/AR)

AD II.2.1 El AD produjo correlaciones canónicas que indican una alta proporción de la varianza compartida entre las especies (variables de los otolitos) y las raíces o funciones discriminantes generadas. Consecuentemente, los valores del estadístico de prueba chi-cuadrada (χ^2), expresan una asociación significativa entre las especies y las variables utilizadas (Tabla 5).

Tabla 5.- Análisis discriminante aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de las variables de los otolitos *sagitta*. Prueba de Chi cuadrada (χ^2). Ra (raíz o función discriminante); g.l. (grados de libertad); R (Correlación canónica); λ (Lambda de Wilks); *p*-nivel (nivel de significancia)

Ra	Eigen-valor	R	λ	χ^2	g.l.	<i>p</i> -nivel
0	4.528	0.905	0.006	1127.48	50	0.000
1	3.624	0.885	0.034	749.60	36	0.000
2	2.233	0.831	0.156	411.19	24	0.000
3	0.598	0.612	0.503	151.85	14	0.000
4	0.244	0.443	0.804	48.31	6	0.000

En este análisis (Tabla 6), se observa que de acuerdo al modelo generado con las variables, estas contribuyeron significativamente ($p = 0.00$), al modelo discriminante, con excepción de Dmx y Rmx. Mediante el cálculo del estadístico Lamba de Wilks, se probaron las diferencias entre los grupos establecidos *a priori*, es decir las especies: *Diapterus brevirostris*, *Eucinostomus entomelas*, *Eucinostomus currani*, *Eucinostomus dowii*, *Eugerres lineatus* y *Gerres cinereus*.

Tabla 6.- Resumen del AD para las variables de los otolitos *sagitta* analizados. Lambda de Wilks = 0.006 aprox. $F(50,983) = 40.55$ $p < 0.00$ (no significativas en negritas). Acrónimos de variables en tabla 1.

Variable	Lambda de Wilks	Lambda Parcial	Valore de F	P	Tolerancia
Dmx	0.01	0.98	0.77	0.57	0.02
D	0.01	0.63	25.52	0.00	0.01
Rmx	0.01	0.97	1.20	0.31	0.02
P	0.01	0.82	9.67	0.00	0.01
a	0.01	0.60	29.12	0.00	0.01
Fmx	0.01	0.91	4.14	0.00	0.01
FL	0.01	0.71	17.79	0.00	0.01
R/r	0.02	0.38	69.54	0.00	0.27
Redondez	0.01	0.80	10.89	0.00	0.02
Rectangularidad	0.01	0.69	19.29	0.00	0.54

Posteriormente se obtuvieron los coeficientes normalizados, en donde se determinaron las funciones discriminantes (raíces) que en conjunto representaron el 100% de la variabilidad acumulada (Tabla 7). La primera función o raíz representa alrededor del 39% de la variabilidad explicada, la segunda representa hasta el 72.5%, y en la raíz 3 se explica el 90.8% de la variabilidad acumulada.

Se puede observar en la tabla 7 que el porcentaje de las raíces 1 y 2, es muy cercano (40% y 33% respectivamente). En la raíz 1 las variables que presentaron una mayor importancia fueron D, FL, P, a. En la raíz 2 las de mayor importancia fueron FL, D y Dmx.

Tabla 7.- Coeficientes normalizados derivados del análisis discriminantes (AD) aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de las variables de los otolitos sagita de las especies tratadas en el análisis. Acrónimos de variables en tabla 1.

Variable / Raíz	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4	Raíz 5
Dmx	0.339	0.146	-1.454	0.744	2.380
D	-17.952	5.154	2.488	-11.328	-12.838
Rmx	0.532	-1.518	2.735	1.629	3.704
P	1.401	-1.009	1.420	-2.149	-0.629
A	1.012	1.019	0.808	2.372	0.218
Fmx	-3.449	1.331	-0.218	-1.680	-10.970
FL	5.799	-7.056	-13.937	0.976	21.200
R/r	-5.556	0.000	6.798	-0.688	-0.561
Redondez	-8.937	5.806	-8.854	11.956	0.106
Rectangularidad	-24.693	-21.077	-20.632	-27.217	5.630
Eigenvalor	4.5283	3.6239	2.2333	0.5976	0.2443
Porcentaje de varianza acumulada.	40%	73%	93%	98%	100%

Debido a que la separación de los grupos *a priori* no fue totalmente eficiente, es decir al 100%, se obtuvo una matriz de clasificación en donde se observa, el porcentaje de corrección o certidumbre de la clasificación por las funciones generadas.

En la matriz de clasificación (Tabla 8), se muestra que los individuos (otolitos por especie) fueron correctamente asignados con un promedio del 90% de certidumbre estadística en sus grupos establecidos *a priori* (e.g. especies). Cabe mencionar que la especie que resulto ser mejor definida utilizando estas variables fue *Eucinostomus currani* con 100%, mientras que la de menor porcentaje de asignación correcta fue observado en *Diapterus brevirostris* con 76% de certidumbre estadística.

Tabla 8.- Matriz de clasificación producida por el análisis discriminante (AD), *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *E. currani* (EC), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC). En los renglones se muestra el número de individuos (otolitos) analizados por especie.

	% de asignación correcta	DB	EL	ED	EE	EC	GC
DB	76%	28	0	0	9	0	0
EL	97%	1	35	0	0	0	0
ED	95%	0	0	20	0	0	1
EE	95%	1	0	1	41	0	0
EC	100%	0	0	0	0	45	0
GC	79%	0	0	5	5	0	38
Total	90%	30	35	26	55	45	39

Las distancias fenotípicas basadas en las distancias cuadráticas de Mahalanobis, resultaron ser significativas para la distinción de grupos $p = 0.00$ (Tabla 9). En este análisis se muestran la afinidad fenotípica entre las especies, dada por los otolitos, donde *Diapterus brevirostris* y *Eucinostomus entomelas* (valor de 9.846) resultan los de mayor afinidad fenotípica, seguidos de *Eucinostomus dowii* y *Gerres cinereus* (valor de 7.027).

Por otro lado, las especies que presentan menor afinidad fenotípica resultaron *Diapterus brevirostris* y *Eucinostomus currani* (valor de 37.035) seguidos de *Gerres cinereus* y *E. currani* (valor de 35.72).

Tabla 9.- Distancias cuadráticas de Mahalanobis obtenidas de las variables morfométricas cuantificadas en el análisis discriminante (AD) sobre los índices en los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC).

Grupo	DB	EL	ED	EE	EC	GC
DB	0.000	30.791	29.776	9.846	37.035	33.859
EL		0.000	22.581	27.310	26.099	33.482
ED			0.000	12.594	29.217	7.027
EE				0.000	30.767	16.760
EC					0.000	35.720
GC						0.000

La representación gráfica (Figuras 5 y 6) considera las primeras tres funciones o raíces (92.5% de la varianza acumulada). Se observa la proyección en plano del espacio multifactorial producido por el AD de los ejemplares (otolitos) analizados con las variables seleccionadas. Se ubica la distribución espacial de los 6 grupos formados. De manera particular, en la figura 5 se observa la discriminación de los seis grupos de acuerdo a las seis especies consideradas *a priori*. Dicha discriminación está dada sobre la raíz 1 (eje x) para *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus entomelas* (EE), *Eucinostomus dowii* (ED) y *Gerres cinereus* (GC) distribuyéndose sobre izquierda, mientras que *Eugerres lineatus* (EL) y *Eucinostomus currani* (EC) sobre derecha. Sobre la raíz 2 (eje y) de la misma figura, de manera descendiente se encuentran, *D. brevirostris*, *E. entomelas*, *E. lineatus*, *E. currani*, *E. dowii* y *G. cinereus*. Si bien, sobre la raíz 2 no se encuentran completamente separados, ya que existe un espacio aparente en el

que la distribución de los grupos es compartida, a razón de las variables que aportan mayor valor para la discriminación de grupos.

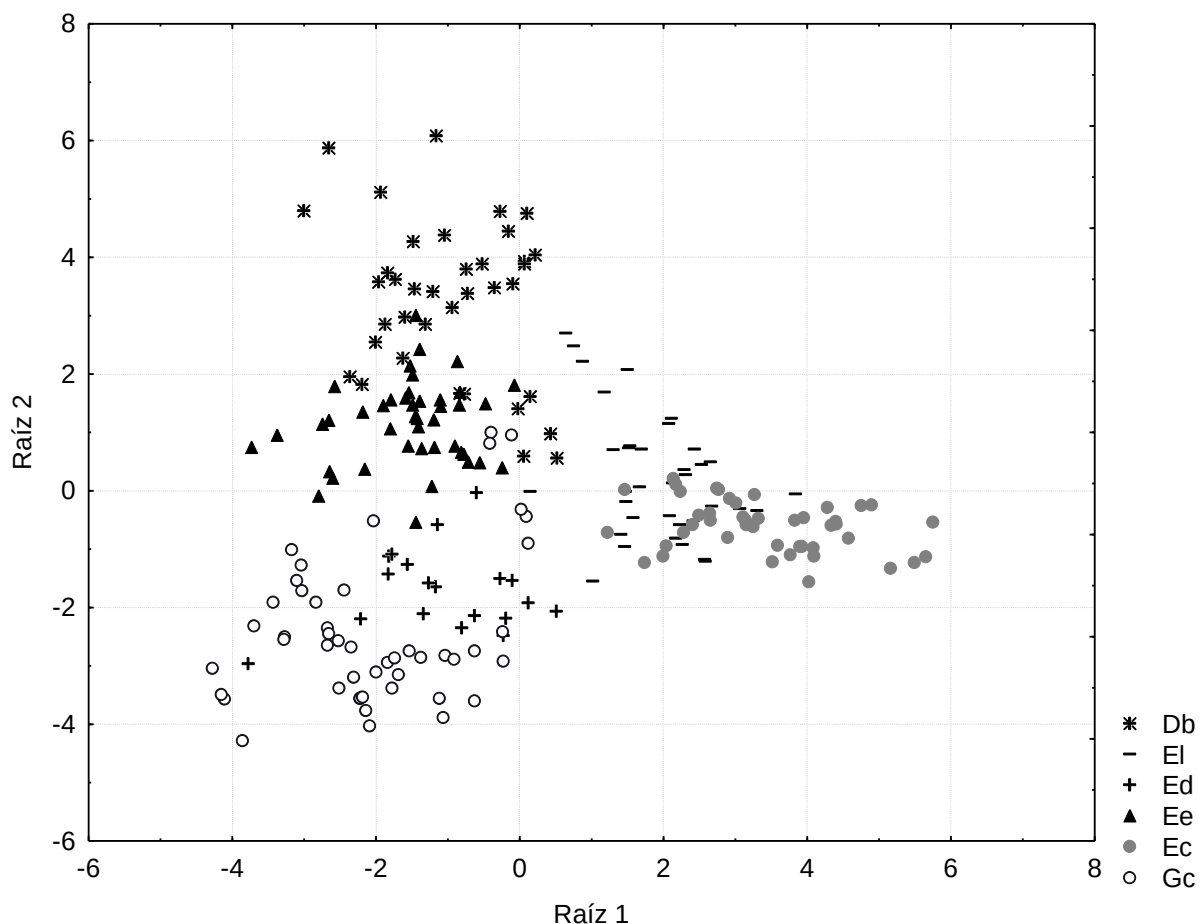


Figura 5.- Proyección en plano de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 2 (72.5% de la varianza expresada), a partir de las variables de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc).

También se puede observar que las especies con mejor discriminación resulta *Eucinostomus currani* y *Gerres cinereus*, mientras que las especies con menor separación serian por un lado, *Diapterus brevirostris* y *Eucinostomus entomelas*.

Cabe resaltar que las tres especies de *Eucinostomus* se encuentran distribuidas de manera cercana hacia el centro, sin que se encuentren algunas de las especies de los otros géneros dentro del espacio de distribución del mismo.

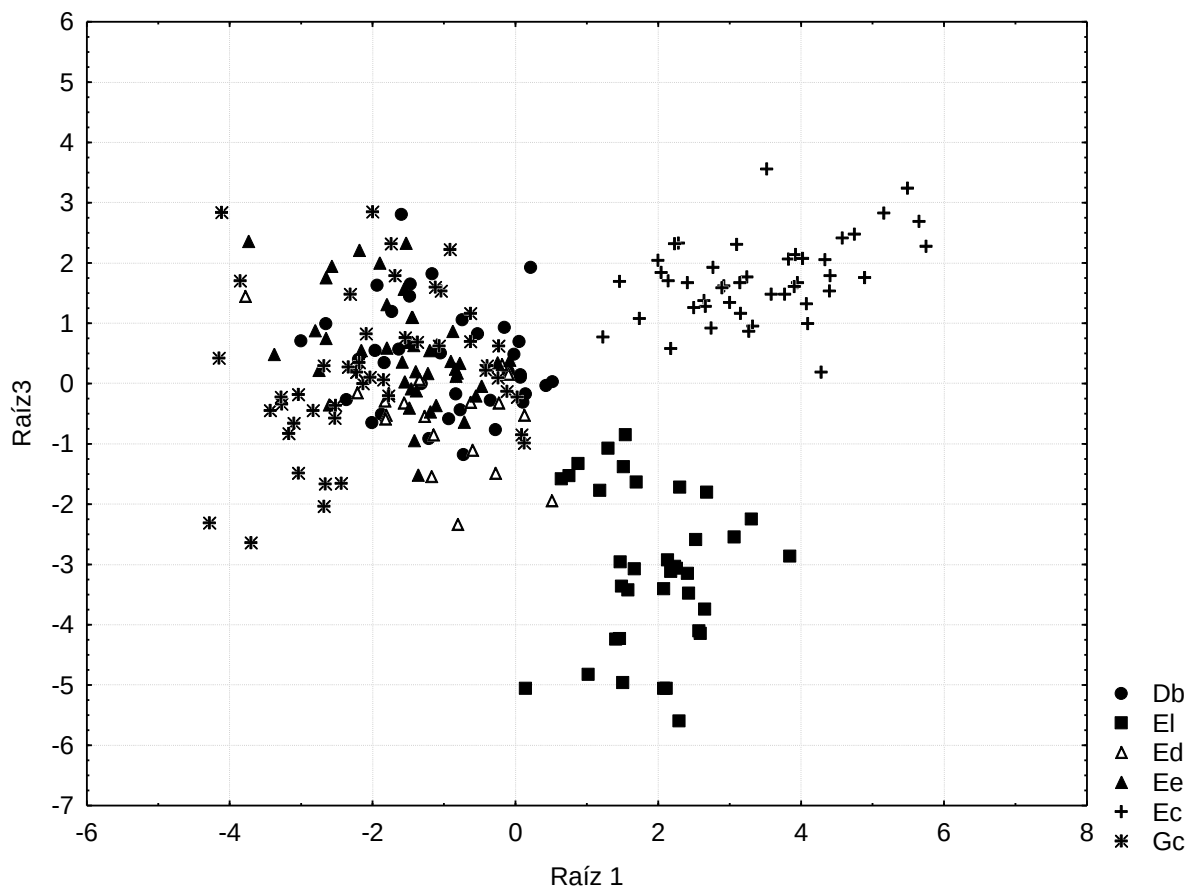


Figura 6.- Proyección de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 3 (57.2% de la varianza explicada), a partir de las variables de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec), *E. dowii* (Ed), *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc).

Por otro lado, en la figura 6, se muestran la proyección en plano del espacio multifactorial en los ejes 1 y 3, que en conjunto muestran el 67.6% de la variabilidad obtenida en el análisis. La raíz 3, aporta el 22% de la variabilidad, la cual es eficiente para discriminar a *Eugerres lineatus* (El) y *Eucinostomus currani* (Ec), pero no lo es, para el resto de las especies.

AD II.2.2. Se analizó de igual manera, por medio de un AD a las proporciones obtenidas de las dimensiones del *sulcus*, así como de la longitud máxima sobre el ancho máximo (LM/AM) por especie. Al igual que en el AD anterior, este análisis produjo correlaciones canónicas que indican la proporción de la varianza compartida entre las especies (variables de los otolitos) y las funciones discriminantes generadas. Una vez más, los valores del estadístico de prueba *Chi-cuadrada* (X^2), expresan una asociación significativa entre las especies y las variables utilizadas. Con excepción de la raíz canónica 3, la cual resultó no ser estadísticamente significativa, ($p > 0.05$) (Tabla 10).

Tabla 10.- Resumen del análisis discriminantes (AD) aplicado a las 6 especies consideradas en este estudio por medio de los índices obtenidos de las proporciones de las estructuras encontradas en la cara proximal del otolito. Prueba *Chi cuadrada* (X^2) con remoción de raíces: Ra (raíz canónica o función discriminante); g.l. (grados de libertad); R (Correlación Canónica); λ (Lambda de Wilks); nivel- p (nivel de significancia).

Ra	Eigen-valor	R	λ	X^2	g.l.	p-nivel
0	26.762	0.981	0.005	1108.68	20	0.00
1	4.508	0.904	0.159	394.09	12	0.00
2	0.129	0.338	0.881	27.23	6	0.00
3	0.005	0.071	0.994	1.10	2	0.57

En la Tabla 11, se muestra el resultado del análisis discriminante del segundo grupo de variables, en donde las variables que resultaron ser estadísticamente significantes fueron LC/LO y LC/AR, la variable dada por LO/AO, obtuvo un valor de $p = 0.48$ por su parte la tolerancia de LM/AM fue de 0.94. Sin embargo estas fueron incluidas para AD.

Tabla 11.- Resumen de la función de AD para cuatro variables analizadas. Lambda de Wilks = 0.009 aprox. $F(20,704) = 107.16$ $p < 0.0000$ * variable no significativa (en negrita). Longitud de la cauda-longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la cauda-ancho del *rostrum* (LC/AR).

Variable	Lambda de Wilks	Lambda Parcial	Valores de F	P	Tolerancia
LM/AM	0.150	0.064	612.66	0.00	0.94
LC/LO	0.010	0.906	4.39	0.00	0.11
LO/AO	0.009	0.979	0.89	0.48 *	0.11
LC/AR	0.010	0.944	2.47	0.03	0.12

El porcentaje de variabilidad acumulada, se observa en la Tabla 12, en donde la primera raíz representa hasta el 76% de la variabilidad, la segunda raíz hasta el 99% de la variabilidad acumulada, la tercera raíz con un valor muy cercano al 100% y en la cuarta raíz se explica el 100%.

Tabla 12.- Coeficientes normalizados derivados del análisis discriminantes (AD) aplicado a las seis especies consideradas en este estudio por medio de los índices obtenidos de las proporciones del *sulcus*, así como de la longitud y el ancho máximo del otolito (LM/AM). Longitud de la cauda-longitud del *ostium* (LC/LO), longitud del *ostium*-ancho del *ostium* (LO/AO) y longitud de la cauda-ancho del *rostrum* (LC/AR).

Variable / Raíz	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3	Raíz 4
LM/AM	-1.023	-0.098	0.002	0.032
LC/LO	0.203	0.778	1.355	-2.546
LO/AO	0.239	0.219	0.425	-2.915
LC/AR	-0.077	0.414	-1.332	2.465
Eigenvalor	14.942	4.501	0.164	0.007
Porcentaje acumulado	76.1%	99.1%	99.9%	100%

En la matriz de clasificación (Tabla 13), los individuos fueron asignados con 79.18% de certidumbre estadística promedio, donde la especie que resultó ser mejor definida al igual que en el caso anterior, fue *Eucinostomus currani* con 100% de asignación correcta al grupo definido *a priori*, mientras que la de porcentaje más bajo fue *Eugerres lineatus* con 53%. En este análisis fue necesario remover algunos ejemplares debido que las dimensiones del *sulcus* no resultaron ser claras, esto debido al propio manejo de los ejemplares. Para *Eucinostomus entomelas* se removieron 3 otolitos, en *E. currani* 2, *Eucinostomus dowii* 1 y finalmente para *Gerres cinereus* 3.

Tabla 13.- Matriz de clasificación producida por el análisis discriminante (AD), *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC). En los renglones se muestra el número de individuos (otolitos) analizados por especie.

	% de corrección	DB-p = 0.17	EL-p = 0.15	ED-p = 0.09	EE-p = 0.18	EC-p = 0.19	GC-p = 0.20
Db	68%	25	12	0	0	0	0
EL	53%	17	19	0	0	0	0
ED	70%	0	0	14	4	0	2
EE	81%	1	0	6	30	0	0
EC	100%	0	0	0	0	43	0
GC	91%	1	1	2	0	0	39
Total	79%	44	32	22	34	43	41

Las distancias fenotípicas basadas en las distancias cuadráticas de Mahalanobis, resultaron ser significativas para la distinción de grupos ($p = 0.000$) (Tabla 14). En este caso al igual que en el AD anterior (AD II.2.1), estas distancias, muestran la afinidad entre las especies.

Tabla 14.- Distancias cuadráticas de Mahalanobis obtenidas de las distancias entre los centroides o valores promedio de las medias de las variables morfométricas cuantificadas en el análisis discriminante (AD) sobre la cara proximal de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (DB), *Eucinostomus currani* (EC), *E. dowii* (ED) *E. entomelas* (EE), *Eugerres lineatus* (EL) y *Gerres cinereus* (GC).

Grupo	DB	EL	ED	EE	EC	GC
DB	0	0.40	20.41	36.31	195.93	15.79
EL		0	17.72	33.81	178.88	11.48
ED			0	6.02	157.27	7.32
EE				0	189.17	21.25
EC					0	111.86
GC						0

Sin embargo, a diferencia del análisis discriminante anterior, las especies que muestran mayor afinidad son, *Diapterus brevirostris* y *Eugerres lineatus* (valor de 0.4083), seguidos de *Eucinostomus entomelas* y *Eucinostomus dowii* (valor de 6.02), con un valor muy cercano entre si *Gerres cinereus* y *E. dowii* (valor de 7.32). Por otro lado, las especies que presentan menor afinidad fenotípica resultaron *D. brevirostris* y *Eucinostomus currani* (valor de 195.93) (Tabla 14).

En las figuras 7 y 8, se observa la proyección en plano del espacio multifactorial producido por el AD de las variables de las dimensiones del *sulcus*. En estas proyecciones se aprecia la distribución espacial de los seis grupos formados por cada una de las seis distintas especies con una varianza acumulada de 99%.

Específicamente en la figura 7, donde se muestran la variabilidad obtenida por las raíces 1 y 2, las cuales representan el 99% de la misma. Sobre la raíz 1 se muestra dos grupos, uno dado por *Eucinostomus currani* (a la izquierda) separándolo del resto de las especies, esta especie resulto la que presenta un

mayor porcentaje de discriminación con el resto de las especies. Las variables que resultaron presentar mayor poder de discriminación fueron LC/LO y LO/AO. Sobre la raíz 2 se observa de arriba abajo, a *Eucinostomus entomelas*, *Eucinostomus dowii* y *Gerres cinereus*, Finalmente la raíz 1 y 2 de este AD, no resultaron buenos discriminantes para distinguir a *Diapterus brevirostris* de *Eugerres lineatus*

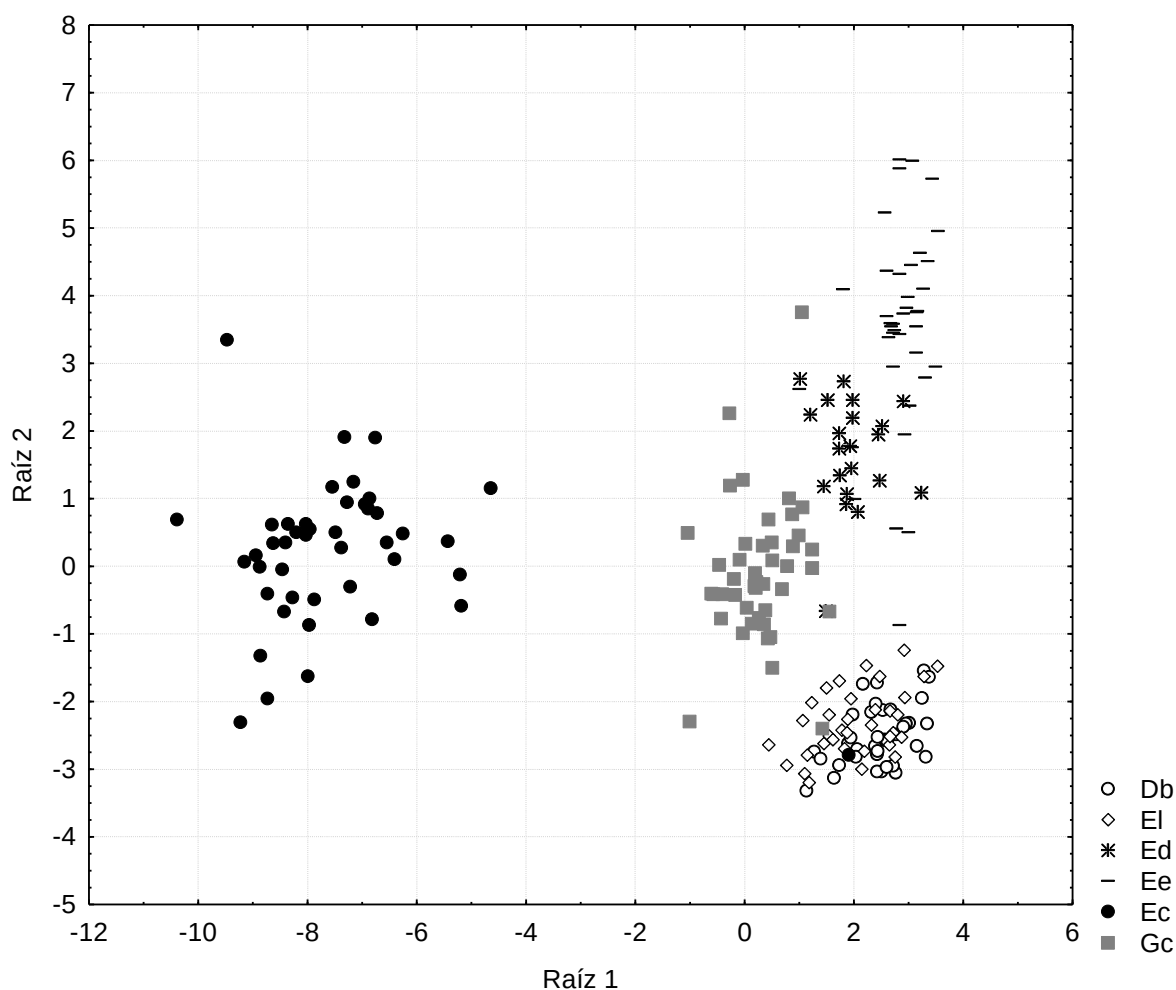


Figura 7. Proyección en plano de las variables del análisis discriminante (AD) obtenidos de las raíces 1 y 2, (99% de la varianza expresada) a partir de los índices de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc).

En la figura 8, se muestran la proyección en plano del espacio multifactorial de las raíces 1 y 3, que representan el 76.9% de la variabilidad acumulada, en el segundo AD.

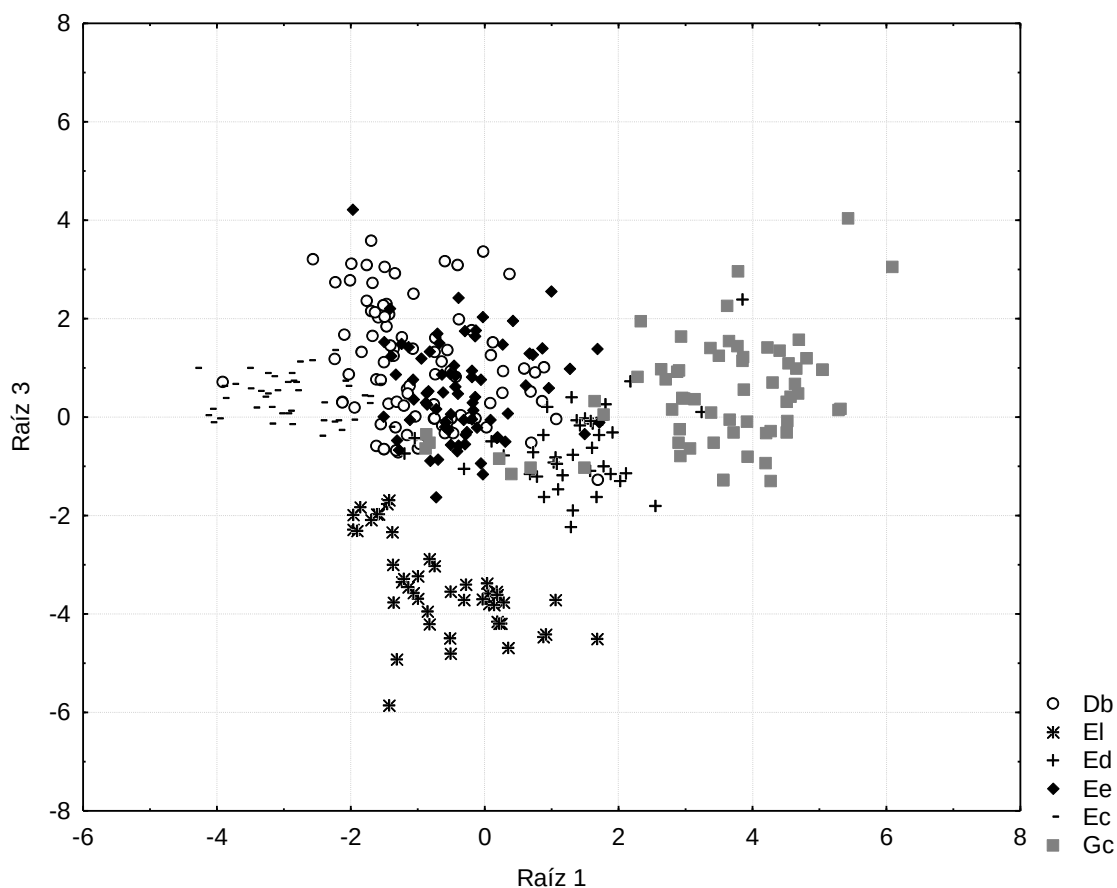


Figura 8.- Proyección en plano de las variables del análisis discriminante obtenidos de las raíces 1 y 3 (76.9% de la varianza expresada) a partir de los índices de los otolitos de las especies *Diapterus brevirostris* (Db), *Eugerres lineatus* (El), *Eucinostomus currani* (Ec) *E. dowii* (Ed) *E. entomelas* (Ee) y *Gerres cinereus* (Gc).

En este caso, la raíz 3 las variables LC/LO y LC/AR resultaron las de mayor poder de discriminación, sin embargo tal raíz representan un porcentaje muy bajo (8%) de la varianza explicada. Pese al bajo porcentaje que representa este es suficiente para discriminar a *Eugerres lineatus* del resto de las especies, mientras

que *Diapterus brevirostris* moderadamente discriminada a manera general del género *Eucinostomus*. Por otro lado, sobre la raíz 1, las especies que resultaron discriminadas de manera más evidente del resto de las especies son *Eucinostomus currani* (a la izquierda) y *Gerres cinereus* (a la derecha).

Finalmente es importante señalar que en esta proyección, de manera semejante al igual que en el AD anterior (véase figura 5), el grupo formado por el género *Eucinostomus*, se encuentra distribuido hacia el centro de la proyección (intersección de los ejes). Pese a que no se discriminan completamente entre si y a que cada especie de este género, muestra cierto traslape con el resto de las especies, con excepción de *Eugerres lineatus*, estas no se encuentra dentro de la distribución del género, si no, hacia los extremos.

II.3 ANÁLISIS DE CONTORNO: ANÁLISIS DE FOURIER Y DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

Utilizando las imágenes digitales depuradas y binarizadas, se obtuvieron 77 coeficientes estandarizados de los descriptores elípticos de Fourier (DEF), los cuales fueron normalizados como resultado de la derivación por la transformación discreta de Fourier, mediante los códigos en cadena, de acuerdo al procedimiento establecido por Kuhl y Giardina (1982). Para resumir la información que incluye la variación de los coeficientes, se obtuvieron los componentes principales.

De este ACP, se puede observar en la tabla 15, que el primer componente representa un alto porcentaje de la variabilidad acumulada (41.94%) de la variabilidad explicada, mientras que en los primeros ocho componentes se encuentra acumulado el 90.3% de la variabilidad explicada.

Tabla 15.- Tabla de coeficientes normalizados derivados de los análisis de componentes principales aplicado a las seis especies consideradas en este estudio, coeficientes obtenidos del análisis de Fourier. Porcentaje (%) representa el tanto por ciento de la variabilidad explicada en cada componente. PC1 = Componente principal 1, PC2 = Componente principal 2... PCN.

	Eigenvalor	Porcentaje (%)	P. acumulado (%)
PC1	8.52346	41.94	41.94
PC2	3.97935	19.58	61.52
PC3	2.70519	13.31	74.84
PC4	1.36436	6.71	81.55
PC5	6.19666	3.04	84.60
PC6	5.30722	2.61	87.21
PC7	3.46879	1.7	88.92
PC8	2.80597	1.38	90.30

Para el análisis la variabilidad acumulada se obtiene el 100% en 77 componentes. Este procedimiento, se realiza utilizando los DEF donde la variación de la forma de los otolitos, es expresada por cada uno de los componentes derivados y fue visualizada utilizando una transformación inversa de Fourier (Rohlf y Archie, 1984).

La variación en la forma, es decir, la visualización de los componentes derivados, es representada en unidades de desviación estándar a partir de una forma media, que es el promedio de los coeficientes de Fourier para todas las formas analizadas. La reconstrucción del contorno que se muestra Figura 9, representa en contorno verde la reconstrucción de la forma media, en roja se suma dos veces su desviación estándar, en azul se resta dos veces su desviación estándar.

En este análisis, resalta que en los primeros cuatro PC, es decir el 81.5% de la variabilidad acumulada son suficientes para observar donde se encuentra la mayor variabilidad, como se puede apreciar en la Figura 9.

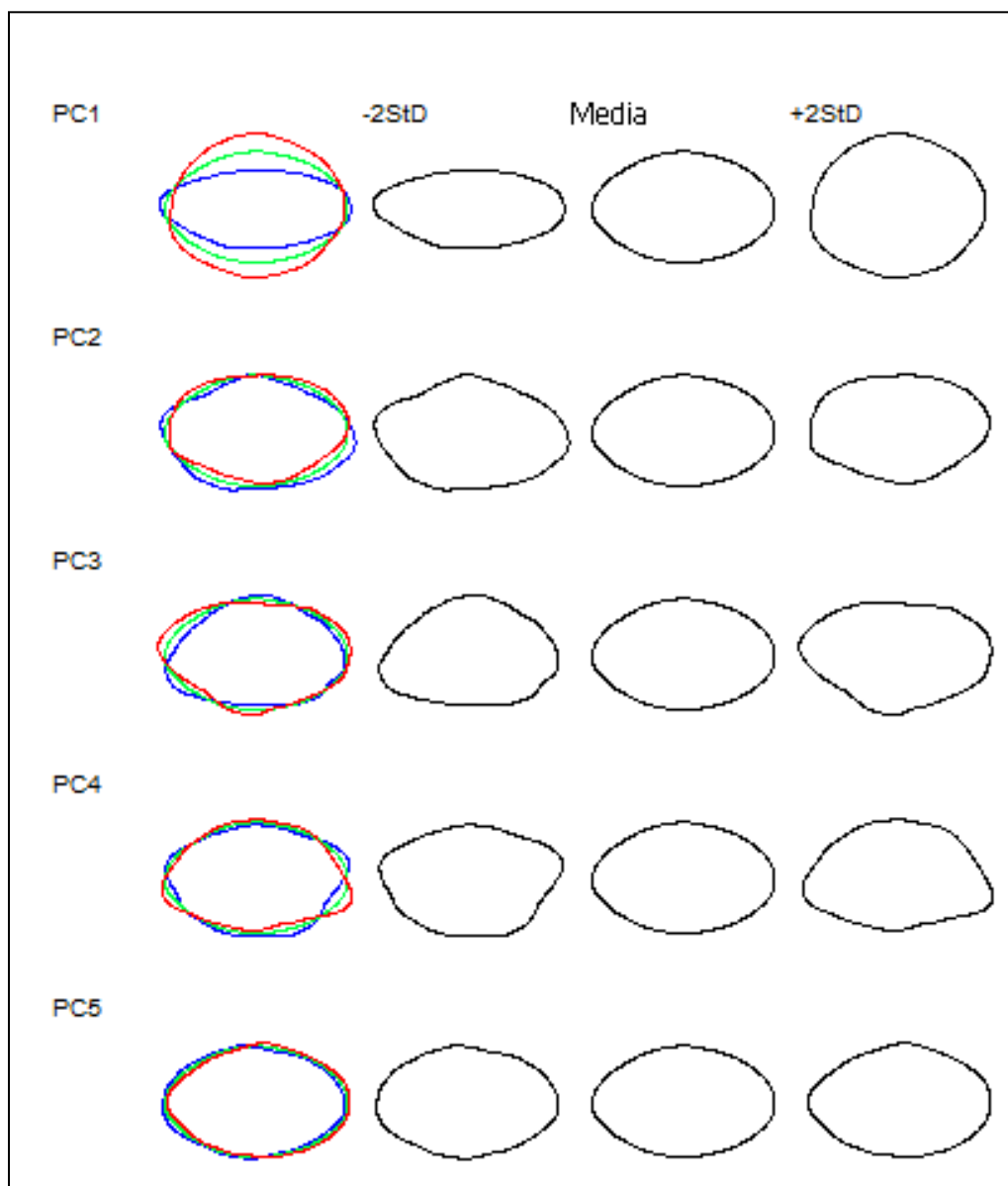


Figura 9.- Variación en la forma del otolito en las especies de Gerreidae seleccionadas del PC1 al PC5 (84.6% de la varianza acumulada). Morfología reconstruida a partir de los descriptores elípticos de Fourier (DEF) igualando el coeficiente para el correspondiente a cada PC, a su media y añadiendo o restando el valor de dos veces la desviación estándar.

Para el caso PC1, donde se encuentra la mayor proporción de la variabilidad explicada (41.9 %) es observada en la longitud y ancho de la forma, es decir la variación a mayor escala, de la proporción general del cuerpo de la estructura. Mientras que una proporción menor de la variación explicada en los componentes restantes, se presenta en los contornos (e.g. irregularidades de los contornos). Los PC2 y PC3, es donde, se pueden observar la variación dada en los bordes de la región anterior y posterior, los márgenes pueden encontrarse en una curvatura convexa o ligeramente cóncava. En los PC4 y PC5, la representación de variación es poco distinguible (líneas de colores sobrepuestas) (Figura 9). Finalmente, como un ejercicio complementario los resultados obtenidos del Análisis de Fourier, fueron graficados en un diagrama 3D, el cual se muestra en la figura 10.

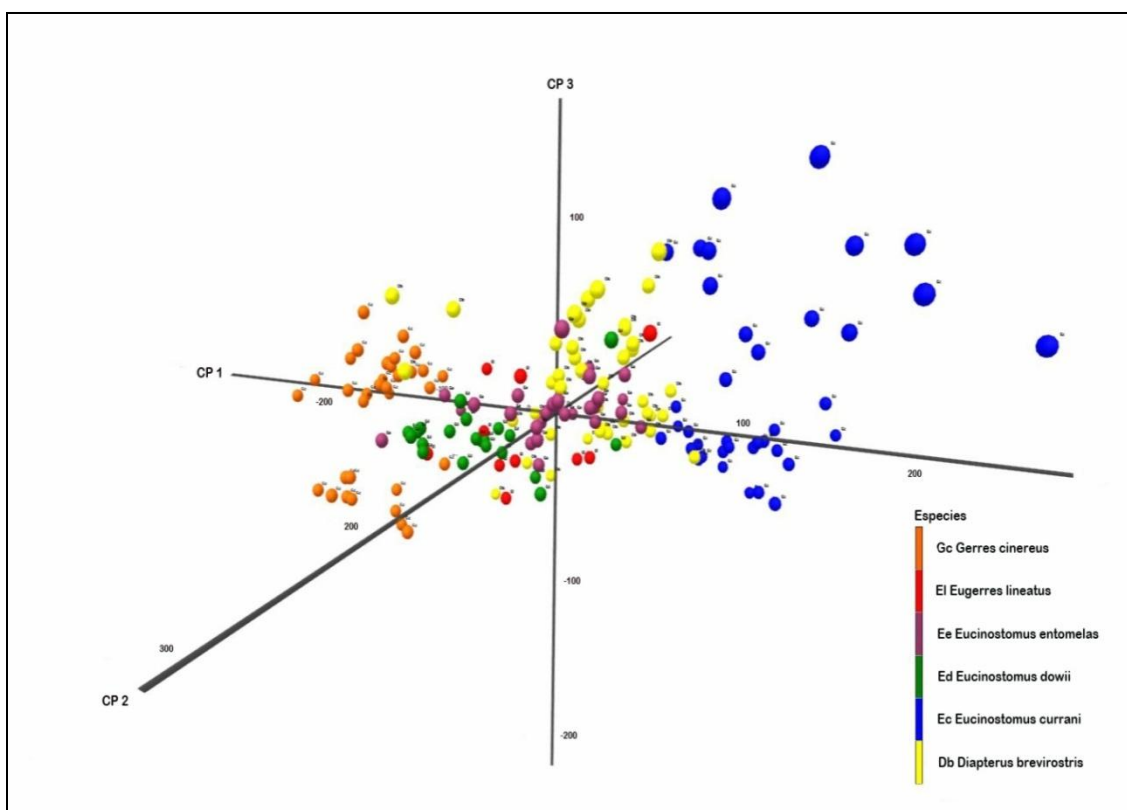


Figura 10. Proyección en plano de las variables de los PC1, PC2 y PC3 (74.84% de la varianza expresada) a partir de los DEF extraídos de los contornos de los otolitos de las especies: *Diapterus brevirostris* (amarillo, Db), *Eugerres lineatus* (rojo, El), *Eucinostomus dowii* (verde, Ed) *E. entomelas* (guinda, Ee), *E. currani* (azul, Ec) y *Gerres cinereus* (naranja, Gc).

Se aprecia en la proyección en plano del espacio multifactorial de los tres primeros componentes (CP 1, 2 y 3), que en conjunto representan hasta el 74.84% de la variabilidad acumulada en los otolitos analizados con la extracción de su contorno (DEF). Este análisis, resulta eficiente para la formación de grupos, en este caso formados. Dentro de la variación presente hasta el CP3, se observa que algunas especies se separan del resto con mayor eficiencia que otras. Por ejemplo *Gerres cinereus*, *Eucinostomus currani* y *E. dowii* se encuentran discriminados en mayor grado que el resto de las especies, considerando que en grafico solo se representa el 75% de la variabilidad expresada en los componentes del 4 al 8. Otras como, *Diapterus brevirostris* y *Eugerres lineatus*, se distribuyen en el espacio multifactorial de manera muy semejante indicando una similitud morfológica en cuanto, a la extracción de la figura que delinea el contorno del otolito y su variación entro de los PC graficados.

DISCUSIÓN

Los estudios morfológicos de los otolitos se han ido incrementando en los últimos años, una vez que se ha demostrado que en la mayoría de las especies estudiadas, resultan una herramienta eficaz para el reconocimiento de especies o bien, de unidades poblacionales (e.g. *stocks*). Lo anterior está fundamentado en que tales estructuras, presentan por lo general ciertos caracteres morfológicos que resultan poseer valores específicos-diagnósticos (Lombarte y Castellón, 1990; Tuset *et al.*, 2003; 2006). En este sentido, el otolito *sagitta* ha sido ampliamente utilizado como un auxiliar en la identificación de especies ícticas (e.g. García-Rodríguez y Auriolles-Gamboa, 2004; Galley *et al.*, 2006; Tuset *et al.*, 2006).

No obstante, varios de los trabajos realizados con otolitos presentan descripciones subjetivas, carentes de un marco de referencia objetivo para su comparación. Estas descripciones no estandarizadas, es decir, no referidas a formas de reconocimiento universal, como podrían ser, figuras geométricas (e.g. cuadrado, rectángulo, etc.) así como, la influencia de factores exógenos (e.g. Lombarte y Castellón, 1990; Torres *et al.*, 2000) y del propio desarrollo ontogenético sobre la morfología de los otolitos (Mascareñas-Osorio, 2002), pudieran explicar porque la estructura no haya sido abordada de manera cuantitativa sino hasta hace poco tiempo.

Lo anterior pudiera parecer contradictorio, por lo que, es importante mencionar que la apariencia o configuración de todos los organismos, también son influenciadas de distintas maneras por factores exógenos y endógenos (ontogenia), por lo que en las descripciones de cualquier especie, que pueden ser consultadas en guías de identificación se reconoce y se menciona el grado o rango de variación presente de la especie de interés e.g. *sensu* González-Acosta *et al.*, 2005; de 15 a 20 (moda 17) espinas branquiales en la parte inferior del arco branquial en *Eugerres lineatus*.

A su vez, existe un grado de similitud de algunos caracteres dentro de las especies, por ejemplo *sensu* González-Acosta *et al.* (2005) de 11 a 14 espinas branquiales en la parte inferior del arco branquial en *E. axilliaris* y de 12 a 13 en *E. brevimanus*. Ejemplos como este, han sido parte de la problemática de la familia. Es por esto, que al aportar información de diversas estructuras, es importante reconocer y evaluar la variación que pudiera encontrarse presente en cada carácter considerado, la cual puede presentarse en distintos aspectos (morfológico, químico, entre otros).

Como en el caso de los otolitos, que a la par de las técnicas de análisis de morfología cuantitativa, existe un interés creciente, por el desarrollo de nuevas herramientas para su estudio, que van desde sistemas expertos para la identificación de especies (*e.g.* Lombarte *et al.*, 2006), hasta el estudio de componentes isotópicos para el reconocimiento de las poblaciones (*e.g.* Jamieson *et al.*, 2004; Fodrie y Herzka, 2008), que permiten identificar aspectos dinámicos de la población, como pueden ser las migraciones (*e.g.* Zlokovitz *et al.*, 2003; Fodrie y Herzka, 2008; Valle y Herzka, 2008), entre otros.

Desde el punto de vista morfológico, se dice que dentro la osteología se encuentran el estudio de esta estructura, aunque el otolito no es propiamente un hueso, ya que, no posee características propias de tejido óseo, como células (*e.g.* osteocitos, osteoblastos) hidroxiapatita (fosfato tricálcico), entre otras (Helfman *et al.*, 1997).

Existe una variedad de estudios de esta naturaleza dentro de la familia Gerreidae, aunque esta estructura ha sido prácticamente poco considerada o acaso tratada de manera sinóptica en algunas obras (*e.g.* Lemos *et al.*, 1993; Díaz-Murillo, 2007). Esta familia que históricamente se ha caracterizado por la complejidad de su taxonomía, tanto a nivel genérico como en el específico (*e.g.* Curran, 1942; Matheson, 1983) debido entre otras cosas, a la subjetividad introducida en las claves taxonómicas. De esta forma, se considera que aún

persisten problemas de índole taxonómico-nomenclatural y un aspecto relacionado con esta problemática, resulta la disponibilidad de ejemplares de las distintas especies que componen a la familia en las costas del continente americano. En el presente trabajo se incluyen seis de las 11 especies más conspicuas, reconocidas como válidas para el Pacífico oriental, (De La Cruz-Agüero, 2001), de los géneros *Diapterus*, *Eucinostomus*, *Eugerres* y *Gerres*.

Los géneros *Eucinostomus*, *Eugerres* y *Gerres* han sido objeto de estudios para clarificar la taxonomía y sus relaciones filogenéticas (e.g. De la Cruz- Agüero, 2001; González-Acosta, 2005; Burnes-Romo, 2009), de igual forma se han desarrollado trabajos referentes al conocimiento de la osteología y relaciones morfométricas de *Diapterus* (e.g. Kobelkowsky, 2003; Álvarez-Pliego, 2004; Ramírez-Torres, 2007). Cabe mencionar que en todos estos trabajos de revisión citados, los otolitos no fueron examinados en modo alguno, salvo pocas excepciones como el trabajo de tesis de Barceló-Márquez (1998) donde se describe el otolito *sagitta* de *Diapterus rhombeus* con ejemplares extraídos costas cercanas a Venezuela y el trabajo mencionado de Lemos *et al.* (1993), por tanto se carece de información suficiente para su contraste.

Una estrategia para contribuir al esclarecimiento de las posibles relaciones taxonómicas y filogenéticas, resulta el estudio de los objetos desde todos los puntos de vista y de análisis posibles. Así, las evidencias morfológicas (e.g. morfometría, osteología), genéticas, paleontológicas y de cualquier otra índole, deberán encaminarse a aportar la “evidencia total” (*sensu* Farías *et al.*, 2000). En este contexto, buscando aportar elementos taxonómicos, algunos caracteres (variables) morfológicos del otolito *sagitta*, revisados en el presente trabajo por medio de la variación de la forma y del análisis de contorno, contribuye en cierta medida a la diagnosis intergenérico, e interespecífico (variables: D, FL, P, a. véase Tabla 7 y Figura 5).

Por otro lado, se reconoce que algunas variables resultaron ser poco eficientes para la discriminación de algunos grupos de las especies seleccionadas *a priori* tales como Feret (FL y Fmx) (véase Tabla 7 y Figura 6), que solo discrimina a 2 de las seis especies.

Y no obstante que se ha documentado que la morfología de esta estructura puede ser afectada por factores ambientales (asociados a diferentes sustratos, Volpedo y Echeverría, 2002) (Profundidad, Lombarte y Cruz, 2007; Volpedo *et al.*, 2008), entre otros, se observan que existen caracteres propios únicos (autopormorficos) que de utilizarse permitirían en la práctica, el reconocimiento grupos de manera rápida y eficiente de grupos (especies, genero, familia). Por ejemplo, en los peces de los órdenes Pleuronectiformes, Gadidiformes, entre otros, los otolitos que se han descrito en obras elaboradas con especímenes de diferentes ubicaciones geográficas, así como especies distintas, presentan configuraciones similares dentro de su propio orden (ver Mascareñas-Osorio, 2002; Díaz-Murillo, 2007; Tuset *et al.*, 2008).

Bajo este sentido, el ejemplo más evidente en el presente trabajo, se demuestra en la especie *Gerres cinereus*, la cual, presenta un carácter propio que la distingue rotundamente del resto de las especies. Como se muestra en las descripciones de las fichas sinópticas, en parte media de la longitud del otolito, sobre el borde dorsal, con origen en la cara proximal y orientada hacia la distal se encuentra, se encuentra una proyección o alargamiento del borde. En las fichas se emplea el término “aletilla” bajo el criterio del autor, debido a que en las consultas bibliográficas, no se encontró referencia para nombra alguna estructura similar, como tampoco se encontró, en las obras consultas que la descripción del otolito de alguna otra especie presentase alguna prolongación semejante. El término de “aletilla” propiamente dicho, tiene un uso ordinario para la discontinuidad de aletas dorsal o anal en fragmentos de menor tamaño.

Si bien, este carácter ayuda a discriminar cualitativamente a la especie del resto, bajo la percepción visual del interesado (e.g. investigador, entre otros), no se incluyen de manera formal dentro del análisis cuantitativo (e.g. relación longitud de la estructura con respecto al AO), dentro del mismo análisis, lejos de aportar información para el cumplimiento del objetivo, pudo haber tenido un efecto contrario, mismo que se discutirá más adelante.

De acuerdo a lo mencionado por Tuset (2000), en su disertación de tesis la morfología del otolito que ha sido sometida a interpretaciones ambiguas, el mismo caso de la “aletilla” podría ser uno. Para este autor, la unificación de criterios en obras con en la recopilación de Smale *et al.* (1995), así como, el presente trabajo resultaron ser los trabajos de Volpedo y Echeverría (2000), Díaz-Murillo (2007) y Tuset *et al.* (2008). Además de los caracteres demostrados y recomendados en tales trabajos, para las especies incluidas en este trabajo la relación que dada por LC/LO, proporción concuerda con los resultados de Tuset (2000), para las especies de cabrillas del género *Serranus* (Perciformes: Serranidae) en las Islas Canarias.

De esto, se pueden discutir dos aspectos importantes: el primero será, que en trabajos futuros se proponga una terminología universal para estructuras accesorias (cabe aclarar, que existen para algunas, pero no se encontró para este caso en específico), además de que se evalúe o cuantifique la dimensión de la misma para verificar si existe alguna relación con la dimensión del otolitos.

En segundo lugar, lo referente al *sulcus*, Gauldie (1988) demostró para el orden Gadidiformes que dicha proporción (*sulcus*-otolito) resulto ser importante para el reconocimiento de especies y que además resalta en su trabajo que existe posibilidad de que la capacidad acústica dependiese de esta, puesto que numerosos autores han puesto de manifiesto la variación específica en la forma de la *sagitta* y su área sensorial, la “macula sacular” (Popper y Coombs, 1980; Popper, 1982; Popper *et al.*, 2005).

Sin el afán de forzar lo discutido en este trabajo, a una connotación filogenética (misma que no fue evaluada), bajo la perspectiva de los resultados y las propuestas de diversos autores, como los últimos mencionados, quienes observan una relación forma-razón fisiológica, así como, muchos otros ya mencionados, donde se concluye que existe una relación forma-distribución (u otros aspectos ecológicos), (e.g. Begg y Brown, 2001 y Stransky *et al.*, 2005), resulta inevitable que en algunos grupos taxonómicos, se pretendan como propuesta para detectar relaciones filogenéticas, mismas que han sido documentadas para algunos grupos (Gaemers, 1986; Maisey, 1987; Murray y Wilson, 1999; Assis, C. A. 2003). Por razones logísticas los estudios que evalúen la variación específica del otolito y el área sensorial son los menos frecuentes, los varios trabajos mencionados Popper y colaboradores resultan ser las más completos y actualizados.

En cuanto a los resultados obtenidos en el presente trabajo, en la aplicación del AD sobre variables del otolito *sagitta*, se encontró un porcentaje de asignación correcta promedio de 84.5%, considerando los dos AD realizados (90% y 79%, respectivamente) para las especies de los cuatro géneros incluidos (e.g. *Diapterus*, *Eucinostomus*, *Eugerres* y *Gerres*). Otros autores, como De La Cruz-Agüero y Galván-Magaña (1993), utilizan variables que cubren la morfología externa para el género *Eucinostomus* en el Pacífico mexicano discriminan a las especies con un 97% de certidumbre, mientras que De La Cruz-Agüero, (2001) considerando a todas las especies reconocidas de este mismo género (Pacífico y Atlántico) reporta un 90% en la asignación. Para el género *Eugerres*, el porcentaje reportado es del 93% (González-Acosta, 2005), mientras que para *Diapterus* fue del 98% (Ramírez-Torres, 2007) y en *Gerres* 92% (Burnes-Romo, 2009), este ultimo monoespecífico, aunque el estudio considera a especímenes distribuidos en las dos vertientes continentales de Americana. De estos trabajos surgen hipótesis de una parte la filogenia de la familia, las cuales son el marco de referencia para contrastar y comparar los resultados obtenidos.

En el primer caso del trabajo mencionado de, De La Cruz- Agüero (2001) en su análisis cladista del género *Eucinostomus* propone a la especie *Gerres cinereus* como la especie fraterna de aquel, reconociendo el clado formado por las especies de *Diapterus-Eugerres*, en el presente trabajo, en un ejercicio complementario de análisis de grupos (distancia Euclidea, por ligamiento completo) de las relaciones morfométricas del otolito *sagitta* utilizando las distancias de Mahalanobis (Tabla 9).

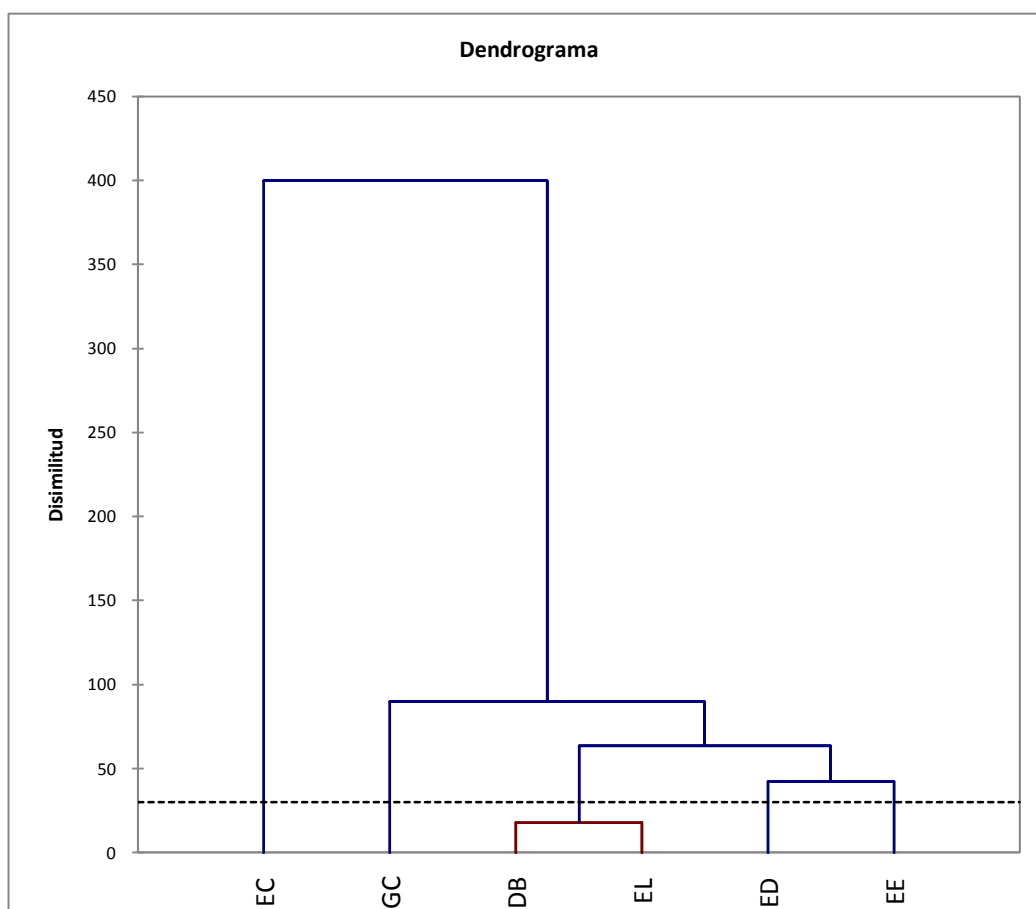


Figura 11. Fenograma de disimilitud morfológica (Distancia Euclidiana, Ligamiento Completo. Distancias de Mahalanobis, Tabla 10), de las seis especies de Gerreidae analizados: DB: *Diapterus brevirostris*. EC: *Eucinostomus currani*. EE: *Eucinostomus entomelas*. EL: *Eugerres lineatus*, ED: *Eucinostomus dowii* y GC: *Gerres cinereus*.

Este ejercicio produjo un arreglo fenético (Figura 11), un tanto congruente con la propuestas de relación filogenética argumentadas en primera instancia por el autor, así como, en trabajos posteriores como los de Benítez-Cortés (2004) y Ortiz-Galindo (2009). Estas dos últimas utilizando criterios de índole, genético y del desarrollo ontogenético, respectivamente. Lo que no concuerda de los resultados obtenidos, con las hipótesis mencionadas, es el caso de *Gerres cinereus*, especie que en propuestas de De La Cruz- Agüero (2001) y Ortiz-Galindo (2009), posee mayor afinidad filogenética al género *Eucinostomus*. En este caso aparenta tener mayor afinidad con *E. entomelas* y *E. dowii* que *E. currani* con las anteriores (véase las distancias de Mahalanobis en la tabla 9 y tabla 14). Este efecto podría darse por lo siguiente; en primer lugar y sin hacer referencia al análisis cuantitativo, los otolitos de las cuatro especies son visualmente parecidos, en tipo de bordes, LM/AM, tipo de *rostrum* etc.

Sin embargo, si se discriminan, en cuanto a las estructuras accesorias, y en este punto se retoma la presencia de una “aletilla” para *G. cinereus*, como se menciona no fue incluida en el análisis cuantitativo, sin embargo, el “error” pudo ser introducido por la percepción del programa de computo, que detecta el ancho máximo de la estructura, y debido a que la prolongación se encuentra sobre un borde, es probable que la presencia de esta estructura, que para el criterio del usuario resulta eficiente para la discriminación de la especie, para el funcionamiento del programa resulto lo contrario.

A manera general en los AD demostraron que las variables consideradas resultaron ser eficientes para la discriminación de los grupos y pese a que en el primer análisis el grupo de variables es mayor y su eficiencia para la asignación de los grupos es moderadamente mayor (90% y 79%, véase tabla 8 y Tabla 13 respectivamente), el segundo grupo, es decir, el de las dimensiones del *sulcus* en el análisis dos variables resultan ser suficientes para la discriminación de los grupos, lo que robustece las propuestas, de incluir al *sulcus*, no solo de manera cualitativa si no, cuantitativa.

Por otra parte, el análisis de contorno, expresado en el ACP, como se puede observar en la Figuras 9 y 10 (e.g. reconstrucción de las formas por la transformación inversa de los coeficientes de Fourier, como en Furuta *et al.*, 1995 y PC:1,2 y 3) permite reconocer que existen ciertas diferencias entre las especies y que tales, se encuentran en la proporción largo y ancho de la estructura (PC1; Figura 9), lo cual coincide con lo encontrado en la estrategia anterior (proporciones morfométricas), así como diferencias encontradas en el contorno (PC2, PC3, PC4; Figura 9), aunque estas últimas son de menor escala (19.58%, 13.31% y 6.71%, respectivamente), aportan información en los tres análisis considerados en este trabajo.

Este último método de contornos, es el de uso más reciente y a pesar de su versatilidad para la evaluación de formas, puede resultar un método complejo de analizar, ya que interviene diferentes procedimientos con fundamentos complejos (e.g. derivación de descriptores elípticos), además de que podría resultar difícil su interpretación biológica de los mismos y de manera individual. No obstante, los descriptores elípticos de Fourier pueden delinear cualquier tipo de forma, con un contorno cerrado bi-dimensional. Esta reconstrucción ha demostrado efectividad en diversos campos de la zoología y la botánica (e.g. Rohlf y Archie 1984; Iwata *et al.*, 1998).

Se puede afirmar entonces, que la variación morfológica significativa en el otolito *sagitta* de las seis especies de Gerreidae analizadas, en términos de sus descriptores de forma, proporciones morfométricas y análisis de contorno, faculta la utilización de esta estructura como un carácter taxonómico diagnóstico intergenérico e interespecífico, con posibles implicaciones de valor filogenético.

CONCLUSIONES

Las propiedades morfológicas (e.g. forma y proporciones morfométricas) de los otolitos de las especies de la familia Gerreidae analizadas en el presente trabajo, tienen un carácter distintivo, por lo que su utilización como estructura de reconocimiento, permite discriminar a las diferentes entidades taxonómicas analizadas (género- especie).

La especie *Eucinostomus currani* presenta una morfología extrema en el otolito *sagitta*, que lo diferencia de sus conespecíficos (*E. dowii*-*E. entomelas*) y de los grupos (*Diapterus brevirostris*-*Eugerres lineatus*) – (*Gerres cinereus*)

La evaluación de los caracteres de la cara interna del otolito, así como del *sulcus*, proporcionaron la información con mayor contenido o importancia para la discriminación de las entidades bajo estudio. Las variables: Área, el Feret y la Circularidad y las proporciones: longitud de la *cauda*-longitud del *ostium* (LC/LO) y longitud de la *cauda*-ancho del *rostrum* (LC/AR), proporcionaron la mayor información para la discriminación de las especies.

A partir del porcentaje de certidumbre en la clasificación y su significancia estadística, se encontró una correspondencia casi total, entre las afinidades morfométricas de las variables del otolito *sagitta* de las especies bajo estudio de la familia Gerreidae, con el arreglo taxonómico actualmente aceptado, tanto a nivel genérico como específico.

La morfología de los otolitos *sagitta* se revela como un carácter taxonómico para los taxa de la familia Gerreidae analizados, lo cual puede explicarse en términos de las relaciones de parentesco o ancestría hipotetizadas por otros autores, potenciando el valor de esta estructura como un caracter con valor filogenético.

REFERENCIAS

- Álvarez, A., B. Morales-Nin, M. Palmer, J. Tomás y J. Sastre. 2008. A two-dimension otolith growth inverse model. *Journal of Fish Biology*. 72, 512–522.
- Álvarez-Pliego, N. 2004. Osteología de *Diapterus peruvianus* (Cuvier, 1830) (Teleostei: Gerreidae). *Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México.
- Assis, C. A. 2003. The Lagenar otoliths of teleost: Their morphology and its application in species identification, phylogeny and sistematics. *Journal of Fish Biology*. 62, 1268-1295.
- Barceló-Márquez, A. C. 1998. Osteología de *Diapterus rhombeus* (Valeciennes, 1830). *Tesis de Licenciatura en Biología Marina*. Universidad del Oriente. Venezuela.
- Begg, G. A., S. E. Campana, A. J. Fowler, y I. M. Suthers. 2005. Otolith research and application: current directions in innovation and implementation. *Marine and Freshwater Research*. 56, 477-483.
- Begg, G. A., y R. W. Brown. 2001. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on Georges Bank based on otolith shape analysis. *Transactions of the American Fisheries Society*. 129, 935-945.
- Begg, G. A. y J. R. Waldman. 1999. An holistic approach to fish stock identification. *Fisheries Research*. 43, 35-44.
- Begg G. A., W. J. Overholtz y N. J Munroe. 2001. The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* stocks on Georges Bank. *Fishery Bulletin*. 99, 1–14.
- Bird, J. L., Eppler, D. T. y Checkley, D. M. 1986. Comparisons of herring otoliths using Fourier-series shape-analysis. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*. 43, 1228-1234.
- Benítez-Cortés, O. 2005. Contribución al estudio de la filogenia molecular de los peces de la familia Gerreidae en México. *Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México.

- Burnes-Romo, L. A.** 2009. Estatus Taxonómico de *Gerres cinereus* (Walbaum, 1972) (Teleostei: Gerreidae). *Tesis de Maestría en Ciencias con Especialidad en Manejo de Recursos Marinos*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México.
- Cadrin, S. X. y K. D. Friedland.** 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*. 43, 129-139.
- Campana, S. E.** 2004. *Photographic atlas of Wsh otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*. NRC Res, Research Press, Canada.
- Campana, S. E.** 2005. Otolith Science entering the 21 century. *Marine and Freshwater Research*. 56, 485-495.
- Campana, S. E. y J. M. Casslman.** 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*. 50, 1062-1083.
- Castro-Aguirre, J. J. L., H. S. Espinosa-Pérez y J. J. Schmitter-Soto.** 1999. *Ictiofauna Estuarino Lagunar y Vicaria de México*. Ed. Noriega Limusa. México.
- Cavalcanti, M. J., L. R. Monteiro y P. R. Duarte-López.** 1999. Landmark-based Morphometric Analysis in Selected Species of Serranid Fishes (Perciformes: Teleostei). *Zoological Studies*. 38, 287-294.
- Chaine, J. y J. Duvergier.** 1934. Recherches sur les otolithes des poissons. étude descriptive et comparative de la *Sagitta* des Téléostéens. *Actes Society Linneus Bord*. 86, 5-254.
- Chollet-Villalpando, J.G.** 2009. Morfología comparada del hueso urohial en especies de la familia Gerreidae (Perciformes). Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México
- Cuadras, C. M.** 1998. Multidimensional Dependencies in Ordination and Classification. In: *Analyses Multidimensionnelles des Données*. Fernández, K. y Morineau, A. (eds.). CISIA- CERESTA, Saint-Mandé (France).
- Curran, H. W. 1942.** A systematic revision of the gerreid fishes referred to the genus *Eucinostomus*, with a discussion of their distribution and speciation. Ph. D. thesis, University of Michigan. E.U.A.
- Daverat, F., J. Tomas, M. Lahaye, M. Palmer y P. Elie.** 2005. Tracking continental hábitat shifts of eels using otoliths Sr/Ca ratios: validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed. *Marine and Freshwater Research*. 56, 713-723.

- Deckert, G. D.** 1973. A systematic revision of the genera *Diapterus* and *Eugerres*: with the description of a new genus, *Schizopterus* (Pisces: Gerreidae). *M. Sci. Thesis*, Northern Illinois University, Dekalb, Illinois..
- De La Cruz-Agüero, J.** 2001. Sistemática y Biogeografía del género *Eucinostomus* (Teleostei: Gerreidae). *Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México.
- De La Cruz-Agüero, J.** 2003. Aplicación de la morfometría geométrica a problemas taxonómicos en peces de la familia Gerreidae (Teleostei) y afines. Informe Técnico Final. Secretaría de Investigación y Posgrado IPN.
- De La Cruz-Agüero, J., M. Arellano-Martínez, V. M. Cota-Gómez y G. De La Cruz-Agüero.** 1997. Catalogo de los peces marinos de Baja California Sur. CAOSA Editores. CONABIO-IPN-CICIMAR, La Paz, B.C.S., México.
- De La Cruz-Agüero, J. y F. Galván-Magaña.** 1993. Morphological discrimination of *Eucinostomus* spp. from the Pacific coast of Mexico. *Bulletin of Marine Science*. 52, 819-824.
- De Vries, D. A., C. B. Grimes y M. H. Prager.** 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stock of King Mackerel. *Fisheries Research*. 57, 51-52.
- Díaz-Murillo, B. P.** 2007. Catalogo de Otolitos de Peces Marinos de las costas adyacentes a Baja California Sur. *Tesis de Licenciatura en Biología Marina*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- Eschmeyer, W. N.** 1998. *Catalog of fishes*. California Academy of Sciences. San Francisco, Cal. USA, Vol. 1-3.
- Farías, I. P., G. O. Arias y A. Meyer.** 2000. Total Evidence: Molecules, Morphology, and the Phylogenetics of Cichlid Fishes. *Journal of Experimental Zoology*. 288, 76–92.
- Fischer W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem.** 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacifico centro – oriental. Volumen II. Vertebrados. Parte 1 y Volumen: Vertebrados, Parte 2. Roma FAO. 646-1652.
- Friedland, K. D. y D.G. Reddin.** 1994. Use of otolith morphology in stock discriminations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*. 51, 91-98.
- Friedland, K.D.** 1996. Analyses of calcified structures ± Fourier shape analysis. *ICES C.M.* 1996/M:1, pp. 17-20.

- Fodrie, F.J. y S.Z. Herzka.** 2008. Tracking juvenile fish movement and nursery contribution within arid coastal embayments via otolith microchemistry. *Marine Ecology Progress Series*, 361:253-265
- Froese, R. y D. Pauly.** (eds.). 2009. *FishBase. World Wide Web electronic publication*. www.fishbase.org, version (02/2009).
- Frost, K. J.** 1981. Descriptive key to the Otoliths of Gadid Fishes of the Bering Chukchi, and Beaufort Seas. *Artic.* 34, 55-59.
- Furuta N, Ninomiya S, Takahashi S, Ohmori H, Ukai Y,** 1995. Quantitative evaluation of soybean (*Glycine max* L., Merr.) leaflet shape by principal component scores based on elliptic Fourier descriptor. *Breeding Science*. 45, 315-320.
- Gaemers, P. A. M.** 1986. Recent progress in cichlid taxonomy based on otoliths, and its significance for the phylogeny of tilapines and haplochromines (Perciformes: Pisces). *Annual Museum Royal Africa. Center Society. Zoological*. 251,143-150.
- Galley, A. E., P. J. Wright y F. M. Gibb.** 2006. Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod. *Journal of Marine Science*. 63, 1710-1717.
- García-Rodríguez, F. J. y D. Aurióles-Gamboa.** 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the California sea lion (*Zalophus californianus*) in the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Bulletin*. 102: 47-62
- Gauldie, R. W. y J. S. Crampton.** 2002. An eco-morphological explanation of individual variability in the shape of the otolith: comparison of the otolith of *Hoplostethus atlanticus* with other species by depth. *Journal of Fish Biology*. 60, 1204–1221.
- Godos, I.** 2001. Patrones morfológicos del otolito *Sagitta* de algunos peces óseos del Mar Peruano. *Boletín del Instituto del Mar Perú*. 20, 1-83.
- González-Acosta E. F.** 2005. Estudio sistemático y biogeográficos del género *Eugerres* (Perciformes: Gerreidae). *Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-I.P.N. México
- González- Acosta, A. F., J. De La Cruz-Agüero y J. L. Castro-Aguirre.** 2005. A review of the marine eastern Pacific species of the genus *Eugerres* (Perciformes: Gerreidae). *Bulletin of Marine Science*. 76, 661-673.

- González-Martin, P., A. Díaz-Pascual, E. Torres-Lezama y E. Garnica-Olmos.** 1994. Una aplicación del análisis de componentes principales en el área educativa. *Economía*. 9, 55-72.
- Haines, J. A. y J. S. Crampton.** 2000. Improvements to the method of Fourier Shape Analysis as applied in morphometric studies. *Paleontology*. 43, 765-783.
- Härkönen, T.** 1986. *Guide to the otoliths of bony fishes of the Northeast Atlantic*. Danbiu. ApS. Sweden.
- Harvey, J.T., T. R. Loughlin, M. A. Perez, D. S. Oxman.** 2000. Relationship between fish size and otolith length for 63 species of fishes from the eastern north Pacific ocean. *NOAA Technical Report NMFS*. 150. 31.
- Hecht T. y S. Appelbaum.** 1982. Morphology and taxonomic significance of the otoliths of some bathypelagic Anguilloidei and Saccopharyngoidei from the Sargasso Sea. *Helgol-inder Meeresunters*. 35, 301-308.
- Helfman S. G., B. B. Collete y D. E. Tracy.** 1997. *The diversity of Fishes*. Blackwell Science. E.U.A.
- Huxley, J.S.** 1932. *Problems of Relative Growth*. The Dial Press, New York.
- Ihssen, P. E., H. E. Booke, J. M. Casselman, J. M. McGlade, N. R. Payne, y F. M. Utter.** 1981. Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 38, 1838-1855.
- Iwata e Y. Ukai** 2002. SHAPE: A Computer Program Package for Quantitative Evaluation of Biological Shapes Based on Elliptic Fourier Descriptors. *The Journal of Heredity*. 93, 284-285.
- Jamieson, R. E., H. P. Schwarcza y J. Bratney.** 2004. Carbon isotopic records from the otoliths of Atlantic cod (*Gadus morhua*) from eastern Newfoundland, Canada. *Fisheries Research*. 68, Issues 1-3, 83-97.
- Jordan, D. S. y B. W. Evermann.** 1896. *The fishes of North and Middle America: a descriptive catalogue of the species of fish-like vertebrates found in the waters of North America, north of the Isthmus of Panama*. Bulletin of the United States Natural Museum. 47, (14): 1-3313 + 392 láms.
- Kalish, J.M.** 1991. Oxygen and carbon stable isotopes in the otoliths of wild and laboratory-reared Australian salmon (*Arripis trutta*). *Marine Biology* 110, 37-47.
- Koken, E.** 1884. Ueber Fisch- tolithen, insbesondere über diejenigen der norddeutschen Oligocän-Ablagerungen. *Z. Dt. Geol. Ges.* 36, 500-565.

- Kobelkowsky, A.** 2004. Osteología de la mojarra del mar, *Diapterus auratus* Ranzani (Teleostei: Gerreidae). *Hidrobiologia*. 14(1): 1-10.
- Kuhl, F. P. y Giardina, G. R.** 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*. 18, 236–258.
- L'Abée-Lund, J. H., A. Langeland y H. Szgrov.** 1992. Piscivory by brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) in Norwegian Lakes. *Journal of Fish Biology*. 41, 91-101.
- Lemos, B., M. Correa, V. Abilhoa.** 1993. Catálogo de otólitos de Gerreidae (Osteichthyes-Perciformes) do Litoral do Estado do Paraná, sil. *Neritica Curitiba*. 7, 109-117.
- Leopold M. F., C. J. G. Van Damme, C. J. M. Philippart, C. J. N. Winter.** 2001. *Otoliths of North Sea Fish. Fish Identification Key by means of otoliths and other hard parts*. World Biodiversity Database. CD-ROM series.
- Lombarte, A., y A. Castellón.** 1991. Interspecific and Intraspecific otolith variability in the genus *Merluccius* as determined by image analysis. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science*. 699, 2442-2449.
- Lombarte, A. y A. Cruz.** 2007. Otolith size trends in marine fish communities from different depth strata. *Journal of Fish Biology*. 71, 53-76.
- Lombarte, A., J. Rucabado, J. Matallanas y D. Lloris.** 1991. Taxonomía numérica de Nototheniidae en base a la forma de los otolitos. *Scientia Marina*. 55, 413-418.
- Lombarte A., O. Chic, V. Parisi-Baradad, R. Olivella, J. Piera y E. García.** 2006. Aweb-based environment for shape análisis of fish otoliths. The AFORO database. *Scientia Marina*. 70, 147-152.
- Lowenstein, O.** 1971. The labyrinth. In: *Fish Physiology* 5, 207-240. Hoar, W.S. & Randall, D.J. (eds). New York & London: Academic Press
- Lychakov, D. V., Y. T. Rebane, A. Lombarte, L. A. Fuiman, y A. Takabayashi.** 2006. Fish otolith asymmetry: morphometry and modeling. *Hearing Research*. 219, 1–11.
- Maisey, J. G.** 1987. Notes on the structure and phylogeny of vertebrate otoliths. *Copeia*. 2, 495-499.

- Mascareñas-Osorio, I.** 2002. Colección de referencia de otolitos de peces arrecifales de la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- Matheson, R. E.** 1983. Taxonomic studies of the *Eucinostomus argenteus* complex (Pisces: Gerreidae). PhD thesis, University of California of Texas. E.U.A.
- Moran, D, y K. D. Clements.** 2002. Diet and endogenous carbohydrases in the temperate marine herbivorous fish *Kyphosus sydneyanus*. *Journal of Fish Biology*. 60, 1190-1203.
- Monteiro, L. R. y Dos Reis, S. F.** 1999. *Principios de Morfometría Geométrica*. Holos Editora. Sao Paulo. Brasil.
- Morales-Nin, B.** 1992: Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos. *FAO Doc. Tec. Pes.* 322, 1–58.
- Murray, A. M. y V. M. H. Wilson.** 1999. Contributions of fossils to the phylogenetic relationships of the percopsiform fishes (Teleostei: Paracanthopterygii): order restored. *Systematics and Fossil Record*. 397-411.
- Navarro, N., X. Zatarin y S. Montuire.** 2004. Effects of morphometric descriptor changes on statistical classification and morphospaces. *Biological Journal of the Linnean Society*. 83, 243–260.
- Nelson, J.** 1994. *Fishes of the world*. 3a edition. Ed. John Wiley & Sons Inc., E.U.A.
- Nolf, D.** 1985. Otolithi Piscium. *X Handbook of Paleoichthyology*. Sshultze, L. y Kuhn, O. (eds). Springer Verlag. New York.
- Ortiz-Galindo, J. L.** 2009. Ontogenia y Sistemática filogenética de la familia Gerreidae (Teleostei: Percoidei). *Tesis Doctoral*. UNAM. México.
- Panella, G.** 1971. Fish Otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science*. New York. 173, 1124-1127.
- Pardo, A. y M. A. Ruiz.** 2001. SPSS 10.0 *Guía para el análisis de datos*. Universidad Autónoma de Madrid. España.
- Parisis, V., Lombarte, A., Garcia-Ladona, E., Cabestany, J., Piera J. y Chic, O.** 2005. Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. *Marine Freshwater Research*. 56, 795-804.

- Pertusa, G. F. 2003.** *Técnicas de análisis de imagen: Aplicaciones en biología.* Universidad. Valencia. España. 352. pp.
- Popper, A. N. 1982.** Organization of the inner ear and auditory processing. p. 126–178 In: *Fish Neurobiology*, Vol. 1. Northcutt, E. G. y Davis, R. E. (eds). University of Michigan Press. Ann Arbor.
- Popper, A. N. y S. Coombs. 1980.** Auditory mechanisms in teleost fishes. *American Scientist*. 68, (4): 429-440.
- Popper, A. N. y Hoxter, B. 1981.** The fine structure of the sacculus and lagena of a teleost fish. *Hearing Research* 5, 245–263.
- Popper, A. N, Ramcharitar, J. y Campana, S. E. 2005.** Why otoliths? Insights from the inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Researcher*. 56, 497 - 504
- Ramírez-Torres, A. 2007.** Comparación de técnicas morfométricas aplicadas a la taxonomía de especies del genero *Diapterus* Ranzani, 1842. Tesis de Licenciatura en Biología Marina. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- Reyment, R. A. 1991.** *Multidimensional paleobiology*. Pergamon Press. Oxford, 377 pp.
- Reyment, R.A., R. E. Blackith y N. A. Campell. 1984.** *Multivariate Morphometrics* (second edition). Academic Press, London.
- Rohlf J.F. y Archie 1984.** A comparison of Fourier methods for the description of wing shape in mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Systematical Zoology*. 33, 302-317.
- Ruiz-Carus, R. 1995.** Estudios citogenéticos electroforéticos y de ADN mitocondrial en la Familia Gerreidae (Pisces) del Atlántico tropical occidental. *Tesis Doctoral*. UNAM, México.
- Secor, D., J. Deany y H. Laban. 1991.** *Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination*. Electric Power Research Institute.
- Stransky C., C. D. Garbe-Schonberg y D. Gunther. 2005.** Geographic variation and juvenile migration in Atlantic redfish inferred from otolith microchemistry. *Marine Freshwater Research*. 56, 677- 691.
- Secor, D., J. Deany y H. Laban. 1991.** *Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination*. Electric Power Research Institute.

- Smale, M. J., G. Watson y T. Hecht.** 1995. Otolith atlas of southern African marine fishes. *Ichthyological Monographs of the J.L.B. Smith Institute of Ichthyology*. 253 pp.
- Torres, G. J., A. Lombarte y B. Morales-Nin.** 2000. The feasibility of sagittal otolith size and shape variability to identify geographical intraspecific differences in three species of the genus *Merluccius*. *Journal of Marine Biology Assesment*. 80, 333-342.
- Tuset, V. M.** 2000. Morfología del otolito *Sagitta* y determinación del crecimiento en especies del género *Serranus* (Osteichthyes, Serranidae). *Tesis Doctoral*. Universidad de La Laguna. España.
- Tuset., V., A. Lombarte y C. Assis.** 2008. Otolith Atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*. 72(S1)7-198.
- Tuset, V. M., I. J., Lozano, J. A., González, J. F. Pertusa y García - Díaz, M. M.** 2003. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*. 19, 88–93.
- Tuset., V. M., P.L. Rosin y A. Lombarte.** 2006. *Sagittal* otoliths shape as useful tool for the identification of fishes. *Fisheries Research*. 81, 316-325.
- Valle, S., y S. Z. Herzka.** 2008. Natural variability in $\delta^{18}\text{O}$ values of otoliths of young Pacific sardines captured in Mexican waters indicates mixing during the first year of life. *ICES Journal of Marine Science*, 65,174-190.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría.** 2000. *Catálogo y Claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino*. Ed. Dunken. Argentina.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverria.** 2003. Ecomorphological patterns of the *Sagitta* in fish on the continental shelf off Argentine. *Fisheries Research* 60, 551-560.
- Volpedo, A.V., A. D. Tombari y D. D. Echeverria.** 2008. Eco-morphological patterns of the *Sagitta* of Antarctic. *Polar Biology*. 31, 635-640.
- Xie, S., Y. Watanabe, T. Saruwatari, R. Masuda, Y. Yamashita, C. Sassa e Y. Konishi.** 2005. Growth and morphological development of *Sagittal* otoliths of larval and early juvenile *Trachurus japonicas*. *Journal of Fish Biology*. 66, 1704-1719.
- Zahuranec, B. J.** 1967. The Gerried fishes of the genus *Eucinostomus* in the eastern Pacific. *Tesis de Maestría*. University of California. E.U.A. 74 pp.

Zlokovitz E.R., D. Secor David y Piccoli P. M. 2003. Patterns of migration in Hudson River striped bass as determined by otolith microchemistry *Fisheries research*. 63, (2): 245-259.

Apéndice 1: Curvas de normalidad obtenidas de los datos de las mediciones de los otolitos de las especies analizadas.

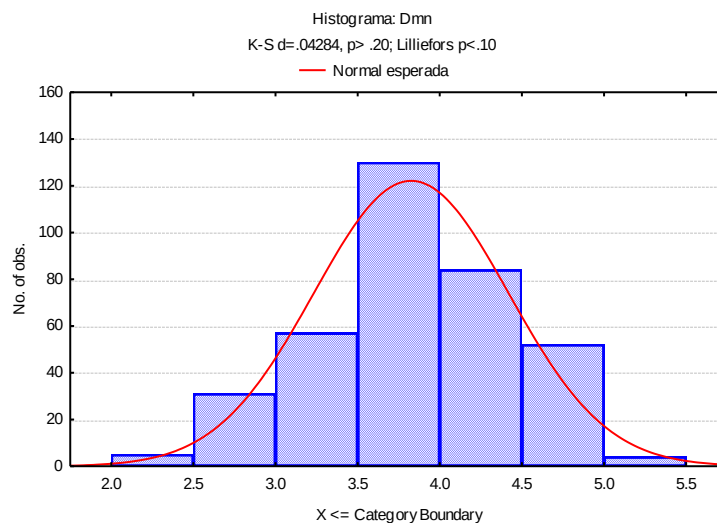


Figura 12.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Diámetro mínimo de los otolitos.

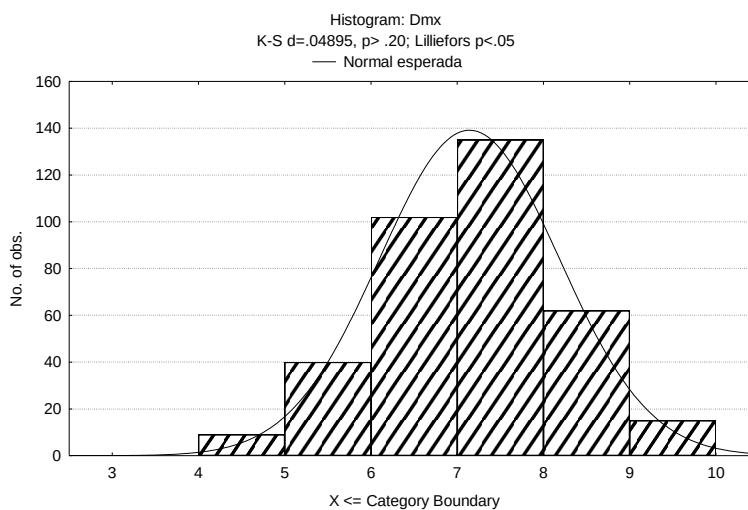


Figura 13.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Diámetro máximo de los otolitos.

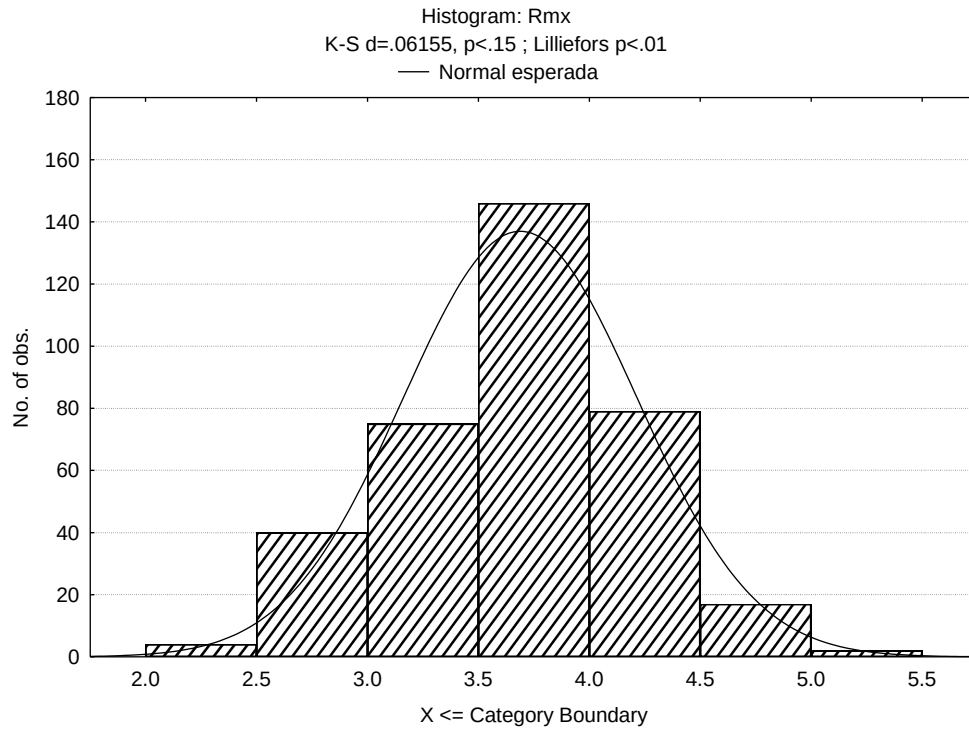


Figura 14.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Radio máximo de los otolitos.

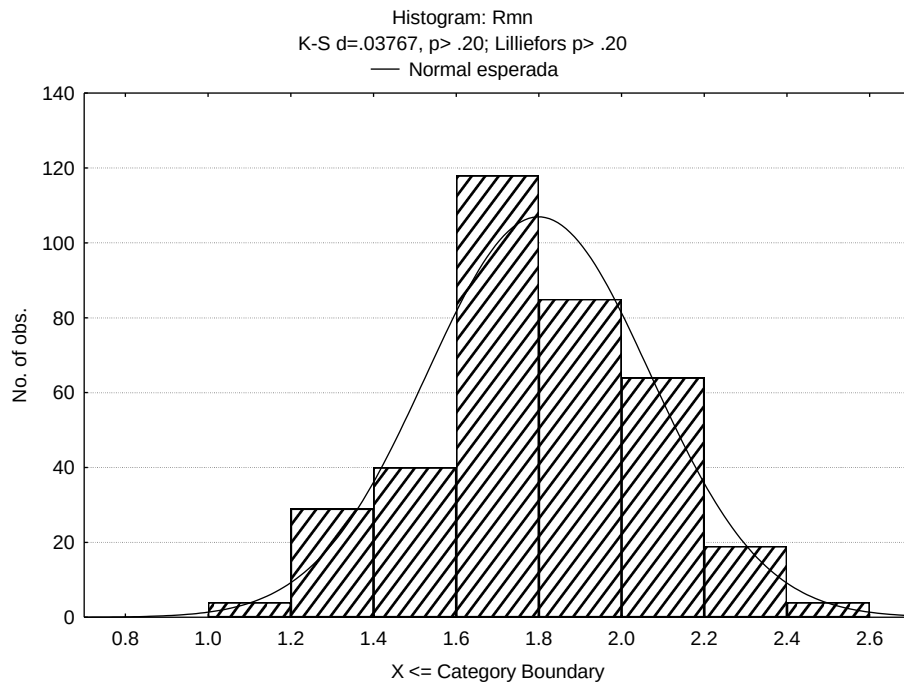


Figura 15.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Radio mínimo de los otolitos.

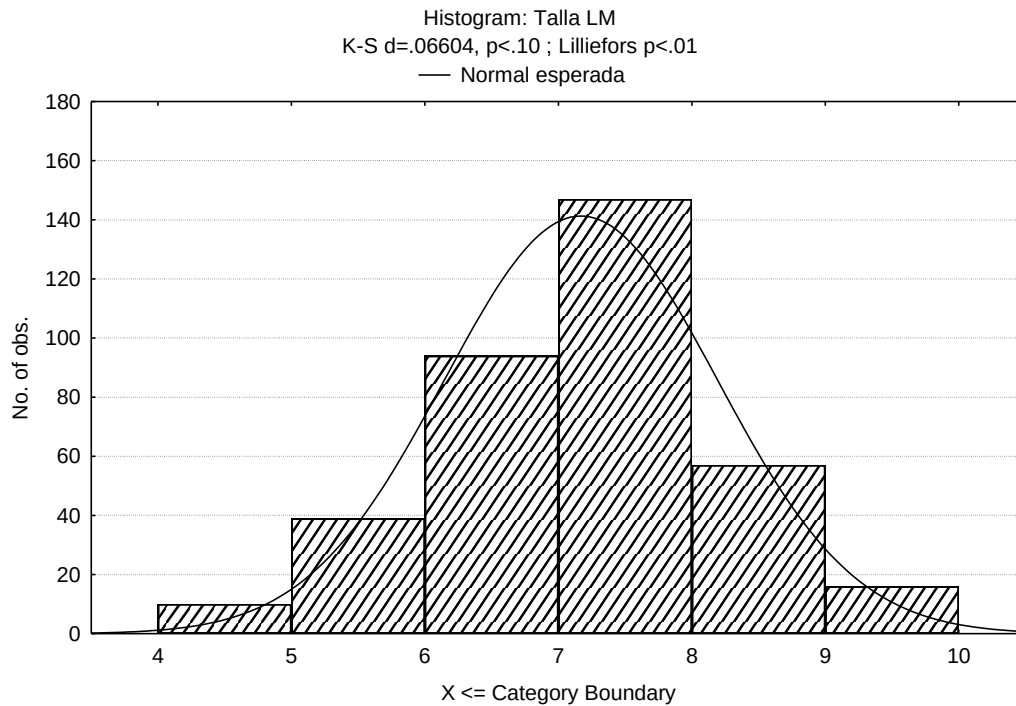


Figura 16.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Longitud (LM) o talla de los otolitos.

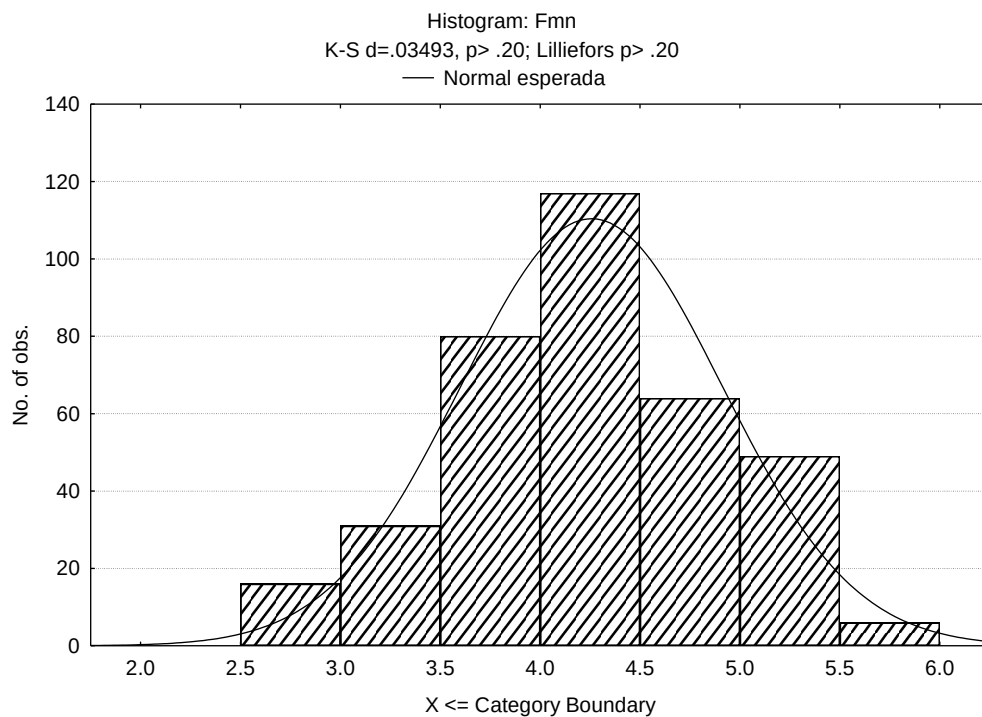


Figura 17.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Feret mínimo de los otolitos.

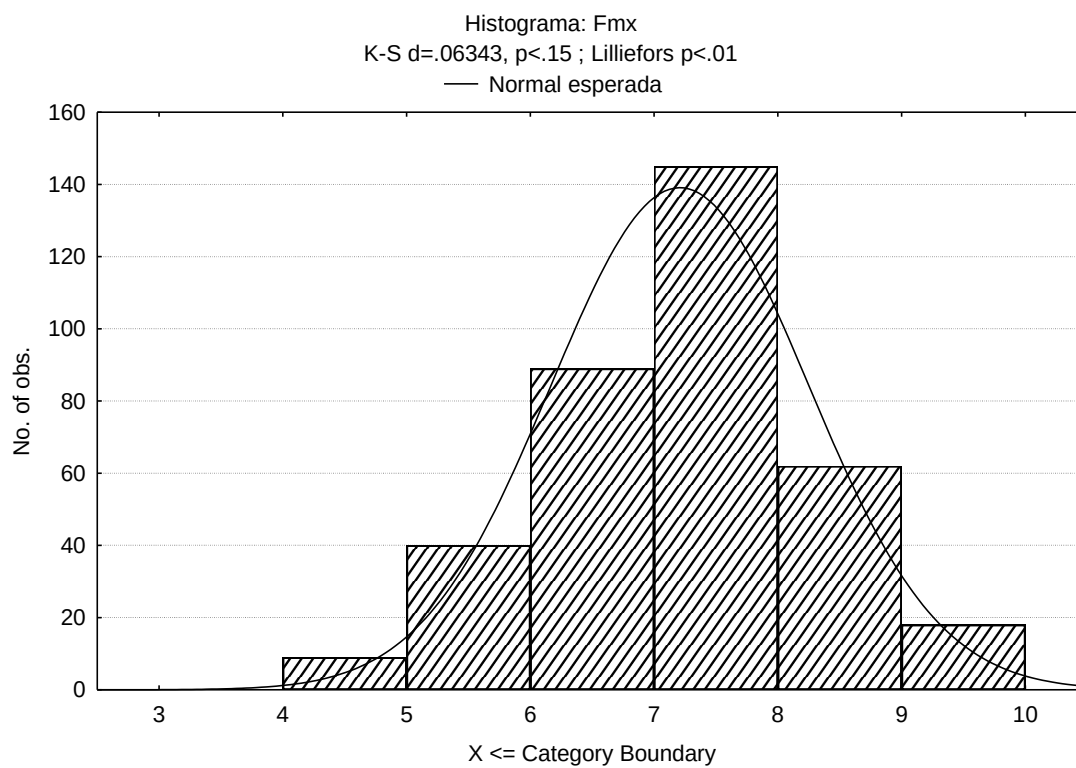


Figura 18.- Figura que muestra el grafico en barras de la normalidad obtenido de los datos de Feret máximo de los otolitos.

Apéndice 2: Matriz de correlación de mediciones e índices obtenida de los ejemplares de otolitos de las especies seleccionadas

Variable/ Variable	promedio	Desv estd	Dmx	Dmn	D	Rmx	Rmn	P	Talla Lm	Ancho A	Área a	Fmn	Fmx	FL	R/r	Redon	Circula	Elíptici	Rectang
Dmx	7.142	1.041	1.000	0.606	0.861	0.989	0.571	0.895	0.994	0.634	0.888	0.653	0.996	0.966	0.293	0.200	0.877	0.350	-0.015
Dmn	3.826	0.593	0.606	1.000	0.905	0.563	0.965	0.660	0.568	0.967	0.876	0.969	0.580	0.769	-0.483	-0.263	0.658	-0.484	0.149
D	5.122	0.716	0.861	0.905	1.000	0.826	0.863	0.854	0.833	0.924	0.995	0.936	0.842	0.958	-0.128	-0.081	0.843	-0.146	0.170
Rmx	3.688	0.529	0.989	0.563	0.826	1.000	0.531	0.889	0.995	0.583	0.853	0.604	0.994	0.948	0.335	0.248	0.870	0.405	-0.036
Rmn	1.799	0.271	0.571	0.965	0.863	0.531	1.000	0.601	0.537	0.913	0.832	0.913	0.547	0.726	-0.492	-0.300	0.591	-0.452	0.204
P	21.389	3.308	0.895	0.660	0.854	0.889	0.601	1.000	0.889	0.705	0.870	0.725	0.897	0.917	0.099	0.443	0.995	0.167	-0.093
Talla Lm	7.169	1.025	0.994	0.568	0.833	0.995	0.537	0.889	1.000	0.590	0.861	0.611	0.999	0.952	0.334	0.236	0.869	0.402	-0.034
Ancho A	4.293	0.657	0.634	0.967	0.924	0.583	0.913	0.705	0.590	1.000	0.900	0.997	0.604	0.797	-0.425	-0.220	0.707	-0.491	0.094
Area a	21.927	5.970	0.888	0.876	0.995	0.853	0.832	0.870	0.861	0.900	1.000	0.913	0.870	0.970	-0.065	-0.047	0.863	-0.089	0.156
Fmn	4.257	0.656	0.653	0.969	0.936	0.604	0.913	0.725	0.611	0.997	0.913	1.000	0.625	0.813	-0.407	-0.202	0.726	-0.468	0.097
Fmx	7.208	1.041	0.996	0.580	0.842	0.994	0.547	0.897	0.999	0.604	0.870	0.625	1.000	0.958	0.318	0.238	0.878	0.388	-0.038
FL	5.774	0.770	0.966	0.769	0.958	0.948	0.726	0.917	0.952	0.797	0.970	0.813	0.958	1.000	0.099	0.091	0.902	0.124	0.071
R/r	2.021	0.339	0.293	-0.483	-0.128	0.335	-0.492	0.099	0.334	-0.425	-0.065	-0.40	0.318	0.099	1.000	0.360	0.082	0.851	-0.009
Redon	1.704	0.279	0.200	-0.263	-0.081	0.248	-0.300	0.443	0.236	-0.220	-0.047	-0.20	0.238	0.091	0.360	1.000	0.447	0.522	-0.447
Circula	234.207	71.975	0.877	0.658	0.843	0.870	0.591	0.995	0.869	0.707	0.863	0.726	0.878	0.902	0.082	0.447	1.000	0.139	-0.108
Elíptici	0.257	0.065	0.350	-0.484	-0.146	0.405	-0.452	0.167	0.402	-0.491	-0.089	-0.46	0.388	0.124	0.851	0.522	0.139	1.000	-0.122
Rectang	0.705	0.024	-0.015	0.149	0.170	-0.036	0.204	-0.09	-0.03	0.094	0.156	0.097	-0.038	0.071	-0.009	-0.447	-0.108	-0.122	1.000

