

La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Pisces: Mugilidae

The utility of urohial shape in the discrimination of Pisces: Mugilidae species and local populations

Sofía Jiménez-Reyes¹✉, Eloísa Pacheco-Almánzar¹ y Ana Laura Ibáñez^{1*}

Recibido: 08 de octubre de 2020.

Aceptado: 16 de noviembre de 2020.

Publicado: diciembre de 2020.

RESUMEN

Antecedentes: La exploración de nuevas estructuras que permitan acercarse aún más a la identificación de especies es importante en la ciencia pesquera porque permite una mejor administración de éstas. El urohial es una estructura específica de los peces óseos, que comienza a ser considerada un carácter para discriminar entre especies. Mugilidae es una familia con morfología muy conservada, por lo que encontrar alguna estructura que sirva para discriminar a sus especies y/o poblaciones es una tarea pendiente. **Objetivos:** El objetivo es determinar la utilidad taxonómica de la forma del hueso urohial en su vista lateral, dorsal y ventral, en ejemplares de *Mugil curema* y *M. cephalus* de distintas localidades, dos del Golfo de México y una del Pacífico Mexicano. **Métodos:** Para el análisis se utilizó el método Procrustes donde los análisis discriminantes y MANCOVA se emplearon para detectar diferencias en la forma del urohial entre especies y entre localidades ($\alpha = 0.05$ $p < 0.05$). **Resultados:** Los porcentajes de discriminación entre especies por validación cruzada fueron 86.6, 96.5 y 95.1% en las vistas lateral, dorsal y ventral, respectivamente; donde la vista dorsal además de ser la que mostró mayor porcentaje de clasificación fue menos influenciada por la talla. La discriminación entre localidades para *M. curema* fue de 65.9, 54.9, y 60.4% respectivamente, y para *M. cephalus* de 66.7, 49.0 y 56.9% respectivamente, donde la talla no influyó la forma del urohial, excepto en la vista ventral para *M. cephalus*. **Conclusiones:** El hueso urohial fue útil para la discriminación de especies, en particular en su vista dorsal, mientras que resultó menos adecuado para discriminar entre localidades.

Palabras clave: morfometría geométrica, Pisces: Mugilidae, urohial.

ABSTRACT

Background: The exploration of new structures allowing species identification is relevant for fisheries science since it permits to be managed them better. The urohial is a specific structure of bony fish, which begins to be considered a character to discriminate between species. Mugilidae is a family with very conserved morphology, so finding a structure useful to discriminate species and/or populations is a pending task. **Goals:** Thus, the objective is to determine the taxonomic usefulness of the urohial bone shape on its lateral, dorsal and ventral view in species discrimination: *Mugil cephalus* and *M. curema* and in location discrimination, two from the Gulf of Mexico and one for the Mexican Pacific. **Methods:** Urohial shape was analyzed using the Procrustes method where the relative warps were submitted to discriminant analyzes and MANCOVA in order to detect differences in lateral, dorsal and shape among species and localities ($\alpha = 0.05$ $p < 0.05$). **Results:** The percentages of discrimination between species by cross validation were 86.6, 96.5, and 95.1% for lateral, dorsal and ventral views, respectively where the dorsal view in addition to being the one that showed the highest percentage of classification was less influenced by size. Discrimination between locations for *M. curema* was 65.9, 54.9, and 60.4%, respectively, and for *M. cephalus* was 66.7, 49.0, and 56.9%, respectively. Size did not influence the urohial shape, except in the ventral view for *M. cephalus*. **Conclusions:** The urohial bone was useful for the discrimination of species, particularly in its dorsal view, while it was less suitable for discriminating between localities.

Key words: geometric morphometry, Pisces: Mugilidae, urohial.

¹ Departamento de Hidrobiología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Ciudad de México, 09340. México.

***Corresponding author:**

Ana Laura Ibáñez: e-mail: ana@xanum.uam.mx

To quote as:

Jiménez-Reyes, S., E. Pacheco-Almánzar & A. L. Ibáñez. 2020. La utilidad de la forma del hueso urohial en la discriminación de especies congéneres y poblaciones locales de Pisces: Mugilidae. *Hidrobiológica* 30 (3): 259-267.

DOI: 10.24275/uam/izt/dcbshidro/2020v30n3/Jimenez

INTRODUCCIÓN

El urohial es un hueso laminar alargado, es angosto en dirección anterior y ancho en dirección posterior, está incrustado en los músculos del istmo en el centro de la mandíbula inferior de los teleosteos (Ghasemzadeh, 2016). Esta estructura ha sido considerada de amplia utilidad en estudios sobre osificación en etapas larvianas (Aprieto, 1973); descripciones anatómicas (Chollet-Villalpando, 2009; Ghasemzadeh, 2016; Kobelkowsky & Resendez, 1972); determinación de edad (Johal *et al.*, 2000); identificación de restos ictioarqueológicos (Patón *et al.*, 1991); identificación de especies (De La Cruz-Agüero & Chollet-Villalpando, 2012); discriminación entre familias (principalmente Gerreidae), géneros y especies de peces, describiendo su morfología con fines taxonómicos y filogenéticos (Arratia & Schultze, 1990; Chollet-Villalpando, 2012; Chollet-Villalpando *et al.*, 2014; González-Acosta *et al.*, 2014; Jawad *et al.*, 2016); y también su probable rol en el movimiento y comportamiento de alimentación en teleosteos (Khaah *et al.*, 2014).

La relación entre la forma de las estructuras de los organismos y el papel de las especies en su comunidad permite conocer la variación morfológica existente entre especies y taxa derivados de la variación adquirida en el medio ambiente (Leisler & Winkler, 1985). Es así como, dada la enorme variedad de tipos de presas disponibles para los peces, el funcionamiento en la alimentación, definido por la forma y el desempeño de éstos, establece límites discretos en lo que pueden ingerir las especies, definiendo además lugares preferentes de alimentación (Bohórquez-Herrera, 2009).

De acuerdo con Cardona (2016) la dieta de la mayoría de las especies del género *Mugil*, se basa en materia orgánica presente en el sedimento, aunque también pueden consumir invertebrados bentónicos, macroalgas verdes filamentosas y plancton, siendo el microfitorbentos un componente importante de su dieta. Según Sánchez-Rueda *et al.* (1997), *M. curema* y *M. cephalus* se caracterizan por presentar un espectro trófico y un hábitat muy similar, no obstante, *M. curema* presenta afinidad por los limos gruesos 63-32 mm mientras que *M. cephalus* tiende a consumir una mayor proporción de arenas muy finas 125-63 mm lo que confirma su carácter selectivo. Igualmente, la selectividad en el espectro trófico posiblemente se relacione con diferentes zonas de alimentación lo que evitaría la competencia interespecífica por alimento. A lo largo de las zonas costeras mexicanas ambas especies coexisten, pero los picos máximos de desove se presentan desfasados (muestran tres meses de retraso en el norte del Golfo de México), dando como resultado retrasos en el reclutamiento de juveniles a las zonas estuarinas posiblemente para evitar la sobreposición en la alimentación de los juveniles que consumen el zooplankton limitante en las zonas costeras (Ibáñez & Colín, 2014; Ibáñez & Gutiérrez-Benitez, 2004).

De acuerdo con Kusaka (1974) citado en González-Acosta *et al.* (2014) el hueso urohial constituye un elemento fundamental para el mecanismo de apertura bucal de los peces, por lo que la morfología de esta estructura podría sugerir un acoplamiento causal tanto entre los mecanismos de alimentación como en la discriminación entre especies y poblaciones de distintas localidades. En este sentido sería útil en la discriminación entre especies y posiblemente también entre localidades.

Con el objeto de determinar la utilidad de la forma del hueso urohial se analizaron ejemplares de *Mugil curema* y *M. cephalus* de distin-

tas localidades, dos del Golfo de México y una del Pacífico Mexicano, con el objeto de discriminar entre especies y localidades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ejemplares se obtuvieron de la pesca comercial ribereña de tres zonas de estudio: una del Pacífico Mexicano, Puerto Madero, Chiapas; y dos del Golfo de México, Puerto La Frontera, Tabasco; y Laguna de Alvarado, Veracruz (Fig. 1).

Los organismos fueron congelados y transportados al laboratorio de Biología Pesquera de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, para su posterior análisis. Se obtuvieron 142 ejemplares en total; 91 de los cuales fueron de *M. curema* y 51 de *M. cephalus* (Tabla 1).

La extracción del urohial se llevó a cabo por medio de una serie de incisiones en la parte ventral del organismo, separando las membranas branquiostegas hasta la altura del istmo y desprendiendo los ligamentos anteriores que lo unen con los basibranchiales (Bemis *et al.*, 2004). Posteriormente, se realizó la extracción de cada urohial junto con su paquete muscular. Cada urohial se sometió a cocción en una parrilla eléctrica modelo American 6185, con agua corriente dentro de un frasco metálico durante 10 minutos a una temperatura aproximada de 80°C. Subsecuentemente se retiró por completo cualquier tipo de residuo empleando una aguja de disección, un bisturí, solución de agua con jabón convencional y agua corriente para su enjuague. Finalmente, cada urohial se preservó en frascos plásticos y alcohol al 70%.

Para el análisis morfométrico se emplearon tres vistas de la estructura ósea urohial: lateral izquierda, dorsal y ventral. Los urohiales fueron fotografiados con una cámara digital marca Sony, modelo DSC-W650, usando un trípode para cámara, una escala de medición y fondo oscuro. Cada imagen obtenida fue renombrada con respecto al número de ejemplar, especie, localidad de origen y vista de la estructura.

La definición de landmarks se realizó con respecto a la homología observada de la estructura del urohial de todos los ejemplares, es decir, aquellas partes consistentes y de clara identificación visual, así se seleccionaron solamente landmarks tipo I. Aquellos urohiales que estuvieron rotos e incompletos fueron descartados para el análisis.

Al no contar con estudios de esta índole y metodología previa, se consideraron apropiadas seis landmarks para las tres vistas, lateral, dorsal y ventral (Fig. 2). Los landmarks se registraron utilizando el software tpsDig2 versión 2.31 (Rohlf, 2017).

Con el programa Morphologika2 versión 2.5 (O'Higgins & Jones, 2007) se realizó el análisis generalizado de Procrustes (AGP) el cual consistió en escalar, trasladar y rotar el conjunto de landmarks para generar una imagen consenso y obtener los componentes principales (CP) con los cuales se realizaron los análisis discriminantes para explorar patrones de agrupación en los datos y reducción de la dimensionalidad de los datos multivariados (Zelditch *et al.*, 2004). También se realizó un análisis multivariado de la covarianza (MANCOVA) utilizando como covariable y factores de agrupación la longitud estándar, especie y localidad, respectivamente. Finalmente, la forma fue visualizada en los extremos de las funciones discriminantes (Bookstein, 1989).



Figura 1. Localidades de colecta. Puerto Madero, Chiapas; Frontera, Tabasco y laguna de Alvarado, Veracruz. Modificada de INEGI, Ita-Rubio, Escamilla-Herrera, C. & Soto-Núñez (1990).

Tabla 1. Tamaño de muestra por especie y localidad. LS= Longitud standard (mm).

	Fecha de colecta	No. Huesos urohiales	LS (mm)	
			Rango (min-máx)	Media $\pm \sigma$
<i>M. curema</i>				
Puerto Madero, Chiapas	Oct-2019	31	163 - 255	212 \pm 21.9
Frontera, Tabasco	Nov-2018	31	222 - 300	267 \pm 22.4
Alvarado, Veracruz	Oct-2018	29	210 - 283	239 \pm 17.3
<i>Total</i>		91		
<i>M. cephalus</i>				
Puerto Madero, Chiapas	Oct-2019	8	294 - 373	327 \pm 25.3
Frontera, Tabasco	Oct-Dic-2018	17	248 - 354	308 \pm 36.3
Alvarado, Veracruz	Oct-2018 y Jul-2019	26	323 - 468	398 \pm 39.5
<i>Total</i>		51		

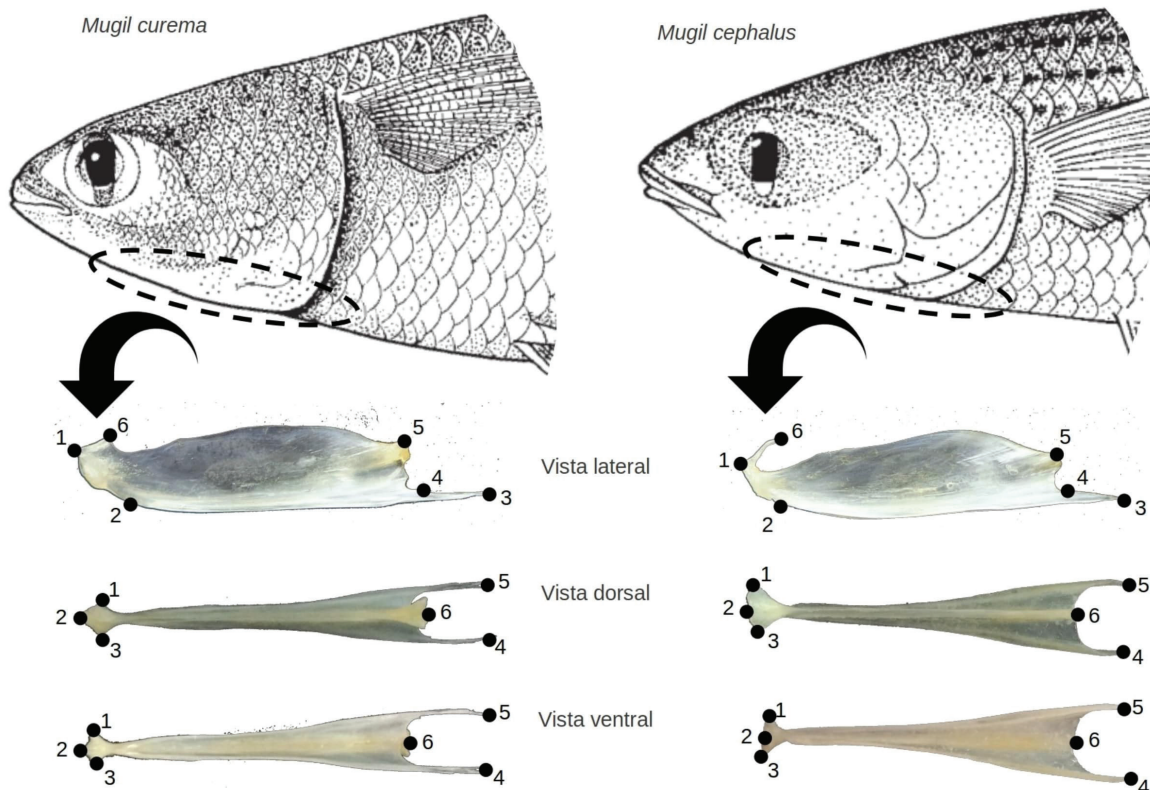


Figura 2. Landmarks empleadas para cada vista del hueso urohial.

RESULTADOS

Discriminación entre especies. El primer CP explicó 39.5, 55.4 y 43.7% de la varianza total mientras que el segundo CP explicó 25.8, 18.4 y 25.9% en las tres vistas del urohial, lateral, dorsal y ventral respectivamente. En la figura 3 A, B y C se observa claramente la separación de las dos especies, donde la variación de la forma del hueso urohial se aprecia en la representación de las cuadrículas en cada figura, así para *M. curema* la forma de la vista lateral del urohial (Fig. 3A) muestra que dicho hueso es cóncavo en dirección ventro-dorsal donde la distancia entre la ubicación relativa de los landmark 1 y 6 es muy corta, mientras que en *M. cephalus* el urohial es convexo en dirección dorso-ventral y los landmark 1 y 6 tienen una ubicación relativa más alejada entre sí. La forma del hueso urohial de *M. curema*, en la vista dorsal (Fig. 3B) y ventral (Fig. 3C), se diferencia de la de *M. cephalus* por ser más angosto, es decir, todos los landmarks tienen distancias relativas muy cercanas entre sí, mientras que en *M. cephalus* la forma del hueso es más ancho (Fig. 3).

La discriminación entre especies fue de 86.6, 96.5 y 95.1% (Wilks' $\lambda = 0.422$; 0.234 y 0.252, respectivamente y $p < 0.001$ para los tres casos), para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente. Los análisis de MANCOVA confirman diferencias significativas en la forma del urohial entre especies de todas las vistas donde la longitud estándar mostró diferencias significativas para la vista lateral y ventral y no para la vista dorsal (Tabla 2). El porcentaje de la forma explicada

por la longitud estándar fue 10.81, 2.38 y 5.45% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

Discriminación entre localidades. El porcentaje de varianza explicada por el primer CP para las localidades en *M. curema* fue de 47.3, 61 y 60.9% mientras que el segundo CP mostró 16.1, 15.3 y 17.5%, con una varianza total acumulada de 63.4, 76.3 y 78.4%, para la vista lateral, dorsal y ventral respectivamente. El resultado del análisis discriminante por localidades, de esta especie, fue de 65.9, 54.9 y 60.4% (Wilks' $\lambda = 0.354$; 0.478 y 0.448, respectivamente y $p < 0.001$ para los tres casos), para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente donde el mejor porcentaje de clasificación para todas las vistas del urohial fue la localidad de Chiapas (Tabla 3). El MANCOVA confirma diferencias significativas en la forma del urohial de todas las vistas entre localidades para *M. curema*, mientras que la longitud estándar no resultó ser significativa para la forma. El porcentaje de la forma explicada por la longitud estándar fue 4.39, 5.07 y 6.97% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

El porcentaje de varianza explicada por el primer CP para las localidades en *M. cephalus* fue de 45.4, 58 y 37.7% mientras que el segundo explicó 17.3, 18.4 y 23.7%, con una varianza total acumulada de 62.7, 76.5 y 61.4%, para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente. El resultado del análisis discriminante por localidades fue de 66.7, 49 y 56.9% (Wilks' $\lambda = 0.316$; 0.468 y 0.351 respectivamente con $p < 0.001$ y $p < 0.05$, este último en la vista dorsal) para la vis-

Tabla 2. Resultados de la clasificación empleando validación cruzada entre las especies *M. curema* y *M. cephalus*. LS= Longitud standard (mm).

Vista	%	Predicción de pertenencia al grupo			MANCOVA				
		<i>M. curema</i>	<i>M. cephalus</i>	Total	Wilks' λ	p	Efecto	Wilks' λ	p<0.05
Lateral ^a	<i>M. curema</i>	89.0		100	0.422	<0.001	LS	0.874	0.020
	<i>M. cephalus</i>		82.4	100			Especie	0.650	<0.001
Dorsal ^b	<i>M. curema</i>	95.6		100	0.234	<0.001	LS	0.906	0.102
	<i>M. cephalus</i>		98.0	100			Especie	0.404	<0.001
Ventral ^c	<i>M. curema</i>	93.4		100	0.252	<0.001	LS	0.812	<0.001
	<i>M. cephalus</i>		98.0	100			Especie	0.443	<0.001

^a 86.6% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^b 96.5% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^c 95.1% de la validación cruzada correctamente clasificada.

ta lateral, dorsal y ventral, respectivamente; con mejor porcentaje de discriminación las localidades Veracruz y Chiapas (Tabla 4). Los MANCOVA confirman diferencias significativas en la forma del urohial de todas las vistas entre localidades, mientras que la longitud estándar no resultó ser significativa para la forma con excepción de la vista ventral. El porcentaje de la forma explicada por la longitud estándar fue 7.28, 6.99 y 5.57% para la vista lateral, dorsal y ventral, respectivamente.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

La forma del urohial permitió discriminar entre especies, donde la vista dorsal fue la que mostró mayor porcentaje de discriminación (96.5%) sin influencia de la talla. Este resultado es relevante considerando que, cuando se quiere discriminar entre especies, las diferencias en la talla

suelen ser notorias. Para las especies en este estudio, en las costas del Atlántico, *Mugil cephalus* es la de mayor talla con un valor máximo de 120 cm de longitud estándar, mientras que *M. curema* alcanza un máximo 91 cm (Harrison, 2002).

Nuestros resultados son similares a los encontrados con métodos que utilizan escamas y en los cuales se han constatado altos porcentajes de discriminación (98.1%) en identificación de las mismas especies analizadas en este estudio (Ibañez *et al.*, 2007; Ibañez *et al.*, 2009). Asimismo, los resultados se comparan razonablemente con tasas entre 70% y 86% registradas en otros estudios que utilizan otolitos para el mismo fin (Leguá *et al.*, 2013; Tuset *et al.*, 2006), así como con el patrón de escamación rómbica que ha mostrado porcentajes de clasificación entre 70 y 76% en la discriminación entre especies (Ibañez *et al.*, 2020).

Tabla 3. Resultados de la discriminación con validación cruzada entre las localidades de *Mugil curema*. LS= Longitud standard (mm).

Vista	%	Predicción de pertenencia al grupo			MANCOVA					
		Chiapas	Tabasco	Veracruz	Total	Wilks' λ	p	Efecto	Wilks' λ	p<0.05
Lateral ^a	Chiapas	77.4			100	0.354	<0.001	LS	0.926	0.607
	Tabasco		54.8		100			Localidad	0.471	<0.001
	Veracruz			65.5	100					
Dorsal ^b	Chiapas	77.4			100	0.478	<0.001	LS	0.840	0.070
	Tabasco		38.7		100			Localidad	0.546	<0.001
	Veracruz			48.3	100					
Ventral ^c	Chiapas	77.4			100	0.448	<0.001	LS	0.922	0.560
	Tabasco		48.4		100			Localidad	0.474	<0.001
	Veracruz			55.2	100					

^a 65.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^b 54.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^c 60.4% de la validación cruzada correctamente clasificada.

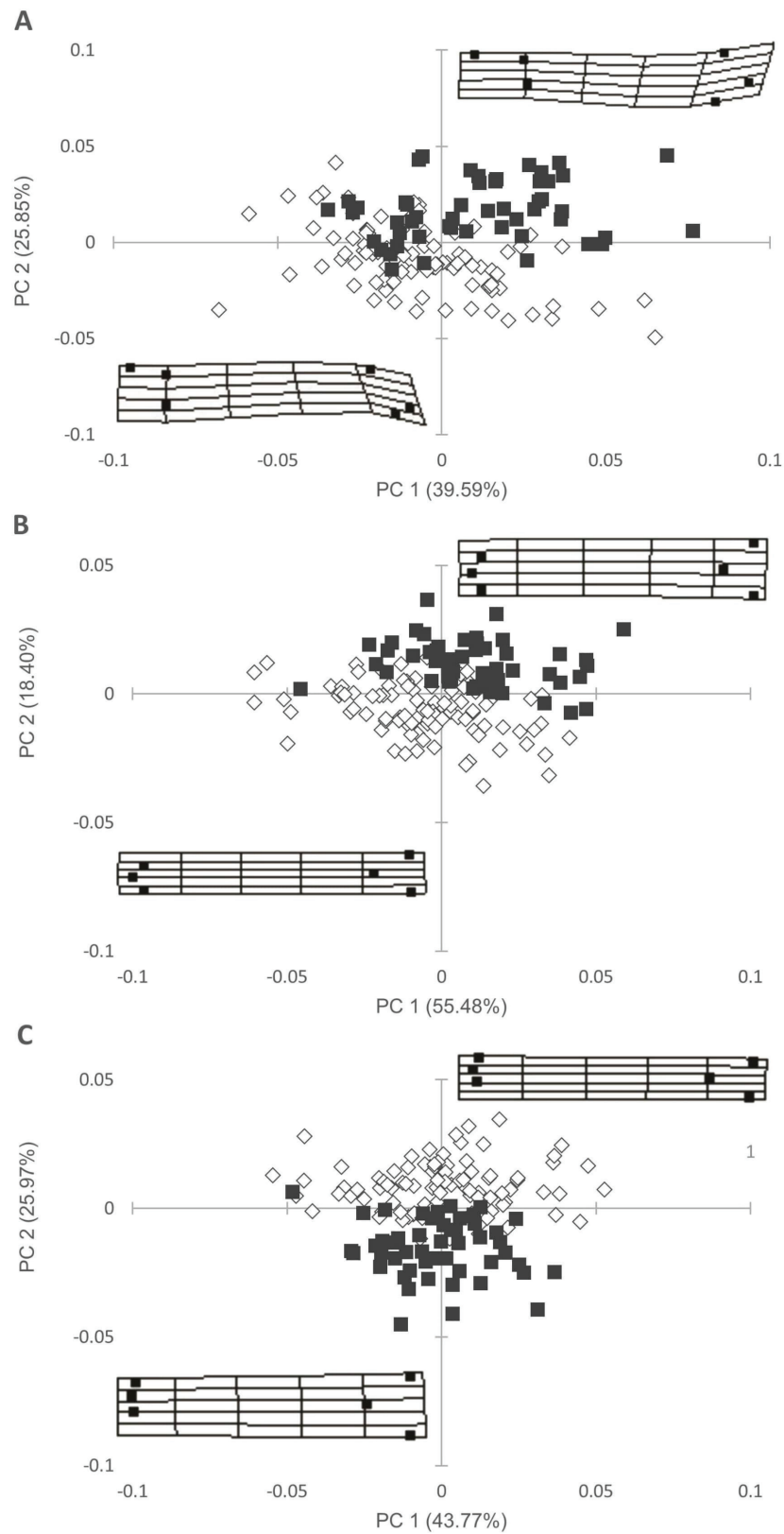


Figura 3. Análisis de componentes principales entre especies; A, vista lateral; B, vista dorsal; C, vista ventral; *M. curema* (rombo) y *M. cephalus* (cuadrado).

Tabla 4. Resultados de la discriminación con validación cruzada entre las localidades de *Mugil cephalus*. LS = Longitud standard (mm).

Predicción de pertenencia al grupo					MANCOVA					
Vista	%	Chiapas	Tabasco	Veracruz	Total	Wilks' λ	p	Efecto	Wilks' λ	P<0.05
Lateral ^a	Chiapas	50			100			LS	0.766	0.180
	Tabasco		52.9		100	0.316	<0.001	Localidad	0.450	0.005
	Veracruz			80.8	100					
Dorsal ^b	Chiapas	50			100			LS	0.782	0.227
	Tabasco		41.2		100	0.468	<0.05	Localidad	0.472	0.008
	Veracruz			53.8	100					
Ventral ^c	Chiapas	75			100			LS	0.688	0.042
	Tabasco		47.1		100	0.351	<0.001	Localidad	0.380	<0.001
	Veracruz			57.7	100					

^a 66.7% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^b 49.0% de la validación cruzada correctamente clasificada.

^c 56.9% de la validación cruzada correctamente clasificada.

A diferencia de la discriminación entre especies, utilizando la forma de escamas y otolitos se han reportado valores de discriminación entre localidades generalmente superiores al 70% (Ibáñez *et al.*, 2007; Ibáñez *et al.*, 2012; Ibáñez *et al.*, 2017). En este estudio la forma del hueso urohial mostró menores porcentajes de discriminación entre localidades (66.3% como promedio de los valores más altos en ambas especies). La vista del urohial que resultó más exitosa en la discriminación de localidades fue la vista lateral seguida por la ventral y por último la dorsal, lo cual se atribuye posiblemente a los hábitos alimenticios, pues se considera una estructura importante en el mecanismo de apertura y cierre de la boca en los peces (Jawad *et al.*, 2016), no obstante, debido a la cercanía entre localidades del Golfo de México y posible entrecruzamiento no hay variación morfológica significativa entre las localidades analizadas. Cabe destacar que en términos genéticos se han reportado que las diferencias entre especies y entre localidades pueden deberse a que *Mugil curema* ha mostrado estructura en los estudios genéticos poblacionales (Pacheco-Almanzar *et al.*, 2017; Pacheco-Almanzar, 2019) además de mostrar comportamiento filopátrico tanto en el Pacífico como en el Golfo de México (Colín, 2020) a diferencia de *M. cephalus* que muestra una población panmíctica en el Golfo de México (Colín *et al.*, 2020).

Gauldie (1988) explica la estabilidad intraespecífica como aquello que obedece a una limitación biológica específica debido a su función, en este caso está claramente asociada con una mayor discriminación interespecífica que con la diferenciación entre localidades debido a la permanencia de sus características que lo colocan como un buen marcador interespecífico. Para algunos investigadores, el sistema óseo constituye el fundamento sobre el cual se apoya la definición de los grandes grupos y la discusión de afinidades y diferencias entre los mismos (Greenwood *et al.*, 1966). De esta manera, la osteología

de peces ha permitido aportar elementos para la descripción y diferenciación de especies (Campello & Bemvenuti, 2002). Consecuentemente, fue posible determinar la utilidad de la forma del urohial como un método sencillo para discriminar entre las especies *Mugil curema* y *M. cephalus*, este resultado es relevante considerando que esta familia presenta una morfología muy similar con amplia problemática para distinguir especies. En este sentido es que se sugiere contar con un catálogo de referencia de urohiales para diferentes especies de la familia Mugilidae.

AGRADECIMIENTOS

El estudio contó con el apoyo de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAMI) y de la Secretaría de Educación Pública.

REFERENCIAS

- APRIETO, V. L. 1973. Early development of carangid fishes of the Gulf of Mexico and the South Atlantic Coast of the United States. PhD thesis in Philosophy (Marine Sciences), Marine Sciences, University of Miami, USA. 182 p.
- ARRATIA, G. & H. P. SCHULTZE. 1990. El urohial: desarrollo y homología dentro de los osteictios. *Journal of Morphology* 203 (3): 247-282. DOI:10.1002/jmor.1052030302
- BEMIS, W. E., E. J. HILTON, E. J. BROWN, B. ARRINDELL, R. RICHMOND, A. M. LITTLE, C. D., L. GRANDE, P. L. FOREY, G. J. NELSON & J. W. ARMBRUSTER. 2004. Methods for Preparing Dry, Partially Articulated Skeletons of Osteichthyans, with Notes on Making Ridewood Dissections of the Cranial Skeleton. *Copeia* 2004 (3): 603-609. DOI:10.1643/ci-03-054r1

- BOHÓRQUEZ-HERRERA, J. 2009. Ecomorfología alimentaria de algunas especies de peces asociadas a fondos blandos. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 132 p.
- BOOKSTEIN, F. L. 1989. Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 11 (6): 567-585. DOI:10.1109/34.24792
- CAMPELLO, F. D. & M. D. A. BEMVENUTI. 2002. Diferenciação morfométrica e osteológica entre *Ramnogasterarcuata* (Jenyns) e *Platanichthys platana* (Regan) (Teleostei, Clupeidae). *Revista Brasileira de Zoologia* 19 (3): 757-766. DOI:10.1590/S0101-81752002000300013
- CARDONA, L. 2016. Food and Feeding of Mugilidae. In: Crosetti, D. & S. Blaber (eds.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mullet (Mugilidae)*. CRC Press, pp.165-195.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G. 2009. Morfología comparada del hueso urohial en especies de la familia Gerreidae (Perciformes). Tesis de Licenciatura (Biología Marina), Departamento académico de Biología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 63 p.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G. 2012. El hueso urohial en la familia Gerreidae (Teleostei: Perciformes): análisis taxonómico y filogenético. Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México. 90 p.
- CHOLLET-VILLALPANDO, J. G., J. DE LA CRUZ-AGÜERO & F. J. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2014. Comparison of urohial bone morphology among gerreid fish (Perciformes: Gerreidae). *Italian Journal of Zoology* 81(2): 246-255. DOI:10.1080/11250003.2014.912681
- COLÍN, A. 2020. Evaluación de la filopatría en *Mugil cephalus* y *M. curema* para el Golfo de México y el Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, México. 116 p.
- COLÍN, A., HERNÁNDEZ-PÉREZ, Z., GUEVARA-CHUMACERO, L. M., CASTAÑEDA-RICO, S., SERRATO-DÍAZ, A. & IBÁÑEZ, A. L. 2020. Are striped mullet (*Mugil cephalus*) philopatric? *Marine Biology* 167: 10. DOI:10.1007/s00227-019-3622-1
- DE LA CRUZ-AGÜERO, J. & J. G. CHOLLET-VILLALPANDO. 2012. Catálogo sinóptico del hueso urohial de las especies de la familia Gerreidae de México. In: Instituto Politécnico Nacional (ed.). *Investigación Ictiológicas en México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México, pp. 57-73.
- GAULDIE, R. W. 1988. Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 91 (2): 395-402. DOI:10.1016/0300-9629(88)90436-7
- GHASEMZADEH, J. 2016. Musculoskeletal Anatomy of the Flathead Grey Mullet *Mugil cephalus*. In: Crosetti, D. & S. Blaber (eds.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mullet (Mugilidae)*. CRC Press, pp. 128-164.
- GONZÁLEZ-ACOSTA, A. F., U. RUBIO-RODRÍGUEZ & G. RUIZ-CAMPOS. 2014. El Hueso Urohial de los Peces Gerreidae (Teleostei: Percoidae) de América y su Aplicación Taxonómica. *International Journal of Morphology* 32 (3): 923-929. DOI:10.4067/S0717-95022014000300029
- GREENWOOD, P. H., D. E. ROSEN, S. H. WEITZMAN & G. S. MYERS. 1966. Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms. *Bulletin of the American Museum of Natural History Library* 131(4): 339-456. Available online at: <https://archive.org/details/bulletin-american-museum-natural-history-131-341-455/mode/1up>
- HARRISON, I. J. 2002. Mugilidae. In: Carpenter, K.E. (ed.). *The living marine resources of the Western Central Atlantic*. FAO species identification guide for fishery purpose, vol. 2, Rome, FAO, pp. 602-1373.
- IBÁÑEZ, A. L. & O. GUTIÉRREZ-BENÍTEZ. 2004. Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* 65: 822-831. DOI:10.1111/j.0022-1112.2004.00488.x
- IBÁÑEZ, A. L., I. G. COWX & P. O'HIGGINS. 2007. Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64 (8): 1091-1100. DOI:10.1139/F07-075
- IBÁÑEZ, A. L., I. G. COWX & P. O'HIGGINS. 2009. Variation in elasmoid fish scale patterns is informative with regard to taxon and swimming mode. *Zoological Journal of the Linnean Society* 155: 834-844.
- IBÁÑEZ, A. L., E. ESPINO-BARR & M. GALLARDO-CABELLO. 2012. Population connectivity among geographic variants within the Lutjanidae (Pisces) of the Mexican Pacific coast through fish scale shape recognition. *Scientia Marina* 76 (4): 667-675. DOI:10.3989/scimar.03675.09C
- IBÁÑEZ, A. L. & A. COLIN. 2014. Reproductive biology of *Mugil curema* and *Mugil cephalus* from western Gulf of Mexico waters. *Bulletin of Marine Science* 90 (4): 941-952. DOI:10.5343/bms.2014.1004
- IBÁÑEZ, A. L., K. HERNÁNDEZ-FRAGA & S. ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ. 2017. Discrimination analysis of phenotypic stocks comparing fish otolith and scale shapes. *Fisheries Research* 185: 6-13. DOI:10.1016/j.fishres.2016.09.025
- IBÁÑEZ, A. L., E. GUERRA & E. PACHECO-ALMANZAR. 2020. Fish Species Identification Using the Rhombic Squamation Pattern. *Frontiers in Marine Science* 7 (211): 1-8. DOI:10.3389/fmars.2020.00211
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA), L. Ita-Rubio, I. Escamilla-Herrera, C. García-De León & M. C. Soto-Núñez. 1990. Límite nacional 1:4000000. In: División política estatal. Tomo I, Sección I, 1.2. Disponible en línea en: https://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/conto4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no (consultado el 21 junio 2019).
- JAWAD, L. A., J. L. F. KHAHE, A. TEIMORI, H. MEHRABAN & H. R. ESMAEILI. 2016. Comparative morphology of the urohial bone offishes collected from the Persian Gulf and Oman Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 97 (6): 1317-1333. DOI:10.1017/s0025315416000680
- JOHAL, M. S., H. R. ESMAEILI & K. K. TANDON. 2000. Reliability of urohial bone of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* (Val. 1844) for age determination. *Current Science* 79 (1): 27-28.
- KHAAH, J. F. L., H. MEHRABAN, A. TEIMORI & H. ESMAEILI. 2014. Morphology of urohial bone and its relationship with feeding habits and

- habitats of some species of the order Pleuronectiformes. Paper presented at the The Second Iranian Conference of Ichthyology Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- KOBELKOWSKY, A. D. & A. RESENDEZ. 1972. Estudio comparativo del endosqueleto de *Mugil cephalus* y *Mugil curema* (Pisces, Perciformes). *Anales Instituto Biología Universidad Nacional Autónoma de México* 43 (1): 33-84.
- LEGUÁ, J., G. PLAZA, D. PÉREZ & A. ARKHIPKIN. 2013. Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*. *Latin American Journal of Aquatic Research* 41(3): 479-489.
- LEISLER, B. & H. WINKLER. 1985. Ecomorphology. In: Johnston R. F. (ed.). *Current Ornithology*. Current Ornithology Springer Vol. 2, Boston, pp. 155-186. DOI:10.1007/978-1-4613-2385-3_5
- O'HIGGINS, P. & N. JONES. 2007. Morphologika2 v2.5. Available online at: <http://sites.google.com/site/hymsfme/downloadmorphologica> (downloaded September, 2017)
- PACHECO-ALMANZAR, E., H. RAMÍREZ-SAAD, J. A. VELÁZQUEZ-ARAGÓN, A. SERRATO & A. L. IBÁÑEZ. 2017. Diversity and genetic structure of white mullet populations in the Gulf of Mexico analyzed by microsatellite markers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 198: 249-256. DOI:10.1016/j.ecss.2017.09.015
- PACHECO-ALMANZAR, E. 2019. Conectividad entre poblaciones de *Mugil curema* (Pisces: Mugilidae) en el Golfo de México y Pacífico Mexicano. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, México. 169 p.
- PATÓN, D. D., I. E. ROSELLÓ & P. M. A. CEREJO. 1991. Aplicación de la programación a la identificación de restos ictioarqueológicos. *Complutum* 1: 153-160.
- ROHLF, F. J. 2017. tpsDig2. Disponible en: <https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/tpsDig2.html>
- SÁNCHEZ-RUEDA, P., M. I. GONZÁLEZ, A. L. IBÁÑEZ & G. A. MÁRQUEZ. 1997. Sedimento en el contenido estomacal de *Mugil cephalus* y *Mugil curema* (Mugiliformes: Mugilidae) en la laguna de Tamiahua, México. *Revista de Biología Tropical* 45 (3): 1163-1166.
- TUSET, V. M., P. L. ROSIN & A. LOMBARTE. 2006. Sagittal otolith shape used in the identification of fishes of the genus *Serranus*. *Fisheries Research* 81 (2): 316-325. DOI:10.1016/j.fishres.2006.06.020
- ZELDITCH, M. L., D. L. SWIDERSKI, H. D. SHEETS & W. L. FINK. 2004. *Geometric morphometrics for biologists: a primer*. Elsevier Academic Press, USA. 488 p. Also available at: <https://www.sciencedirect.com/book/9780127784601/geometric-morphometrics-for-biologists>